

**Autoreferat dotyczący osiągnięć w pracy  
naukowo-badawczej, dydaktycznej i organizacyjnej**

**Michał Böhm**

**Załącznik nr 3 do wniosku o przeprowadzenie postępowania  
habilitacyjnego**

**Opole, 26.09.2023 r.**

## Spis treści

1. Imię i nazwisko. ....	4
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej. ....	4
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych. .	4
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej. ....	4
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego.....	5
4.2. Artykuły naukowe wchodzące w skład cyklu publikacji. ....	6
4.3. Charakterystyka cyklu publikacji. ....	10
4.3.1. Wprowadzenie do tematyki badań oraz omówienie przesłanek podjęcia tematu badawczego. ....	10
4.3.2. Cel i zakres badań. ....	12
4.3.3. Omówienie wypracowanych rozwiązań i otrzymanych rezultatów.....	13
4.4. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze .....	42
4.4.1. Działalność i osiągnięcia naukowo-badawcze po uzyskaniu stopnia doktora. ....	42
4.4.2. Działalność i osiągnięcia naukowo-badawcze przed uzyskaniem stopnia doktora.....	53
4.4.3. Podsumowanie całości dorobku naukowego. ....	55
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej. ....	57
5.1 Współpraca z innymi uczelniami lub instytucjami naukowymi o zasięgu międzynarodowym. ..	57
5.1.1. Współpraca z Chemnitz University of Technology .....	57
5.1.2. Współpraca z University of Ferrara .....	57
5.1.3. Współpraca z Perugia University.....	58
5.1.4. Współpraca z University of West Bohemia .....	59
5.1.5. Współpraca z Research and Testing Institute in Plzeň.....	59
5.1.6. Współpraca z University of Pisa .....	59
5.2. Współpraca z innymi uczelniami lub instytucjami naukowymi o zasięgu krajowym.....	60
5.2.1. Współpraca z Uniwersytetem Opolskim .....	60
5.2.2. Współpraca z Politechniką Krakowską .....	60
5.2.3. Współpraca z Uniwersytetem Pedagogiczny w Krakowie.....	61
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę. ....	61

6.1. Działalność dydaktyczna .....	61
6.2. Działalność organizacyjna i popularyzująca naukę .....	62
7. Nagrody, wyróżnienia.....	66
8. Staże, studia podyplomowe, udział w szkoleniach lub warsztatach.....	67

### 1. Imię i nazwisko.

Michał Böhm

Tabela 1. Identyfikatory baz danych indeksujących publikacje naukowe.

Baza	Identyfikator
ORCID	0000-0002-3577-5194
Scopus	55639140900
ResearcherID (WoS)	C-3166-2012

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- Uzyskanie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Mechanika. Data obrony: 15.12.2014 r.

Nazwa jednostki, która nadała stopień: Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny. Tytuł rozprawy doktorskiej: *Wyznaczanie trwałości materiałów metodą spektralną z uwzględnieniem składowej statycznej*. (Praca uzyskała wyróżnienie).

Promotor: dr hab. inż. Adam Niestony,

Recenzenci: dr hab. inż. Aleksander Karolczuk; dr hab. inż. Bogdan Ligaj.

- Uzyskanie tytułu zawodowego magistra inżyniera na kierunku studiów Mechanika i Budowa Maszyn (Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, specjalność: Komputerowe Wspomaganie Projektowania i Badania Maszyn) – 2010 r.

### 3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

- 2015 r. – nadal – adiunkt, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska.
- 2012–2015 r. – asystent, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska.

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

Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

#### 4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego.

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

Osiągnięcie naukowe zostało zaprezentowane jako cykl tematycznie powiązanych ze sobą 12 publikacji naukowych [A1-A12], z których 11 zamieszczonych jest w bazie Web of Science. W większości publikacji odgrywałem kluczową rolę (byłem też pierwszym autorem w 9 publikacjach, w których mój wkład w powstanie artykułów był największy) w analizie zagadnień w ramach tematu zaproponowanego do oceny osiągnięcia naukowego. W jednym przypadku byłem jedynym autorem publikacji. Z kolei w 9 artykułach byłem autorem korespondencyjnym. Pięcioletni, sumaryczny współczynnik oddziaływania (Impact Factor – IF) prac wchodzących w skład osiągnięć wynosi **38,725**. Łączna wartość punktów **MEiN** zgodnie z rokiem publikacji wynosi **1097**, a wg punktacji na rok 2023 – **1160** pkt. Łączna liczba cytowań wg bazy Web of Science (WoS) wynosi **97 (83 bez autocytacji)**. Oświadczenia współautorów lub tzw. credits (Author Contributions) z poszczególnych artykułów (wydruk strony artykułu z informacją o udziale w artykule), opisujące indywidualny wkład (w języku polskim dla autorów polskojęzycznych oraz w języku angielskim, gdy co najmniej jeden ze współautorów pochodził spoza Polski) każdego z nich w powstanie wymienionych prac zamieszczono w załączniku 6. Natomiast kopie prac [A1–A12] zebrano w załączniku 5.

Uzyskane w toku realizacji badań wyniki mają cechy oryginalności oraz poszerzają wiedzę z dziedziny inżynieria mechaniczna. Oprócz podstawowych efektów w formie poszerzenia stosowalności metody spektralnej poszerzają one wiedzę 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,

- usunięcia ograniczeń stosowalności metod wyznaczania trwałości zdefiniowanych w dziedzinie częstotliwości dla zakresu sprężysto-plastycznego,
- usunięcia ograniczeń związanych z obliczeniami dla przebiegów obciążenia o tzw. nie-gaussowskim rozkładzie prawdopodobieństwa w procesie wyznaczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości,
- usunięcia ograniczeń związanych z analizą przebiegów niestacjonarnych w procesie wyznaczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości w zakresie uwzględniania przeciążeń,
- poszerzenie stosowalności niektórych kryteriów dla zakresu wieloosiowego wyznaczania trwałości zmęczeniowej.

#### 4.2. Artykuły naukowe wchodzące w skład cyklu publikacji.

Artykuł [A1] **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).

---

Liczba cytowań wg WoS: 7(2)\*      Impact Factor: -      Punkty MNSiW: 15/5\*\*\*

---

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań i artykułu (conceptualization), określeniu metodologii badań (methodology), doborze oprogramowania do realizacji badań oraz zastosowaniu technik obliczeniowych do analizy i syntezy danych badawczych (software), analizie formalnej (formal analysis), zgromadzeniu materiałów źródłowych (resources), przeprowadzenia badań (investigation), przygotowaniu tekstu artykułu w wersji pierwotnej (writing – original draft), przeglądzie i edycji (writing – review & editing).

Artykuł [A2] Adam Niesłony, **Michał Böhm**, *Frequency-domain fatigue life estimation with mean stress correction*, International Journal of Fatigue 91 (2016) 373–381

---

Liczba cytowań wg WoS: 19(13)\*      Impact Factor: 5,326\*\*      Punkty MNSiW: 40/140\*\*\*

---

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań i artykułu (conceptualization), określeniu metodologii badań (methodology), doborze oprogramowania do realizacji badań oraz zastosowaniu technik obliczeniowych do analizy i syntezy danych badawczych (software), analizie formalnej (formal analysis), przeprowadzeniu badań (investigation), zgromadzeniu materiałów źródłowych (resources), wizualizacji wyników badań (visualization), przygotowaniu tekstu artykułu w wersji pierwotnej (writing – original draft), przeglądzie i edycji (writing – review & editing).

Artykuł [A3] **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).

---

Liczba cytowań wg WoS: 2(2)*	Impact Factor: -	Punkty MNSiW: 15/5***
------------------------------	------------------	-----------------------

---

Wkład: Artykuł jednoautorski.

Artykuł [A4] **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).

---

Liczba cytowań wg WoS: 3(1)*	Impact Factor: -	Punkty MNSiW: 15/5***
------------------------------	------------------	-----------------------

---

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań i artykułu (conceptualization), określeniu metodologii badań (methodology), doborze oprogramowania do realizacji badań oraz zastosowaniu technik obliczeniowych do analizy i syntezy danych badawczych (software), analizie formalnej (formal analysis), przeprowadzeniu badań (investigation), zgromadzeniu materiałów źródłowych (resources), gromadzenia danych (data curation), administracji projektu (project administration), wizualizacji wyników badań (visualization), przygotowaniu tekstu artykułu w wersji pierwotnej (writing – original draft), przeglądzie i edycji (writing – review & editing) oraz nadzorze nad całością prac (supervision).

Artykuł [A5] **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

---

Liczba cytowań wg WoS: -	Impact Factor: -	Punkty MNSiW: 12/5**
--------------------------	------------------	----------------------

---

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań i artykułu (conceptualization), określeniu metodologii badań (methodology), doborze oprogramowania do realizacji badań oraz zastosowaniu technik obliczeniowych do analizy i syntezy danych badawczych (software), analizie formalnej (formal analysis), przeprowadzeniu badań (investigation), zgromadzeniu materiałów źródłowych (resources), gromadzenia danych (data curation), administracji projektu (project administration), wizualizacji wyników badań (visualization), przygotowaniu tekstu artykułu w wersji pierwotnej (writing – original draft), przeglądzie i edycji (writing – review & editing) oraz nadzorze nad całością prac (supervision).

Artykuł [A6] **Michał Böhm**, Mateusz Kowalski, Adam Niestony, *Influence of the Elastoplastic Strain on Fatigue Durability Determined with the Use of the Spectral Method*, Materials 2020, 13, 423

---

Liczba cytowań wg WoS: 7(7)\*    Impact Factor: 4.042\*\*    Punkty MNSiW: 140/140\*\*\*

---

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań i artykułu (conceptualization), określeniu metodologii badań (methodology), analizie formalnej (formal analysis), doborze oprogramowania do realizacji badań oraz zastosowaniu technik obliczeniowych do analizy i syntezy danych badawczych (software), przeprowadzeniu badań (investigation), zgromadzeniu materiałów źródłowych (resources), wizualizacji wyników badań (visualization), przygotowaniu tekstu artykułu w wersji pierwotnej (writing – original draft), przeglądzie i edycji (writing – review & editing).

Artykuł [A7] **Michał Böhm**, Mateusz Kowalski, *Fatigue life estimation of explosive cladded transition joints with the use of the spectral method for the case of a random sea state*, Marine Structures 71 (2020) 102739

---

Liczba cytowań wg WoS: 25(24)\*    Impact Factor: 4,37\*\*    Punkty MNSiW: 200/200\*\*\*

---

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań i artykułu (conceptualization), określeniu metodologii badań (methodology), analizie formalnej (formal analysis), doborze oprogramowania do realizacji badań oraz zastosowaniu technik obliczeniowych do analizy i syntezy danych badawczych (software), przeprowadzeniu badań (investigation), zgromadzeniu materiałów źródłowych (resources), gromadzenia danych (data curation), administracji projektu (project administration), wizualizacji wyników badań (visualization), przygotowaniu tekstu artykułu w wersji pierwotnej (writing – original draft), przeglądzie i edycji (writing – review & editing) oraz nadzorze nad całością prac (supervision).

Artykuł [A8] Adam Niestony, **Michał Böhm**, Robert Owsiński, *Formulation of multiaxial fatigue failure criteria for spectral method*, International Journal of Fatigue 135 (2020) 105519

---

Liczba cytowań wg WoS: 13(13)\*    Impact Factor: 5,326\*\*    Punkty MNSiW: 140/140\*\*\*

---

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań i artykułu (conceptualization), określeniu metodologii badań (methodology), analizie formalnej (formal analysis), przeprowadzeniu badań (investigation), zgromadzeniu materiałów źródłowych (resources), wizualizacji wyników badań (visualization), przygotowaniu tekstu artykułu w wersji pierwotnej (writing – original draft), przeglądzie i edycji (writing – review & editing).

Artykuł [A9] **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



---

Liczba cytowań wg WoS: 12(12)\*    Impact Factor: 4,967\*\*    Punkty MNSiW: 100/100\*\*\*

---

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań i artykułu (conceptualization), określeniu metodologii badań (methodology), analizie formalnej (formal analysis), wykonaniu obliczeń (computation), przygotowaniu tekstu artykułu w wersji pierwotnej (writing – original draft), przeglądzie i edycji (writing – review & editing).

Artykuł [A10] **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

---

Liczba cytowań wg WoS: 1(1)\*    Impact Factor: 5,326\*\*    Punkty MNSiW: 140/140\*\*\*

---

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań i artykułu (conceptualization), określeniu metodologii badań (methodology), analizie formalnej (formal analysis), doborze oprogramowania do realizacji badań oraz zastosowaniu technik obliczeniowych do analizy i syntezy danych badawczych (software), przeprowadzeniu badań (investigation), zgromadzeniu materiałów źródłowych (resources), administracji projektu (project administration), wizualizacji wyników badań (visualization), przygotowaniu tekstu artykułu w wersji pierwotnej (writing – original draft), przeglądzie i edycji (writing – review & editing) oraz nadzorze nad całością prac (supervision).

Artykuł [A11] Adam Niesłony, **Michał Böhm**, Robert Owskiński, *Crest factor and kurtosis parameter under vibrational random loading*, International Journal of Fatigue 147 (2021) 106179

---

Liczba cytowań wg WoS: 6(6)\*    Impact Factor: 5,326\*\*    Punkty MNSiW: 140/140\*\*\*

---

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań i artykułu (conceptualization), określeniu metodologii badań (methodology), analizie formalnej (formal analysis), przeprowadzeniu badań (investigation), zgromadzeniu materiałów źródłowych (resources), wizualizacji wyników badań (visualization), przygotowaniu tekstu artykułu w wersji pierwotnej (writing – original draft), przeglądzie i edycji (writing – review & editing).

Artykuł [A12] **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

---

Liczba cytowań wg WoS: 5(5)\*    Impact Factor: 4,042\*\*    Punkty MNSiW: 140/140\*\*\*

---

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań i artykułu (conceptualization), określeniu metodologii badań (methodology), analizie formalnej (formal analysis), przeprowadzenia badań (investigation), doborze oprogramowania do realizacji badań oraz zastosowaniu technik obliczeniowych do analizy i syntezy danych badawczych (software), zgromadzenia materiałów źródłowych (resources), wizualizacji wyników badań (visualization), przygotowaniu tekstu artykułu w wersji pierwotnej (writing – original draft), przeglądzie i edycji (writing – review & editing), nadzór (supervision).

\* w nawiasie liczba cytowań bez autocytacji

\*\* 5-letni IF (w 2023 r.)

\*\*\* punktacja MEiN zgodnie z rokiem publikacji/punktacja na rok 2023 r.

### **4.3. Charakterystyka cyklu publikacji.**

#### **4.3.1. Wprowadzenie do tematyki badań oraz omówienie przesłanek podjęcia tematu badawczego.**

Potrzeba obecnych czasów czyli odpowiedzialne zarządzanie zasobami materiałowymi wywarła wpływ na wiele dziedzin naszego życia w tym związanych z inżynierią mechaniczną. Zapewnienie stabilności konstrukcji przy zastosowaniu jak najmniejszej ilości materiałów stało się poniekąd przyczyną do rozwijania między innymi metod wyznaczania trwałości dla materiałów lekkich czy też tworzonych różnymi technologiami w tym metodami przyrostowymi lub hybrydowymi w celu uzyskania informacji przez inżyniera o tym jak bardzo może „odchudzić” konstrukcję, żeby dalej spełniała wymagania narzucone wizją inżyniera lub poprzez normy przedmiotowe. Widząc między innymi te potrzeby w swojej działalności naukowo-badawczej skupiam się głównie na wybranych zagadnieniach inżynierii mechanicznej związanych z wytrzymałością materiałów i konstrukcji, szczególnie z uwagi na wyznaczanie trwałości zmęczeniowej materiałów stosowanych do lekkich konstrukcji, w tym kompozytowych. Tworzę nowe oraz modyfikuję istniejące algorytmy wyznaczania trwałości zmęczeniowej z wykorzystaniem metody spektralnej zdefiniowanej w dziedzinie częstotliwości. Jest to metoda, która jest najefektywniejsza czasowo i jest to dostrzegane przez przemysł, co potwierdza moja współpraca w ramach projektów naukowych z ośrodkami zagranicznymi. Wszystkie proponowane modyfikacje, bądź nowe procedury są potwierdzane przez skrupulatnie prowadzone długotrwałe wyniki badań eksperymentalnych. Do moich największych osiągnięć mogę zaliczyć zaproponowanie algorytmu i korekcji wartości średniej naprężenia w dziedzinie częstotliwości poprzez odpowiednią korekcję gęstości widmowej mocy obciążenia z wykorzystaniem dowolnego

modelu kompensującego wartość średnią, który można uzyskać z modeli wyznaczanych w dziedzinie czasu. Jest to oryginalne osiągnięcie, którego efektem jest wiele publikacji w wysoko punktowanych czasopismach. Dzięki prężnemu rozwojowi osobistemu jeszcze w trakcie doktoratu otrzymałem grant z Narodowego Centrum Nauki z konkursu Preludium. Temat grantu związany był z udoskonaleniem algorytmu wyznaczania trwałości metodą spektralną z uwagi na odkształcenia sprężysto-plastyczne wynikające z istnienia karbów, co nie było w tamtym czasie możliwe w tej metodzie. Efektem grantu, co również uważam za swoje oryginalne osiągnięcie jest algorytm wyznaczania trwałości zdefiniowany w dziedzinie częstotliwości z ujęciem korekcji odkształceń sprężysto-plastycznych z wykorzystaniem między innymi popularnej korekcji Neubera. Efektem projektu jest wiele publikacji w wysoko punktowanych czasopismach. W trakcie grantu podczas licznych wyjazdów na konferencje krajowe i zagraniczne nawiązałem wiele kontaktów i znajomości naukowych, które po kilku latach przerodziły się w stałą współpracę naukową. W ramach tej współpracy zdobyłem doświadczenie przemysłowe i mogłem zająć się ciekawymi problemami przedsiębiorstw, z którymi współpracowałem oraz byłem w stanie zidentyfikować kolejne braki rozwijanej przeze mnie metody spektralnej. Jednym z tych zidentyfikowanych braków jest problem z zaburzeniami stacjonarności obciążeń, jak również z ujęciem tzw. nie-Gaussowości przebiegów obciążenia bezpośrednio w dziedzinie częstotliwości. Wiąże się to również z zastosowaniem parametru energetycznego w metodzie spektralnej. W ramach mojej współpracy z profesorem Denisem Benasciuttim z Uniwersytetu Ferrara, który na świecie znany jest jako jeden z czołowych naukowców zajmujących się metodami zdefiniowanymi w dziedzinie częstotliwości, opracowaliśmy nowy model kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych w dziedzinie częstotliwości z wykorzystaniem gęstości widmowej mocy parametru energetycznego. Parametr ten wyznaczamy bezpośrednio na podstawie gęstości widmowej mocy naprężenia. Uważam to również za jedno z moich oryginalnych, innowacyjnych, jak również najważniejszych dokonań badawczych, które zostało opublikowane w International Journal of Fatigue (Elsevier 140 pkt). Osiągnięcia te mają znaczący wpływ na rozwój stosowalności metody spektralnej i są w pełni opisane w ujęciu obciążeń jedno-osiowych. Natomiast ich rozwijaniem na zakres wieloosiowy zajmuję się w ramach mojego zespołu na Politechnice Opolskiej między innymi poprzez rozwijanie odpowiednich kryteriów. W ramach moich rozważań znalazły się zagadnienia związane z wykorzystaniem zjawiska nie-Gaussowości w

celu przyspieszenia testów zmęczeniowych na wzbudnikach elektromagnetycznych poprzez zastosowanie odpowiednich parametrów wartości w tym momentów spektralnych wyższego rzędu oraz statystycznych parametrów, w tym tzw. crest factora oraz zwykłej jak również tzw. spektralnej kurtozy. W ramach tych rozważań powstało oryginalne i innowacyjne stanowisko do badań zmęczeniowych dla wieloosiowego stanu zginania-skręcania, którego projektu jestem współautorem. W międzyczasie rozwijałem metodykę badań zmęczeniowych oraz obliczeń dla materiałów hybrydowych w połączeniu metali i polimerów z pomocą współpracowników z Uniwersytetu w Chemnitz. Z uwagi na oryginalne i innowacyjne podejście do obliczeń i badań materiałów hybrydowych i kompozytowych nawiązałem współpracę z przedsiębiorstwem zajmującym się produkcją kompozytów wykorzystywanych w konstrukcjach morskich, które to kompozyty tworzone są poprzez detonację ładunku wybuchowego (platerowanie wybuchowe). Wyniki moich czteroletnich badań umożliwiły mi zastosowanie odpowiednich metod korekcji w tym uwzględnienie naprężeń wewnętrznych oraz korekcji z uwagi na zjawisko nie-Gaussowości fal morskich, co zaowocowało publikacją w czasopiśmie Marine Structures (Elsevier 200 pkt). Przedstawione udokumentowane osiągnięcia naukowe i badawcze mają charakter na tyle oryginalny, innowacyjny jak również aplikacyjny, że uzasadniają złożenie przeze mnie niniejszego wniosku. W dalszej części skupię się na omówieniu wypracowanych rozwiązań oraz otrzymanych rezultatach.

#### **4.3.2. Cel i zakres badań.**

Wszystkie Cele w ramach cyklu publikacji obejmowały rozszerzenie stosowalności metody spektralnej lub zliczania cykli do wyznaczania trwałości obejmujące poniższe elementy:

- 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.

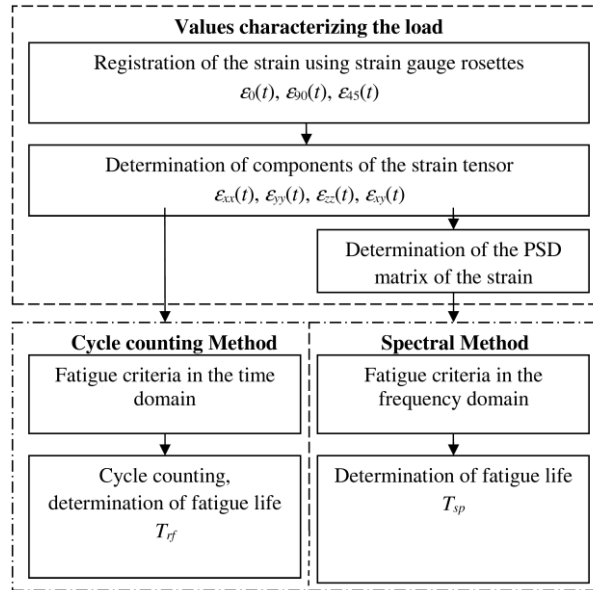
- Cel 5: rozszerzenie stosowalności metody spektralnej dla przebiegów obciążenia o tzw. nie-gaussowskim rozkładzie prawdopodobieństwa w procesie wyznaczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości.
- Cel 6: rozszerzenie stosowalności metody spektralnej dla przebiegów niestacjonarnych w procesie 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.

Zakres badań obejmował weryfikację symulacyjną i eksperymentalną zaproponowanych rozwiązań dla wybranych wyników badań wykonanych w ramach badań własnych bądź realizacji grantów oraz zaczerpniętych z literatury, jak również pozyskanych we współpracy z partnerami z przedsiębiorstw lub z uczelni zagranicznych.

#### **4.3.3. Omówienie wypracowanych rozwiązań i otrzymanych rezultatów.**

Artykuł [A1]. Zrealizowane w ramach artykułu badania wpisują się w cele 7, 8.

Praca skupia się na opisanie wpływu wieloosiowych obciążeń zmiennie-amplitudowych na wytrzymałość zmęczeniową materiałów z wykorzystaniem metody spektralnej przy pomocy historii odkształceń. W pracy wykorzystano między innymi macierz gęstości widmowej dla składowych tensora odkształceń, aby analizować wpływ różnych rodzajów obciążeń. W celu oszacowania trwałości zmęczeniowej zastosowano wybrane kryteria wieloosiowego uszkodzenia zmęczeniowego. Główna część pracy koncentruje się na porównaniu metody liczenia cykli zmęczeniowych (rainflow) oraz metody spektralnej. Przedstawiono algorytm pozwalający na oszacowanie trwałości zmęczeniowej w dziedzinie czasu oraz w dziedzinie częstotliwości (Rys.1).



Rys. 1. Algorytm obliczeniowy metody zliczania cykli i metody spektralnej [A1]

Zaproponowany algorytm został zweryfikowany na podstawie badań zmęczeniowych próbek krzyżowych wykonanych ze stali S355J2WP. Wymiary oraz kształt próbek krzyżowych przedstawionych na Rys.2. Tensor był przedstawiony w formie macierzy gęstości widmowej mocy:

$$\mathbf{G}(f) = \begin{bmatrix} G_{xx,xx}(f) & G_{xx,yy}(f) & G_{xx,zz}(f) & G_{xx,xy}(f) \\ G_{yy,xx}(f) & G_{yy,yy}(f) & G_{yy,zz}(f) & G_{yy,xy}(f) \\ G_{zz,xx}(f) & G_{zz,yy}(f) & G_{zz,zz}(f) & G_{zz,xy}(f) \\ G_{xy,xx}(f) & G_{xy,yy}(f) & G_{xy,zz}(f) & G_{xy,xy}(f) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

gdzie:  $G_{ij,ii}(f)$  - składowe macierzy gęstości widmowej mocy, gdzie  $i = x, y, z$ .

Elementy macierzy były wyznaczone przy pomocy metody Welch zaimplementowanej w środowisku Matlab.

W pracy przeanalizowano następujące kryteria zmęczeniowe:

Kryterium maksymalnego odkształcenia normalnego:

$$\varepsilon_{eq}(t) = \varepsilon_{\eta}(t), \quad (2)$$

gdzie:  $\varepsilon_{\eta}(t)$  - odkształcenie normalne do płaszczyzny krytycznej.

Kryterium parametru maksymalnego odkształcenia normalnego i ścinającego w płaszczyźnie maksymalnego odkształcenia normalnego

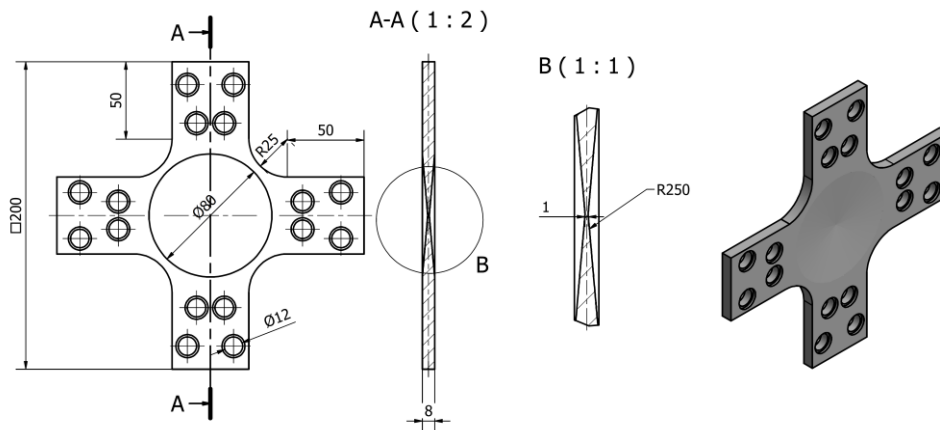
$$\varepsilon_{eq}(t) = \frac{\sqrt{2}}{2} \varepsilon_{\eta_s}(t) + \varepsilon_{\eta}(t) \quad (3)$$

gdzie:  $\varepsilon_{\eta s}(t)$  – składowa styczna odkształcenia na płaszczyźnie krytycznej.

Kryterium parametru maksymalnego odkształcenia normalnego i ścinającego w płaszczyźnie maksymalnego odkształcenia ścinającego

$$\varepsilon_{eq}(t) = b_{\varepsilon} \varepsilon_{\eta s}(t) + \frac{2 - b_{\varepsilon}(1 + \nu)}{1 - \nu} \varepsilon_{\eta}(t) \quad (4)$$

gdzie:  $\nu$ - współczynnik Poissona,  $b_{\varepsilon}$ - stosunek granic dla rozciągania ściskania i skręcania.

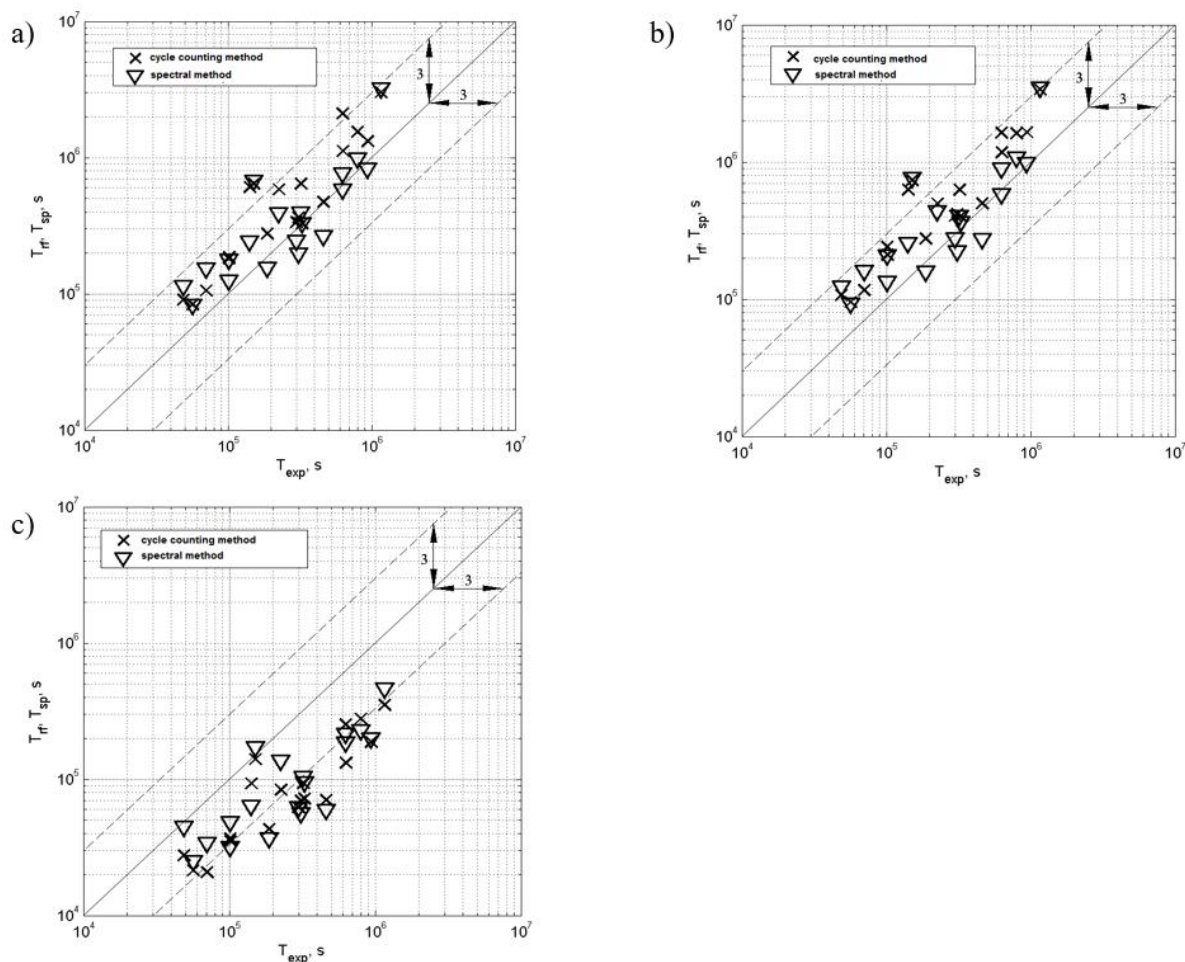


Rys. 2. Kształt i wymiary próbek krzyżowych, dla których wykonano obliczenia [A1].

Kryteria zostały zastosowane przy wyznaczaniu trwałości w dziedzinie czasu w połączeniu z metodą zliczania cykli (rainflow) oraz w dziedzinie częstotliwości przy pomocy zmodyfikowanego modelu Milesa uwzględniającego wpływ szerokości widma  $\lambda$ :

$$T_{SP} = \frac{1}{\lambda M^+ \int_0^{\infty} \frac{p(\varepsilon_a)}{N_f(\varepsilon_a)} d\varepsilon_a} \quad (5)$$

Gdzie:  $M^+$ - jest oczekiwaną liczbą cykli w jednostce czasu,  $p(\varepsilon_a)$ - jest rozkładem gęstości prawdopodobieństwa amplitudy odkształcenia,  $N_f(\varepsilon_a)$ - jest funkcją zwracającą numer cyklu charakterystyki zmęczeniowej. Wyniki badań zostały przedstawione na Rys.3.



Rys.3. Porównanie wyników obliczeniowych do wyników eksperymentalnych dla obliczeń metodą w dziedzinie czasu  $T_{rf}$  oraz w dziedzinie częstotliwości  $T_{sp}$  dla 3 kryteriów odkształceniowych: a) Równanie (2), b) Równanie (3), c) Równanie (4) [A1].

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i spostrzeżeń:

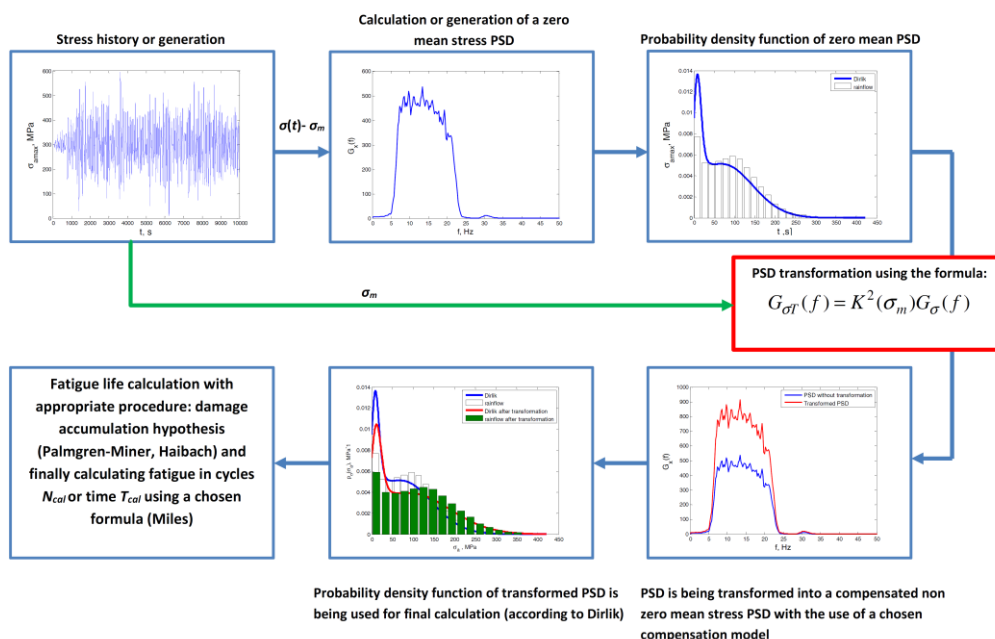
- Metoda spektralna wyznaczania trwałości zmęczeniowej daje wyniki porównywalne z metodą zliczania cykli, jednak należy zauważyć, że pojawia się nieco większy rozrzut wyników, co prawdopodobnie jest spowodowane inną charakterystyką częstotliwościową przebiegów w stosunku do badań zmęczeniowych.
- Porównanie wyników obliczeń z wynikami uzyskanymi eksperymentalnie wykazało, że dla stali S355J2WP najlepsze wyniki uzyskujemy stosując kryterium parametru maksymalnego odkształcenia normalnego i ścinającego w płaszczyźnie maksymalnego odkształcenia normalnego (3).



Wypracowane w ramach realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu stosowania metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej w ujęciu wykorzystania odkształceń w procesie wyznaczania trwałości dla obciążeń wieloosiowych. Wiedza ta w połączeniu z informacją o wyborze najbardziej dogodnego kryterium przyczynia się do skrócenia czasu pracy oraz możliwości poszerzenia metody spektralnej na inne typy obciążeń.

Artykuł [A2]. Zrealizowane w ramach artykułu badania wpisują się w cele 1, 8.

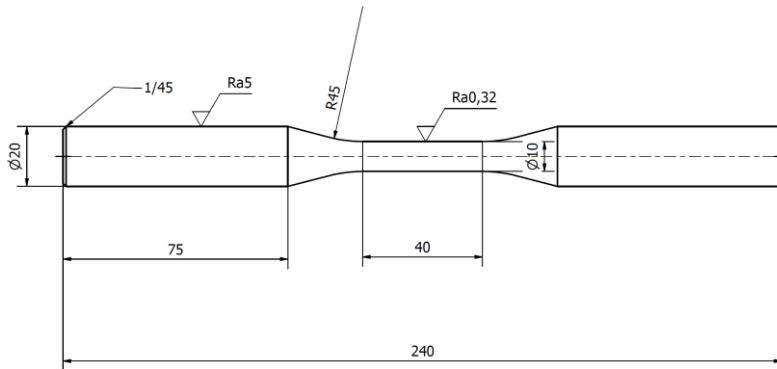
W pracy przedstawiono dwie metody obliczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości, uwzględniając wpływ naprężenia średniego. W pracy przedstawiono algorytm oceny trwałości zmęczeniowej wzbogacony o korektę wpływu naprężenia średniego (Rys. 4). Metoda korekcji opiera się na bezpośredniej transformacji gęstości widmowej mocy o zerowej wartości średniego naprężenia ze względu na naprężenie średnie. Metoda ta została zweryfikowana na podstawie wyników badań własnych dotyczących stali S355JR. Wymiary oraz kształt próbki przedstawiono na Rys.5.



Rys. 4. Algorytm wyznaczania trwałości w dziedzinie częstotliwości z ujęciem wpływu wartości średniej naprężenia [A2].

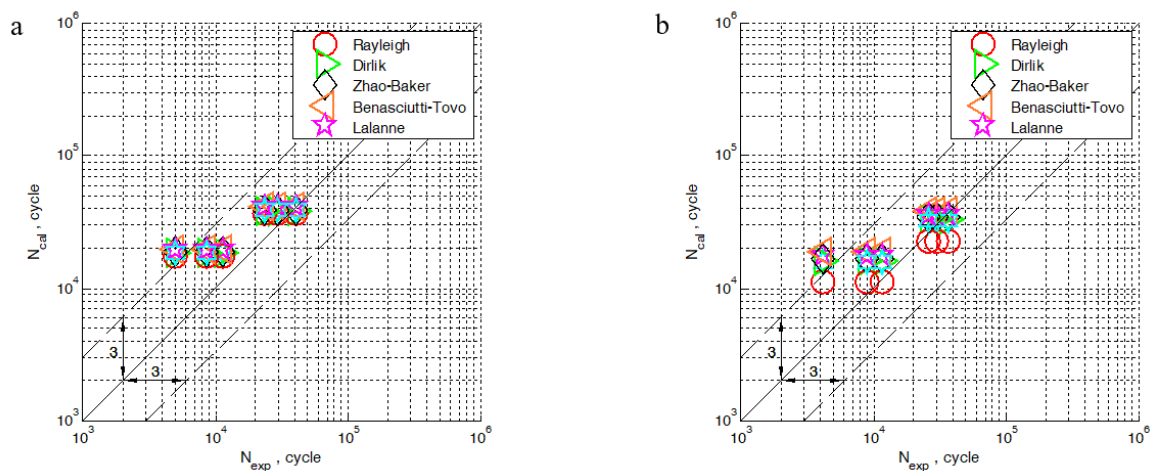
Przeanalizowano pięć modeli do wyznaczenia funkcji gęstości prawdopodobieństwa

użytych w procesie obliczeniowym. Wyniki przedstawione są w postaci rozkładów prawdopodobieństwa po transformacji gęstości widmowej mocy oraz oszacowana trwałość zmęczeniowa jest porównywana z trwałością uzyskaną eksperymentalnie w formie wykresów porównawczych (Rys. 6).

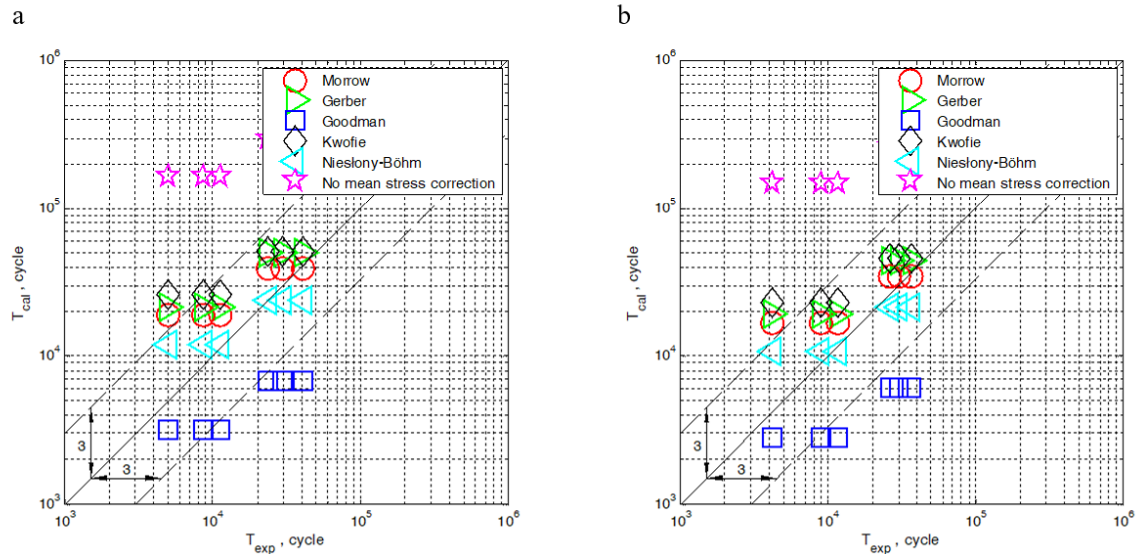


Rys.5. Kształt i wymiary próbek wykorzystywanych do badań eksperymentalnych dla rozciągania-ściskania [A2].

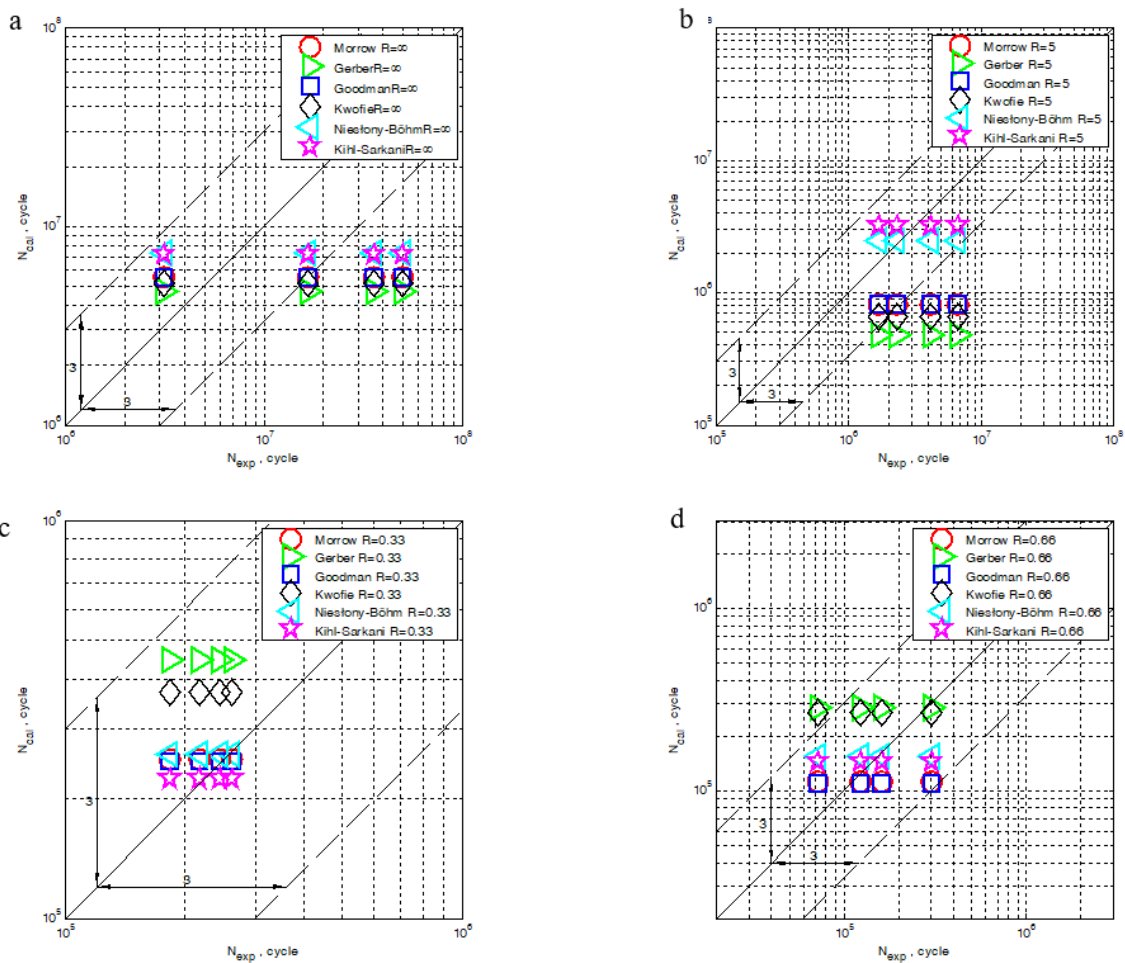
Przeprowadzona jest również analiza wyboru modelu korekcji wpływu naprężenia średniego oraz wyznaczenie trwałości zmęczeniowej (Rys. 7). Zaproponowana metoda jest porównywana z metodą Kihl-Sarkani dotyczącą korekcji wpływu naprężenia średniego w dziedzinie częstotliwości z wynikami prac tych autorów (Rys.8).



Rys. 6. Porównanie wyników eksperymentalnych z wynikami obliczeń (a) wąskopasmowy; b) szerokopasmowych [A2].



Rys. 7. Porównanie wyników eksperymentalnych z wynikami obliczeń (a) wąskopasmowy; (b) szerokopasmowy z wykorzystaniem różnych modeli korekcji wartości średniej naprężenia [A2].



Rys. 8. Porównanie wyników eksperymentalnych dla testów zmęczeniowych wykonanych przez Kihla i Sarkaniego z wynikami obliczeń dla różnych współczynników asymetrii cyklu (a)  $R=\infty$  (b)  $R=5$  (c)  $R=0,33$

(d)  $R=0,66$  [A2].

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i spostrzeżeń:

- większość standardowych widm ma zauważalną niezerową wartość średnią naprężenia,
- zaproponowana metoda korekcji naprężenia średniego w dziedzinie częstotliwości została pomyślnie zweryfikowana,
- może być stosowana zarówno dla sygnałów wąskopasmowych, jak i szerokopasmowych,
- proponowana metoda operuje bezpośrednio na widmowej gęstości mocy sygnału – obliczenia wykonywane są w dziedzinie częstotliwości,
- nie każda funkcja gęstości prawdopodobieństwa dobrze opisuje rozkład amplitudy w porównaniu z rozkładem amplitudy opadu,
- mimo to każda funkcja gęstości prawdopodobieństwa wykorzystana do obliczeń dała zadowalające wyniki obliczeń zmęczeniowych,
- model kompensacji naprężeń średnich ma duży wpływ na wyniki trwałości zmęczeniowej,
- porównanie metod Kihla-Sarkaniego i autorów dało satysfakcjonujące wyniki,
- średnie odchylenie od oczekiwanej liczby cykli do zniszczenia dla obu metod dało podobne rezultaty.

**Wypracowane w ramach realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu zastosowania metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej o uwzględnienie wpływu wartości średniej obciążenia. Wiedza ta w połączeniu z informacją o wyborze najbardziej dogodnego modelu przyczynia się do skrócenia czasu pracy oraz możliwości poszerzenia metody spektralnej na inne typy obciążeń.**

Artykuł [A3]. Zrealizowane w ramach artykułu badania wpisują się w cele 1, 5, 8.

W niniejszej pracy skupiono się na zakresie obliczeń w dziedzinie częstotliwości dla obciążeń jednoosiowych. Artykuł porusza problem oceny trwałości zmęczeniowej materiałów poddanych obciążeniom siłami wiatru. Analizowane są trzy rodzaje

znormalizowanych widm obciążeń, a mianowicie: Wisper, Wisperx i New Wisper. Widma zostały przetworzone w celu wykorzystania ich w algorytmach oceny trwałości zmęczeniowej metodą spektralną. Wszystkie analizowane widma charakteryzują się składową naprężenia średniego o wartości niezerowej oraz rozkładem o charakterze nie-Gaussowskim. Propozycja korekty tych sygnałów jest szeroko wyjaśniona. Praca zajmuje się symulacją opartą na stałych materiałowych związanych z trwałością uzyskanych z literatury. Wyniki oceny są porównywane z wynikami uzyskanymi przy użyciu metody zliczania cykli (rainflow cycle counting) opisanej w dziedzinie czasu. Po raz pierwszy zastosowano w pracy połączenie kombinacji korekcji wartości średniej naprężenia oraz korekcji z uwagi na nie-Gaussowość przebiegu obciążenia w dziedzinie częstotliwości z zastosowaniem w tym celu współczynnika Bracciesiego  $\lambda_B$  (w pracy  $\lambda$ ):

$$\lambda_B = \exp\left(\frac{m^{2/3}}{\pi} \cdot \left(\frac{K-3}{\pi} - \frac{S^2}{4}\right)\right), \quad (7)$$

gdzie:  $m$ -współczynnik nachylenia charakterystyki zmęczeniowej Wöhlera,  $K$ -kurtoza,  $S$ -skośność.

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i spostrzeżeń:

- brak kompensacji niezerowej wartości średniej lub korekcji ze względu na nie-Gaussowość uniemożliwia zastosowanie metody spektralnej w przypadku analizowanych przebiegów obciążeń,
- przypadek, w którym globalna wartość średnia jest różna od zera, daje niezadowolające wyniki między porównaniami tych dwóch metod. Można zauważyć, że bezpośrednie porównanie wyników pokazuje ogromne różnice i bez żadnej kompensacji po prostu nie ma sensu,
- zastosowanie modelu kompensacyjnego wartość średnią naprężenia pozwoliło osiągnąć wyniki na zadowalającym poziomie porównawczym między metodami w porównaniu z przypadkiem braku kompensacji,
- można zauważyć, że kompensacja z uwagi na nie-Gaussowość nie poprawiła wartości cykli w porównaniu z metodą zliczania cykli i spektralną z korekcją wartości średniej,
- wyniki obliczeń dały pierwsze poglądowe podejście do zastosowania widm w procesie badań stanowiskowych oraz ograniczeń związanych z ich zastosowaniem.

**Wypracowane w ramach realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu zastosowania metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej o uwzględnienie wpływu wartości średniej obciążenia i korekcji ze względu na nie-Gaussowość przebiegu obciążenia dla standaryzowanych przebiegów sił wiatru. Wiedza ta pozwala na 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.**

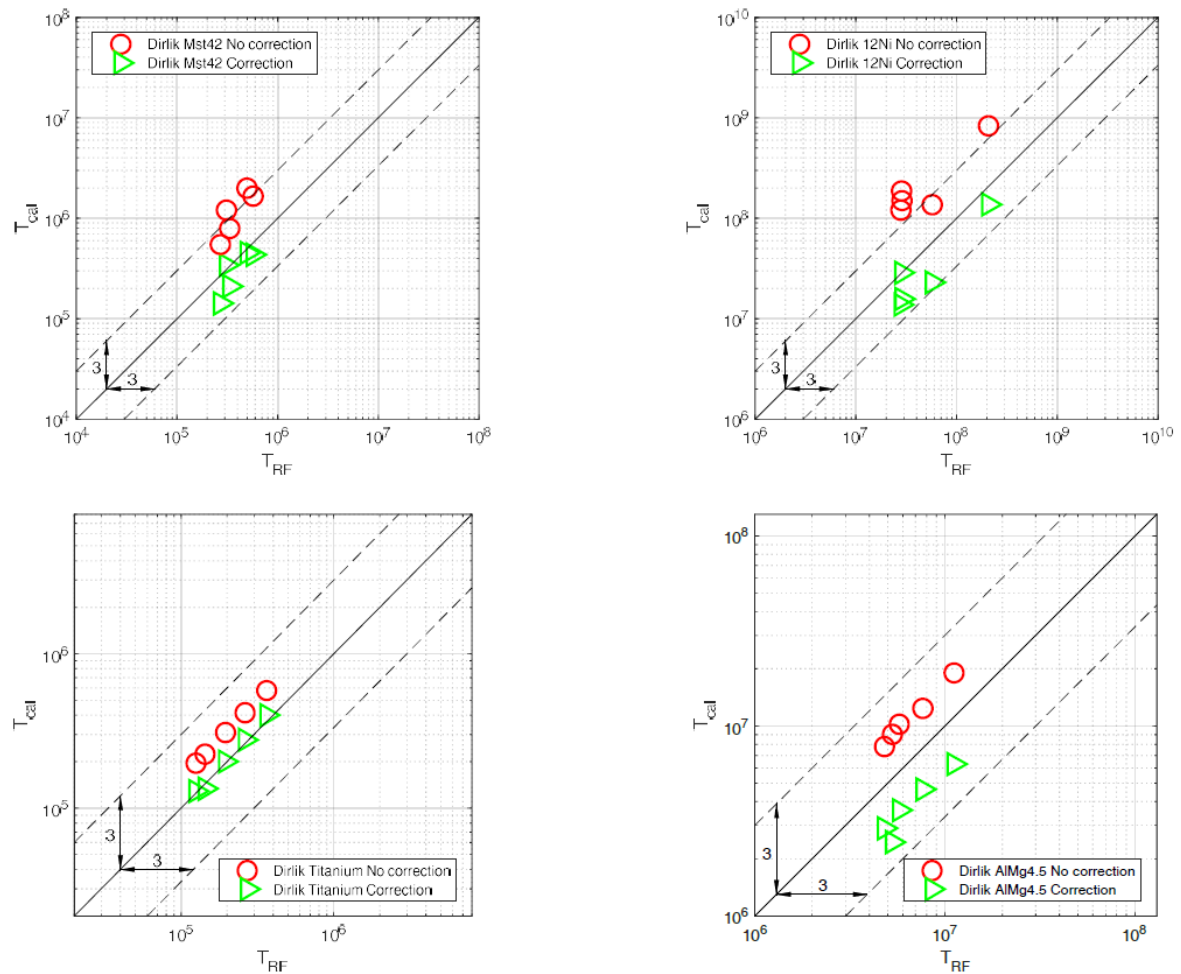
Artykuł [A4]. Zrealizowane w ramach artykułu badania wpisują się w cele 6, 8.

Artykuł prezentuje pierwszą próbę obliczenia trwałości zmęczeniowej dla obciążeń losowych z pojedynczymi przeciążeniami przy użyciu metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej. Proponowana modyfikacja algorytmu oceny trwałości zmęczeniowej opiera się na transformacji gęstości widmowej mocy sygnału obciążenia przy użyciu współczynnika korekcyjnego, który wykorzystuje 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 stosowana jest ta sama hipoteza wyznaczania stopnia uszkodzenia model Palmgren-Minera. Uzyskane wyniki potwierdzają konieczność wprowadzenia korekty w kontekście wpływu amplitud przeciążeń w metodzie spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej. W pracy przedstawiono propozycję korekcji gęstości widmowej mocy za pomocą następującej transformacji:

$$G_{\sigma T}(f) = C_F \cdot G_{\sigma}(f), \quad (8)$$

gdzie:  $C_F$  - to tzw. crest factor (współczynnik wzniosu) uwzględniający wystąpienie przeciążenia w przebiegu obciążenia,  $G_{\sigma}(f)$  - gęstość widmowa przebiegu naprężenia.

Wyniki symulacji dla 4 materiałów zaprezentowano na Rys.9



Rys. 9. Wyniki porównania wyników uzyskanych dla metody zliczania cykli  $T_{RF}$  z metodą spektralną  $T_{cal}$  bez korekty oraz z korektą z uwagi na wystąpienie przeciążenia [A4].

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i spostrzeżeń:

- Możliwe jest zastosowanie korekty przeciążenia przy użyciu crest factor określonego na podstawie spektralnej kurtozy.
- Zastosowanie spektralnej kurtozy do wykrywania stacjonarności przebiegu daje zadowalające wyniki.
- Zastosowanie crest factra wydaje się obecnie rozsądne ze względu na zadowalające wyniki obliczeń dla różnych grup materiałów.
- 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 realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu zastosowania metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej o uwzględnienie wpływu przeciążeń (tzw. overloading lub periodic overloading). Wiedza ta pozwala na 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.**

Artykuł [A5]. Zrealizowane w ramach artykułu badania wpisują się w cele 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Praca przedstawia dyskusję na temat ograniczeń oraz wyzwań związanych ze stosowaniem metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej. Zawarte treści łączą i przedstawiają problematykę, która została podjęta między innymi w cyklu publikacji poddanych do oceny dorobku naukowego habilitanta. W literaturze wiele metod projektowania wspomaganego komputerowo wykorzystuje zaawansowane metody oceny trwałości zmęczeniowej. Problem oceny trwałości nabiera szczególnego znaczenia, gdy obliczenia dotyczą obciążeń losowych. W takich przypadkach powszechne jest stosowanie jednej z dwóch metod obliczeniowych. Pierwsza opiera się na dziedzinie czasu i wykorzystuje algorytmy liczenia cykli do oszacowania stopnia uszkodzenia. Druga metoda opiera się na dziedzinie częstotliwości i wykorzystuje informacje statystyczne do oszacowania stopnia uszkodzenia. Ze względu na rosnące potrzeby przemysłu opracowano wiele metod obliczeniowych trwałości zmęczeniowej dla obu dziedzin. Jedną z tych metod jest metoda widmowa oceny trwałości zmęczeniowej. Idea tej metody polega na przeprowadzaniu obliczeń w dziedzinie częstotliwości. Oznacza to, że informacje operacyjne to gęstość widmowa mocy i funkcja gęstości prawdopodobieństwa amplitud obciążeń. Metody oceny trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości mają krótszą historię w porównaniu z metodami w dziedzinie czasu. Z tego powodu wiele problemów rozwiązanych w dziedzinie czasu wciąż pozostaje nierozwiązanych w metodzie widmowej. To oznacza, że pojawia się pewne pytanie: dlaczego używać metody widmowej, skoro ma ona wiele nierozwiązanych problemów? Jednym z najprostszycy odpowiedzi na to pytanie



jest to, że metoda widmowa jest szybsza, co oznacza większą efektywność czasową i kosztową. To było jednym z głównych powodów przeprowadzenia analizy problemów, które muszą być rozwiązane, oraz przyszłych wyzwań metody widmowej. Innym pytaniem, które musiało zostać postawione w kontekście analizy, było: czy istnieją obszary, w których ta metoda może być jedyną potencjalnie zastosowaną? Artykuł podzielony jest na cztery części, które dalej rozwijają te pytania. Niektóre z przedstawionych punktów dyskusji mogą być analizowane zarówno w warunkach obciążeń jednoosiowych, jak i wieloosiowych. Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i spostrzeżeń:

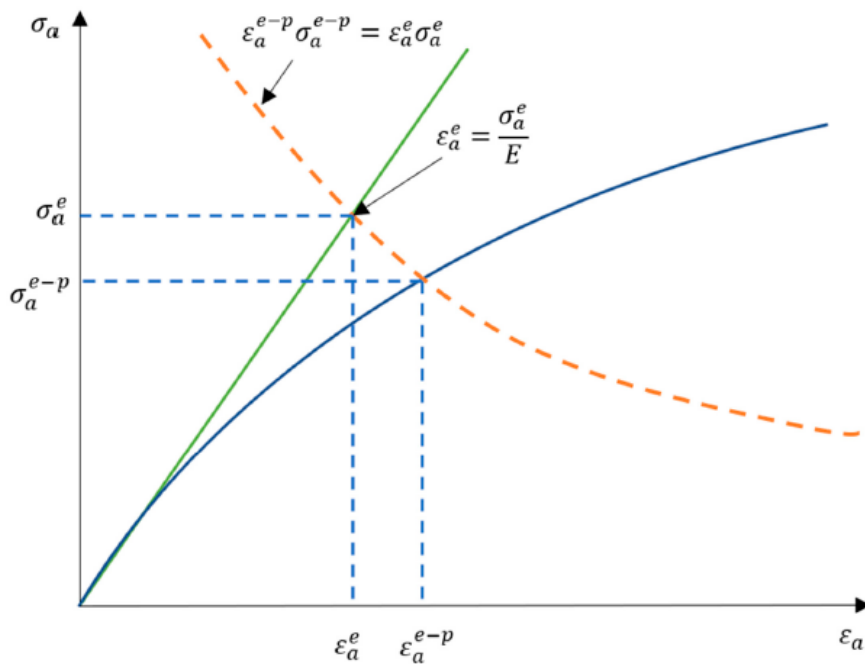
- Wyzwania metody spektralnej do oceny trwałości zmęczeniowej to obecnie:
  - Niestacjonarne i niegaussowskie przetwarzanie obciążenia.
  - Korekcja wpływu wartości średniej naprężenia, szczególnie dla stanu wieloosiowego.
  - Korekcja z uwagi na przeciążenie materiału (overloading).
- Obszary, w których ta metoda może mieć większe zastosowanie w porównaniu z metodami w dziedzinie czasu:
  - Vibration fatigue (zmęczenie przy wysokiej częstotliwości wzbudzenia).
  - Metoda elementów skończonych - mapy zmęczeniowe konstrukcji.
  - Obliczenia zmęczeniowe z wykorzystaniem tzw. parametru energetycznego.
  - Obliczenia zmęczeniowe dla konstrukcji lub materiałów narażonych na działanie wiatru lub sił morskich.

**Wypracowane w ramach realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu stosowalności metody spektralnej wyznaczania trwałości oraz zakreślają zakres tematyczny dla rozwoju metody, które w kolejnych publikacjach zostały podjęte.**

Artykuł [A6]. Zrealizowane w ramach artykułu badania wpisują się w cele 3, 4, 7, 8.

W artykule przedstawiono wyniki eksperymentalnych badań statycznych i zmęczeniowych w warunkach obciążenia losowego dla zginania stali 0H18N9. Wyniki eksperymentalne zostały wykorzystane do przeprowadzenia obliczeń zgodnie z teoretycznymi założeniami metody spektralnej oceny trwałości zmęczeniowej, uwzględniając odkształcenia sprężysto-

plastyczne. Przedstawione rozwiązanie rozszerza zastosowanie metody spektralnej do oceny trwałości materiału w warunkach obciążenia przekraczających stosowność teorii prawa Hooke'a. Praca zawiera weryfikację obliczeniową propozycji rozszerzenia zakresu zastosowania metody spektralnej w celu określenia trwałości zmęczeniowej dla zakresu odkształceń sprężysto-plastycznych. Wykorzystana jest w tym celu hiperbola Neubera jak na rys. 10.



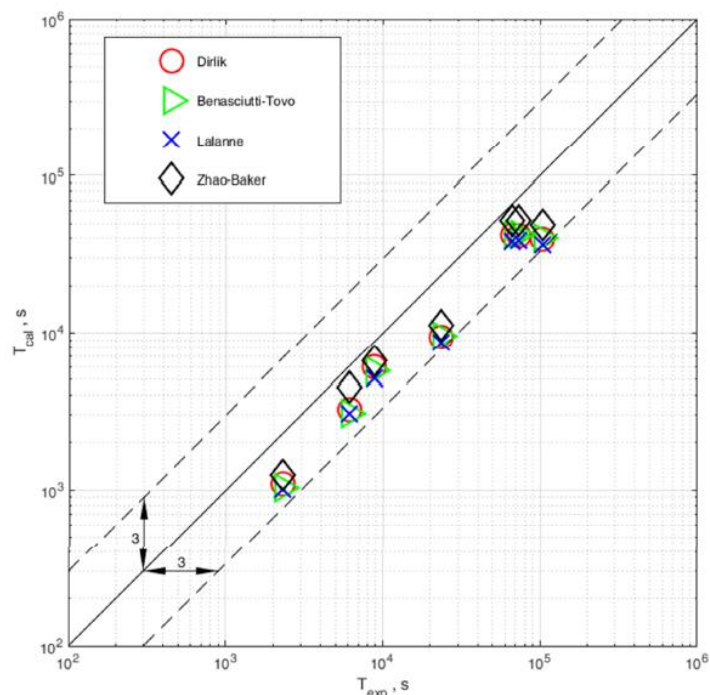
Rys.10. Hiperbola Neubera wraz z liniowym modelem elastoplastycznym (prawo Hooke'a) i krzywą deformacji i krzywą odkształcenia wykorzystaną w wyprowadzeniu modelu [A6].

Jednym z celów proponowanej modyfikacji było uzupełnienie amplitud naprężeń używanych do obliczania funkcji gęstości prawdopodobieństwa gęstości widmowej mocy sygnału o korektę związaną z odkształceniami plastycznymi oraz ich zastosowanie dla elementów z karami:

$$\sigma_a^e = \sqrt{(\sigma_a^{e-p})^2 + \left(\frac{\sigma_a^{e-p}}{\kappa}\right)^{\frac{1}{n}} E \sigma_a^{e-p}}, \quad (9)$$

gdzie:  $K$ - współczynnik odkształceniowego umocnienia cyklicznego,  $\sigma_a$  - amplituda naprężenia sprężysta (indeks górny e) bądź sprężysto-plastyczna (indeks górny e-p),  $E$ - moduł Younga.

Przetestowano metodę, korzystając z czterech najpopularniejszych funkcji gęstości prawdopodobieństwa stosowanych w oprogramowaniu komercyjnym (rys. 11).



Rys. 11. Porównanie trwałości obliczeniowej z trwałością eksperymentalną z zastosowaną modyfikacją amplitud naprężenia stosowanych w kolejnych krokach obliczeniowych [A6].

Uzyskane wyniki porównań między wynikami eksperymentalnymi a wynikami obliczeniowymi pokazują, że zaproponowany algorytm, przetestowany za pomocą modeli Dirlika, Benasciutti-Tovo, Lalanne'a i Zhao-Bakera, nie przeszacowuje trwałości zmęczeniowej, co oznacza, że obliczenia są po stronie bezpiecznej. Uzyskane wyniki dowodzą, że odkształcenia sprężysto-plastyczne mogą być wykorzystane w dziedzinie częstotliwości do obliczeń trwałości zmęczeniowej.

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i spostrzeżeń:

- Przedstawiono algorytm uwzględniania odkształceń sprężysto-plastycznych w procesie oceny trwałości zmęczeniowej z wykorzystaniem metody spektralnej.
- Aby zastosować proponowaną korektę, musimy użyć hiperboli Neubera, aby uzyskać wartości odpowiadające amplitudzie naprężeń sprężystych uzyskanych podczas obliczania gęstości prawdopodobieństwa, odpowiadających amplitudom naprężeń sprężystych uzyskanych podczas obliczania gęstości prawdopodobieństwa i odpowiadające im amplitudy naprężeń elastoplastycznych.
- Korekta ze względu na naprężenia sprężysto-plastyczne jest z powodzeniem

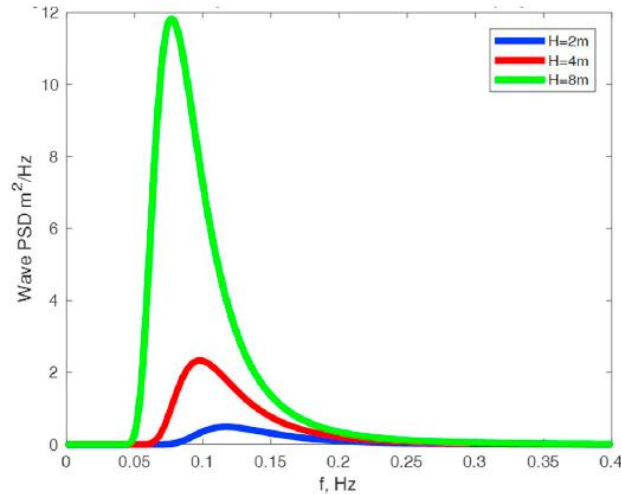
stosowana do określenia trwałości zmęczeniowej w połączeniu ze wszystkimi czterema modelami rozkładu.

- W przypadku braku korekty uzyskujemy zawyżone wyniki obliczeń zmęczeniowych.
- Porównanie trwałości eksperymentalnej i obliczeniowej z korektą pokazuje, że obliczenia mieszczą się w bezpiecznym paśmie rozrzutu 3.
- Wszystkie modele użyte do obliczenia funkcji gęstości prawdopodobieństwa umożliwiają uzyskanie wyników w pożądanym paśmie rozrzutu, a wyniki obliczeń są po bezpiecznej stronie, ponieważ nie zawyżają wyników eksperymentalnych.

**Wypracowane w ramach realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu zastosowania metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej o uwzględnienie wpływu odkształceń sprężysto-plastycznych. Wiedza ta w połączeniu z informacją o wyborze najbardziej dogodnego modelu przyczynia się do możliwości korekcji z uwagi na naprężenia w zakresie sprężysto-plastycznym oraz sam efekt występowania koncentratora naprężeń w formie karbu.**

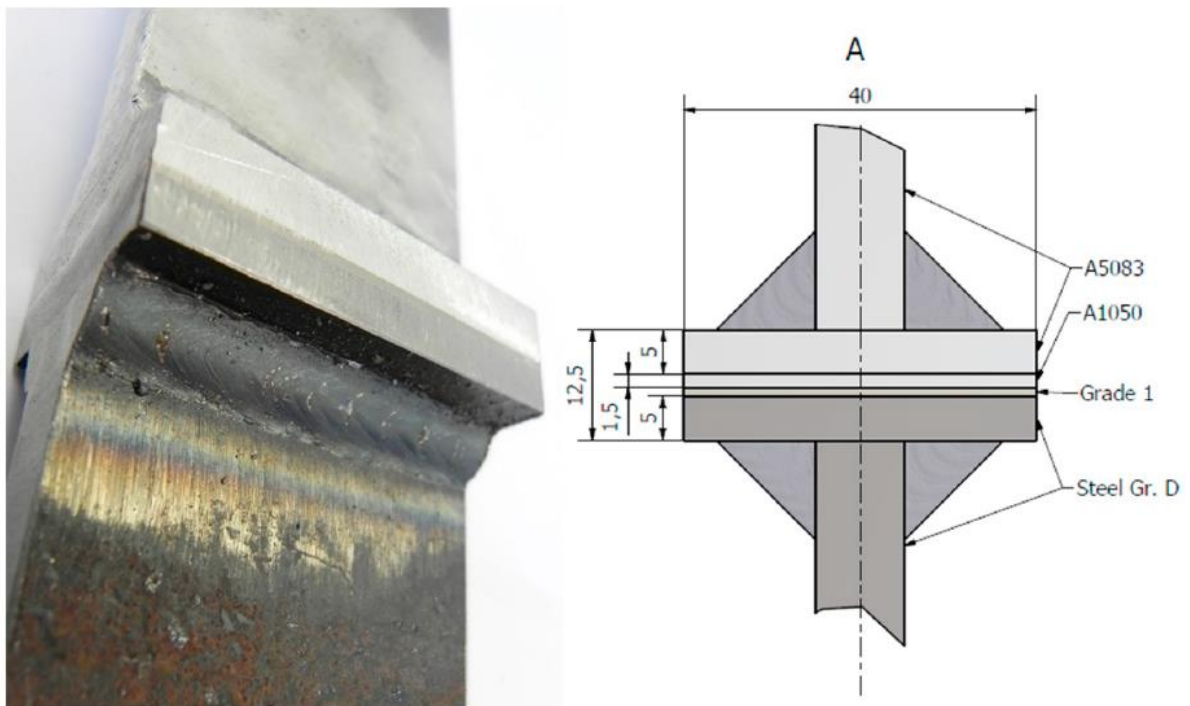
Artykuł [A7]. Zrealizowane w ramach artykułu badania wpisują się w cele 1, 5, 8

W pracy opisano problem wyznaczania trwałości zmęczeniowej tzw. łączników spawalniczych wykonanych metodą platerowania wybuchowego w warunkach obciążenia losowego wywołanych obciążeniami fal morskich. Artykuł przedstawia wyniki badań zmęczeniowych przeprowadzonych dla stanu losowego naprężenia-ściskania w oparciu o wygenerowane widmo obciążenia zgodnie z modelem Piersona-Moskowitza (rys.12).



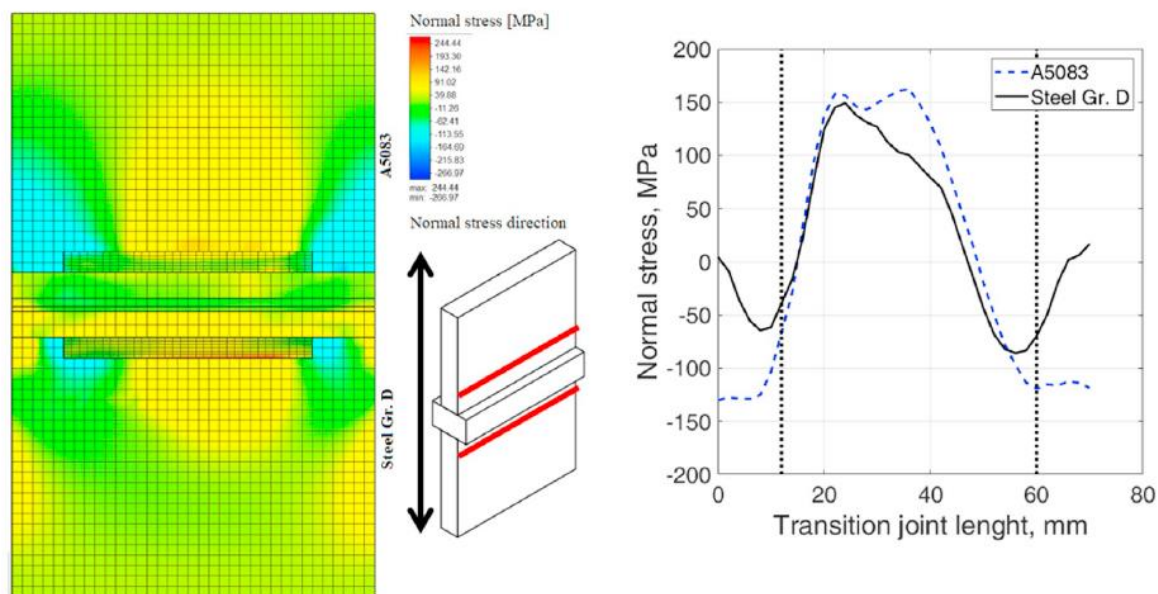
Rys.12. Wygenerowane widma Piersona-Moskowitza dla trzech wysokości fal morskich [A7]

Uzyskane widmo charakteryzuje się rozkładem nie-Gaussowskim. Badany łącznik spawalniczy składa się z połączenia przejściowego platerowanego wybuchowo z czterema warstwami stopu aluminium A5083, A1050, tytanu klasy 1 i stali klasy D jak na rys. 13.



Rys.13. Kształt i wymiary łącznika spawalniczego wykonanego technologią platerowania wybuchowego [A7].

Materiał został poddany badaniom w celu sprawdzenia istnienia naprężeń wewnętrznych po procesie spawania przy użyciu metody wiercenia otworów. Proces spawania został również zasymulowany za pomocą ANSYS, a naprężenia wewnętrzne zostały wygenerowane dla rozkładu wolumetrycznego Goldaka (rys.14).



Rys.14. Wyniki MES dla naprężeń normalnych po procesie spawania [A7].

Uzyskane wartości naprężeń wewnętrznych odpowiadają wartościom rzeczywistym uzyskanym przy użyciu metody wiercenia otworów. Informacje o wartościach naprężeń wewnętrznych zostały uwzględnione w procesie wyznaczania trwałości zmęczeniowej w formie 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 kompensacji naprężeń średnich według Goodmana. Nie-Gaussowość została skompensowana za pomocą wzoru Bracessiego. Uzyskane wyniki oceny trwałości zmęczeniowej zostały porównane z wynikami testów stanowiskowych. Obliczone wyniki mieszczą się w obszarze rozrzutu o wartości 3.

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i spostrzeżeń:

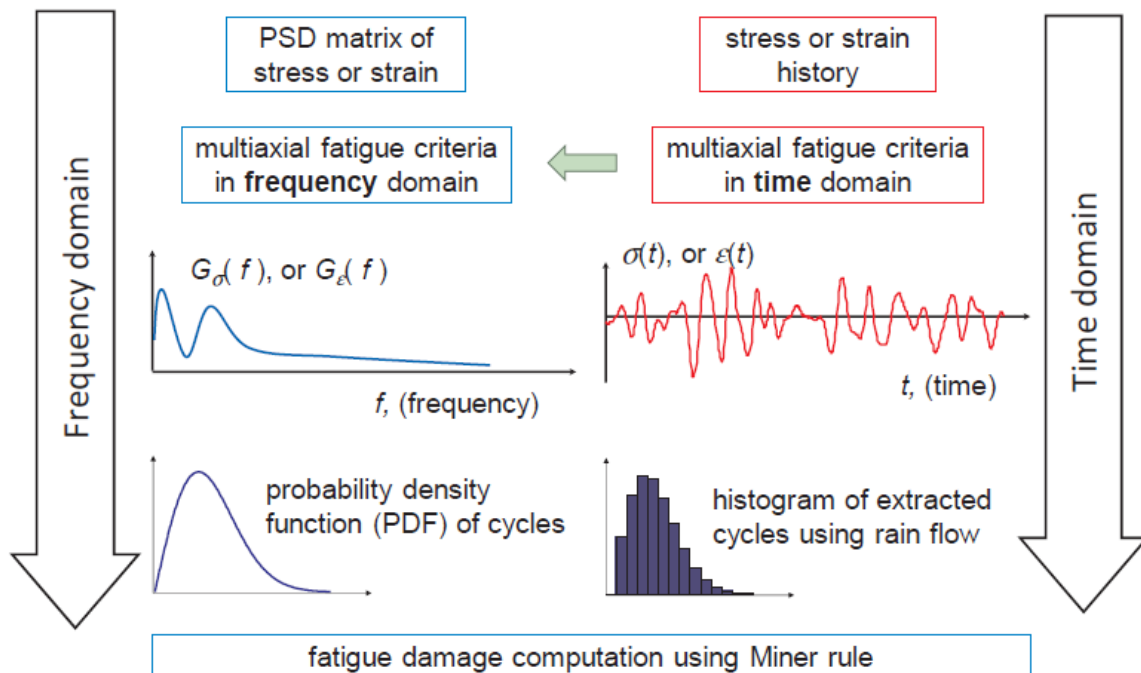
- Większość pęknięć zmęczeniowych pojawiła się po aluminiowej stronie złącza przejściowego, szczególny przypadek pęknięć w obszarze platerowanym wymaga dalszych badań.
- Wszystkie uzyskane wyniki mieszczą się w zakresie rozrzutu 3.
- Porównanie wyników eksperymentalnych i obliczeniowych wykazało, że w większości przypadków metoda spektralna nie zawyża trwałości zmęczeniowej.
- Wpływ naprężenia średniego został uwzględniony przy użyciu modelu kompensacji Goodmana dla różnych wartości naprężeń wewnętrznych.

- Przedstawiony szczególny przypadek inicjacji pęknięcia w międzywarstwie łącznika jest niebezpieczny i powinien być unikany w rzeczywistych konstrukcjach, ponieważ może powodować rozwarstwienie warstw plateru w rzeczywistych konstrukcjach, co pokazuje, jak ważne jest, aby technologia była testowana w formie eksperymentalnych badań zmęczeniowych.
- Wpływ niegaussowskości został skompensowany przy użyciu współczynnika korekcyjnego Bracciesiego.

**Wypracowane w ramach realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu zastosowania metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej o zastosowanie dla elementów spawanych z jednoczesnym wpływem niezerowej wartości średniej naprężenia oraz tzw. nie-Gaussowości przebiegu obciążenia. Wiedza ta umożliwia zastosowanie odpowiednich korekcji ze względu na występowanie naprężeń wewnętrznych po procesie łączenia metodą platerowania wybuchowego w połączeniu z metodami spawania dla łączników spawalniczych.**

Artykuł [A8]. Zrealizowane w ramach artykułu badania wpisują się w cele 7, 8.

Praca skupia się na rozważaniach związanych z przeniesieniem istniejących rozwiązań związanych z wyznaczaniem trwałości zmęczeniowej w stanie wieloosiowym w dziedzinie czasu na dziedzinę częstotliwości w metodzie spektralnej. Wyznaczanie trwałości zmęczeniowej w warunkach wieloosiowego obciążenia wymaga zastosowania wieloosiowych kryteriów uszkodzenia zmęczeniowego, które są zdefiniowane w dziedzinie czasu oraz częstotliwości. Kryteria dziedziny częstotliwości są tworzone poprzez formułowanie za pomocą istniejących kryteriów w dziedzinie czasu. Dlatego istnieje potrzeba ogólnego podejścia do formułowania kryteriów w dziedzinie częstotliwości, opartego na istniejących propozycjach. Omówiono metody określania parametrów występujących w kryteriach dziedziny częstotliwości; w szczególności przedstawiono podejście oparte na płaszczyźnie krytycznej zaproponowane przez Machę oraz niezmienniki naprężenia. Uogólniono procedurę dostosowywania kryteriów zdefiniowanych w dziedzinie czasu do dziedziny częstotliwości (Rys.15).



Rys.15. Podobieństwa i różnice algorytmów obliczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie czasu i częstotliwości [A8].

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i spostrzeżeń:

- można wyróżnić dwie grupy kryteriów: kryteria wykorzystujące płaszczyznę krytyczną oraz kryteria wykorzystujące niezmienniki naprężeń.
- Sformułowanie wieloosiowych kryteriów zmęczeniowych dla metody spektralnej wymaga zrozumienia zależności między dziedziną czasu a dziedziną częstotliwości w kategoriach stałych i zmiennych.
- Niektóre z nich są zdefiniowane zarówno w dziedzinie czasu, jak i częstotliwości, co pozwala na ich wykorzystanie w procesie formułowania kryteriów dla metody spektralnej.
- Tak jest na przykład w przypadku stałych dla tych kryteriów. Co więcej, możemy bezpośrednio powiązać metody obliczeniowe dla oczekiwanych wartości skrajnych (maksymalna wartość w czasie lub liczba cykli).

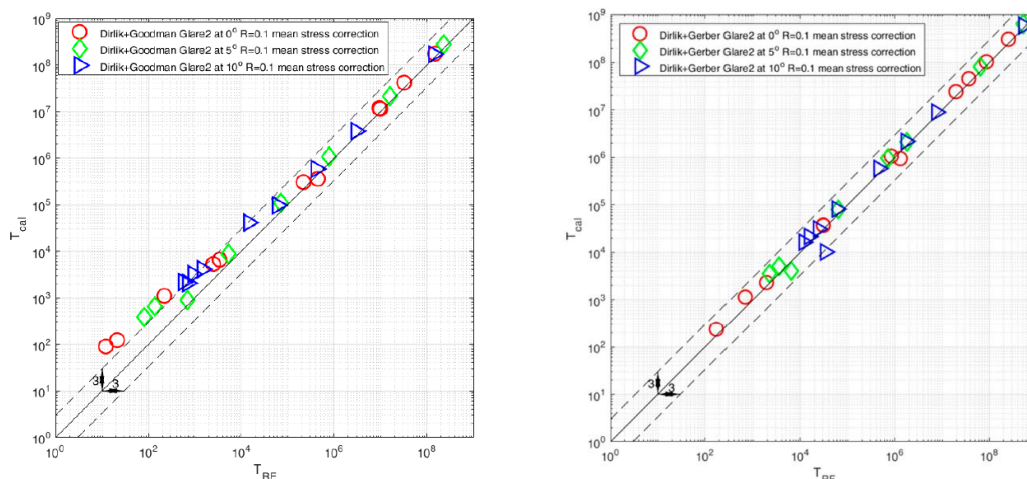
**Wypracowane w ramach realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu zastosowania metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej w zakresie**



stosowalności dla obciążeń wieloosiowych. Wiedza ta w połączeniu z informacją o wyborze dogodnego kryterium wieloosiowego przyczynia się do skrócenia czasu pracy oraz możliwości dostosowania klasycznych lub nowych kryteriów z dziedziny czasu bezpośrednio do dziedziny częstotliwości.

Artykuł [A9]. Zrealizowane w ramach artykułu badania wpisują się w cele 1, 8.

Ten artykuł opisuje metodykę wyznaczania trwałości zmęczeniowej dla przypadku lekkich struktur kompozytowych materiału Glare 2 za pomocą metody wyznaczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości. Wygenerowano losowe stacjonarne sygnały obciążenia gaussowskiego, które zostały wykorzystane w procesie obliczania trwałości zmęczeniowej. Informacje o materiale używanym w procesie obliczeniowym zostały uzyskane z literatury dla kompozytu Glare 2. Uwzględniono wpływ niezerowej wartości średniej naprężenia oraz różne orientacje włókien kompozytu. Obliczenia zostały przeprowadzone dla dwóch modeli kompensacji naprężenia średniego: Goodmana i Gerbera w dziedzinie czasu (metoda płynącego deszczu-rainflow) oraz częstotliwości (metoda spektralna). Proponowana procedura daje zadowalające wyniki dla obszaru wysokocyklowego zmęczenia dla modelu Goodmana oraz ogólnie dobrą zgodność w obu przypadkach dla modelu Gerbera (rys.16).



Rys. 16. Porównanie trwałości zmęczeniowej obliczonej metodą rainflow i metody spektralnej z wykorzystaniem modelu Dirlika z kompensacją naprężeń średnich z modelem Goodmana (lewy) i Gerbera (prawy) dla trzech orientacji włókien  $\theta = 0^\circ$ ,  $\theta = 5^\circ$ , and  $\theta = 10^\circ$  [A9].

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i spostrzeżeń:

- Porównanie metody rainflow i metody w dziedzinie częstotliwości wykazuje dobrą zgodność w przypadku zmęczenia wysokocyklowego  $N > 10^3$  - w tym przypadku większość wyników mieści się w obszarze rozrzutu o wartości 3.
- Porównanie w obszarze zmęczenia niskocyklowego  $N < 10^3$  pokazuje, że metoda zdefiniowana w dziedzinie częstotliwości wraz z modelem Goodmana przeszacowała wyniki zmęczenia - w tym przypadku większość wyników znajduje się poza obszarem akceptowalnego rozrzutu o wartości 3.
- Porównanie z wykorzystaniem modelu kompensacji naprężenia średniego modelem Gerbera pokazuje ogólnie dobrą zgodność między metodami rainflow a obliczeniami w dziedzinie częstotliwości. Jedną rzeczą, którą możemy zauważyć jest to, że obliczenia przy użyciu modelu Gerbera dały wyniki, które przekraczały obszar zmęczenia niskocyklowego.
- Czas obliczeń dla metody w dziedzinie częstotliwości wynosił jedną piątą czasu w porównaniu do obliczeń metodą rainflow.

**Wypracowane w ramach realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu zastosowania metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej o uwzględnienie wpływu wartości średniej obciążenia w materiałach kompozytowych o strukturze anizotropowej. Wiedza ta w połączeniu z informacją o wyborze najbardziej dogodnego modelu przyczynia się do skrócenia czasu pracy oraz możliwości poszerzenia metody spektralnej na inne typy obciążeń oraz materiałów anizotropowych.**

Artykuł [A10]. Zrealizowane w ramach artykułu badania wpisują się w cele 5, 7, 8.

W artykule przedstawiono nowy model oceny uszkodzenia zmęczeniowego zdefiniowany dla parametru gęstości energii odkształceń. Model ten został utworzony dla obliczeń w dziedzinie częstotliwości w przypadku obciążeń wąskopasmowych. Wyprowadzono analityczne wyrażenia dla funkcji gęstości prawdopodobieństwa pików, spektrum przekraczania poziomu oraz dla oczekiwanych uszkodzeń, które są bezpośrednio powiązane z mocą gęstości energii odkształceń. W artykule przedstawiono dowód

teoretyczny, który pokazuje, że uzyskane uszkodzenie dla modelu energetycznego jest równe uszkodzeniu uzyskanemu dla modelu naprężeniowego. Poniżej przedstawiono przekształcony ostateczny wzór na wyznaczenie wartości uszkodzenia zmęczeniowego dla czasu  $T$  przy pomocy parametru gęstości energii odkształceń:

$$E[D_W(T)] = \frac{T v_{0,W}^+}{A_w} (2am_0)^{k'} \Gamma(1 + k') \quad (10)$$

Gdzie:  $v_{0,W}^+$ - wskaźnik przekroczeń wartości średniej,  $A_w$  - współczynnik wytrzymałości zmęczeniowej krzywej S-N dla  $W(t)$ ,  $k'$ - współczynnik nachylenia charakterystyki zmęczeniowej dla  $W(t)$ ,  $\Gamma(-)$ -funkcja gamma,  $a$  – parametr skali,  $m_0$  – zerowy moment spektralny wyznaczany z gęstości widmowej mocy.

Przy użyciu przykładu numerycznego zweryfikowano poprawność proponowanego wzoru oceny uszkodzenia w dziedzinie częstotliwości poprzez porównanie z wynikami eksperymentalnymi oraz wynikami oceny trwałości zmęczeniowej w dziedzinie czasu dla dwóch symulowanych przypadków losowych przebiegów czasowych, w przypadku obciążeń wąskopasmowych i szerokopasmowych. Porównanie między wynikami eksperymentalnymi a obliczeniowymi potwierdza bardzo dobrą zgodność między podejściami dziedziny częstotliwości i czasu z wykorzystaniem parametru energii odkształceń. W tabelce 1 zamieszczono wyniki wyznaczania trwałości proponowaną metodą wraz z porównaniem dla dziedziny częstotliwości.

*Tabela 1. Wyniki obliczeń w dziedzinie czasu metodą płynącego deszczu  $T_{RFstress}$ , energii  $T_{RFenergy}$  w dziedzinie częstotliwości dla modelu Benasciuttiego-Tovo  $T_{B-T}$  oraz wyniki obliczeń uzyskane za pomocą wąskopasmowego podejścia energetycznego  $T_{Energy}$ .*

Wyniki obliczeń wąskopasmowych					
$\sigma_{amax}$ MPa	$T_{exp}$ s	$T_{RFstress}$ s	$T_{RFenergy}$ s	$T_{Energy}$ s	$T_{B-T}$ s
596	8640	11684	8974	10861	14085
596	5004	11684	8974	10861	14085
596	11340	11684	8974	10861	14085

556	29520	20654	15863	19200	24898
556	40788	20654	15863	19200	24898
556	23616	20654	15863	19200	24898
Wyniki obliczeń szerokopasmowych					
$\sigma_{\text{amax}}$ MPa	$T_{\text{exp}}$ s	$T_{\text{RFstress}}$ s	$T_{\text{RFenergy}}$ s	$T_{\text{Energy}}$ s	$T_{\text{B-T}}$ s
596	8964	13442	10158	9513	12144
596	11700	13442	10158	9513	12144
596	4176	13442	10158	9513	12144
556	26316	23762	17956	16816	21466
556	30024	23762	17956	16816	21466
556	36864	23762	17956	16816	21466

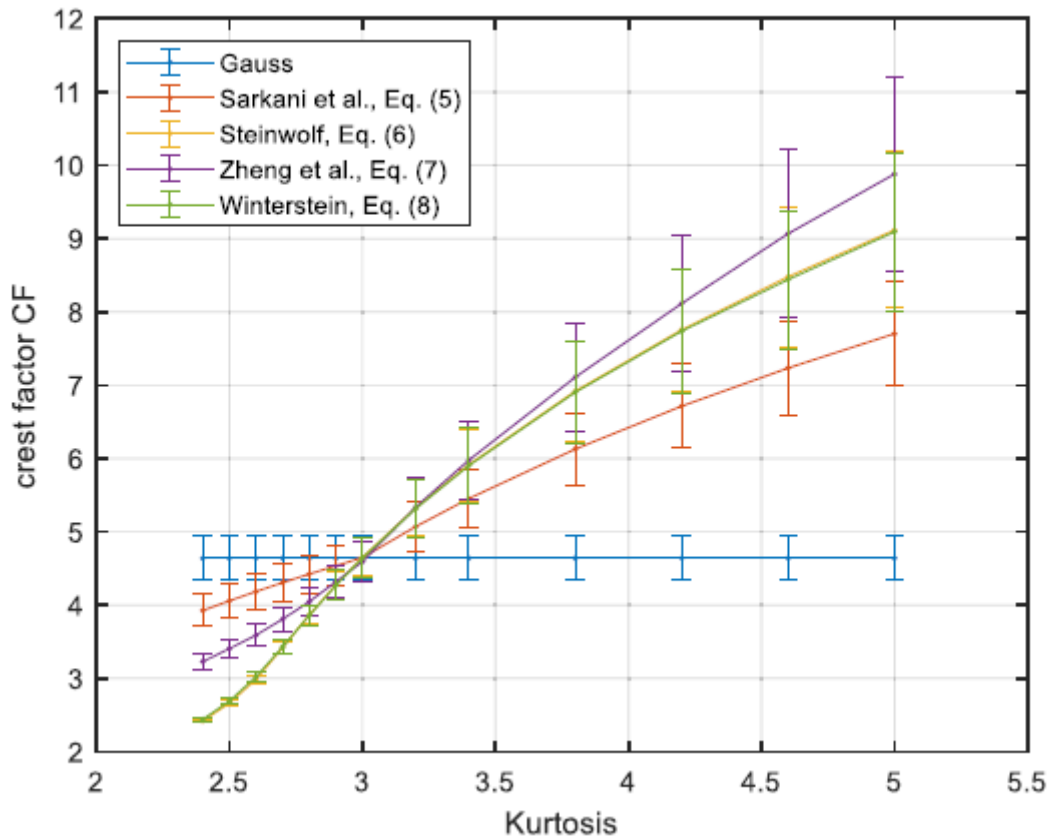
Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i spostrzeżeń:

- Parametr energii odkształcenia  $W(t)$  może być postrzegany jako nieliniowy niezmiennik w czasie transformacji przebiegu naprężenia.
- Funkcja gęstości prawdopodobieństwa  $W(t)$  jest symetryczna i nie jest gaussowska, z zerową skośnością i kurtozą o wartości  $\cong 11,7$ .
- Z wyjątkiem poziomów bliskich zeru, widmo przekroczeń poziomów  $W(t)$  (level crossing spectrum) charakteryzuje się znacznie większą liczbą przekroczeń w porównaniu z widmem naprężenia  $\sigma(t)$ .
- Metoda ta umożliwia bezpośrednie obliczenie oczekiwanego uszkodzenia zmęczeniowego z gęstości widmowej mocy naprężeń (PSD), co przyspiesza proces obliczeniowy.
- Zgodnie z oczekiwaniami, proponowany model dał dokładniejsze wyniki dla przypadku wąskopasmowej historii obciążenia z indywidualnym błędem rozrzutu pasma rozproszenia wynoszącym 1,6350.
- Porównanie danych eksperymentalnych z wynikami obliczeń pokazuje, że proponowana metoda nie zawyża żywotności zmęczeniowej i mieści się w akceptowalnym paśmie rozrzutu wynoszącym 3.

**Wypracowane w ramach realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu zastosowania metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej o wykorzystanie energii odkształcenia  $W(t)$  bezpośrednio w dziedzinie częstotliwości. Wiedza ta w połączeniu z informacją o wyborze najbardziej dogodnego przypadku wąsko bądź szerokopasmowego przyczynia się do skrócenia czasu pracy oraz możliwości poszerzenia metody spektralnej na inne typy obciążeń oraz możliwość analizy innych rodzajów materiałów (guma, elastomery).**

Artykuł [A11]. Zrealizowane w ramach artykułu badania wpisują się w cele 5, 6, 8.

W artykule przedstawiono analizę wpływu kształtu rozkładu prawdopodobieństwa przebiegu obciążenia na obliczeniową trwałość zmęczeniową. Literatura z tego zakresu pokazuje, że głównym parametrem opisującym odchylenie od normalnego (Gaussowskiego) rozkładu jest kurtoza i skośność. Udowodniono, że sama kurtoza nie jest wystarczająca do opisu niestandardowych sygnałów w zakresie zmęczenia materiału. Zarówno kurtoza, jak i współczynnik wzniosu (crest factor), są wskaźnikami wrażliwymi na kształt sygnału obciążenia. Ze względu na to, że rozrzut wyników numerycznych symulacji modelowych jest mniejszy w przypadku kurtozy, wydaje się ona lepszym wskaźnikiem do obliczeń zmęczeniowych. Ponadto zauważono, że wzrost kurtozy prowadzi do znacznego wzrostu maksymalnych wartości losowego przebiegu naprężenia, co może prowadzić do wystąpienia różnych zjawisk zmęczeniowych w badanych komponentach, np. zjawisk niskocyklowego zmęczenia. Przy rozważaniach wzięto pod uwagę podejście Davenporta dla rozkładu największej chwilowej wartości stacjonarnej funkcji losowej. Na rys. 17 przedstawiono zmiany współczynnika wzniosu dla różnych przebiegów obciążenia oraz różnych wartości kurtozy.



Rys. 17. Współczynnik wzniosu (crest factor) obliczony na podstawie historii naprężeń uzyskanych dla różnych wartości kurtozy i transformacji nieliniowej z odchyleniem standardowym równym 100 MPa; słupki błędów równe  $\pm$  odchylenie standardowe [A11].

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i spostrzeżeń:

- Parametr kurtozy jest powszechnie używany do opisu odchylenia od rozkładu gaussowskiego, ale nie wystarcza do opisu rozkładu prawdopodobieństwa sygnału niegaussowskiego. W zależności od kształtu nieliniowej funkcji transformującej, różne kształty rozkładów prawdopodobieństwa z tą samą wartością kurtozy.
- Parametr współczynnika szczytu jest dobrym parametrem, który uzupełnia informacje o przebiegu niegaussowskim. Wykorzystuje on jednak deterministyczną wartość absolutnego maksimum. Nie ma informacji o tym, jak często ta maksymalna wartość występuje w okresie obserwacji. Ponieważ maksymalne wartości historii czasu naprężenia znacząco wpływają na zmęczenie materiału mają znaczący wpływ

na zmęczenie, konieczne jest uwzględnienie tego faktu w parametrach opisujących zmęczenie materiału z uwagi na obciążenia niegaussowskie zdefiniowane w przyszłości.

- Możliwe jest skuteczne przeprowadzenie testów zmęczeniowych również dla kurtozy niższej niż 3, jednak w tym przypadku wartość odchylenia standardowego historii czasu naprężenia powinna zostać zwiększona. Zwiększenie wartości odchylenia standardowego powinno być dostosowane do rozkładu niegaussowskiego i powinno uwzględniać oczekiwane wartości maksymalne (współczynnik szczytu CF).
- W przypadku sygnału losowego współczynnik szczytu (CF) zależy od długości obserwacji i dlatego nie jest stały podczas obliczeń zmęczeniowych obserwacji i testów komponentów. Skalowanie sygnału losowego do jego maksymalnej wartości w okresie obserwacji prowadzi do różnych wartości odchylenia standardowego kształtu fali. Wynika z tego, że użycie współczynnika szczytu i wartości maksymalnej należy stosować bardzo ostrożnie w przypadku sygnałów losowych, w których górna i dolna granica rozkładu prawdopodobieństwa nie są skończone, jak w przypadku rozkładu normalnego.
- Użycie parametru współczynnika szczytu jest uzasadnione, gdy istnieją sprzętowe ograniczenie maksymalnych wartości sygnału. Jest to często stosowana procedura, aby zapobiec uszkodzeniu sprzętu podczas testowania. Gdy pojawia się sprzętowa wartość graniczna, rozkład prawdopodobieństwa ulega pewnej modyfikacji na krańcach rozkładu, a teoria przedstawiona przez Davenporta nie ma zastosowania.
- W artykule poruszono kwestię strategii testowania zmęczeniowego w kontekście skalowania sygnału. Pytanie brzmiało: czy odchylenie standardowe sygnału lub jego oczekiwane wartości maksymalne powinny być po transformacji nieliniowej? Odpowiedź jest niejednoznaczna i zależy od efektu, jaki chcemy osiągnąć podczas testów. Ogólnie można powiedzieć, że sygnał powinien zostać przeskalowany do pożądanej wartości odchylenia standardowego, jeśli chcemy uzyskać przyspieszenie testów zmęczeniowych przy kurtozie większej niż 3.

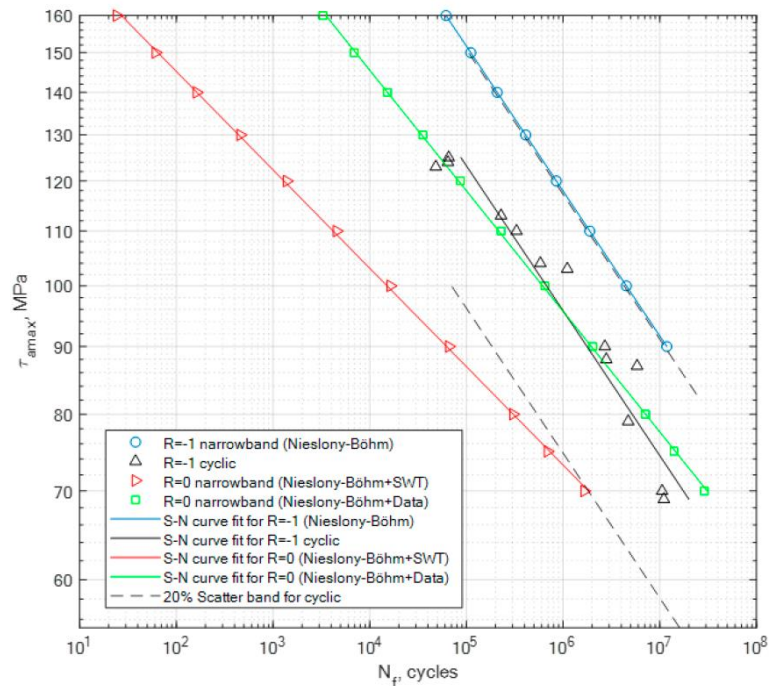
**Wypracowane w ramach realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu zastosowania metod wyznaczania trwałości zmęczeniowej o analizę sygnałów losowych**

**poprzez odpowiednie przygotowanie do analizy zjawisk przeciążeń jak również niegaussowości 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 oraz możliwość analizy innych rodzajów materiałów.**

Artykuł [A12]. Zrealizowane w ramach artykułu badania wpisują się w cele 1, 2, 8

Artykuł przedstawia wyniki eksperymentalnych badań zmęczeniowych w warunkach cyklicznego obciążenia stało amplitudowego dla przypadku skręcania stopów aluminium PA4 (AW-6082-T6), PA6 (AW-2017A-T4) i PA7 (AW-2024-T3) w wierconych nowych rodzajach próbek typu diabolo. Badania zostały przeprowadzone dla stosunków asymetrii cyklu:  $R = -1$ ,  $R = -0.7$ ,  $R = -0.5$  i  $R = -0.3$ . Wyniki eksperymentalne zostały wykorzystane w procesie 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 Palmgrena-Minera. Kompensacja naprężenia średniego została przeprowadzona przy użyciu modelu wykorzystującego krzywe S-N zaproponowanego przez Niesłonego i Böhma. Model ten został zmodyfikowany pod kątem warunków obciążenia skręcającego. Aby uzyskać odpowiednią krzywą S-N amplitudy wytrzymałości dla  $R = 0$ , użyto modelu Smitha-Watsona-Toppera i porównano go z amplitudami wytrzymałości zmęczeniowej z literatury. Przedstawione rozwiązanie rozszerza zastosowanie modelu korekcyjnego pod kątem warunków obciążenia skręcającego, aby uzyskać nowe krzywe S-N dla innych wartości R na podstawie wyników dla  $R = -1$ . Praca zawiera wyniki obliczeń dla nowych krzywych zmęczeniowych z i bez wpływu naprężenia średniego. Wyniki obliczeń pokazują, że wpływ naprężenia średniego odgrywa główną rolę w ocenie trwałości zmęczeniowej badanych stopów aluminium i że metoda może być stosowana do oceny trwałości zmęczeniowej w warunkach losowych. Na rys. 18 przedstawiono wyniki obliczeń dla wąskopasmowego losowego sygnału naprężenia dla materiału PA7 (AW-2024-T3).





Rys.18. Wyniki obliczeń uzyskane dla generowanego sygnału wąskopasmowego dla przypadków  $R = -1$  i  $R = 0$ , wraz z cyklicznymi wynikami eksperymentalnymi dla  $R = -1$  dla PA7 [A12].

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków i spostrzeżeń:

- Nowy kształt próbek eksperymentalnych spełnił swoje zadanie, ponieważ pozwolił nam uzyskać czysty rozkład ścinania wewnątrz próbki.
- Model kompensacji naprężeń średnich według Nieslony-Böhm (N-B) może być również zastosowany do warunków obciążenia skręcającego.
- Wyniki literaturowe dla brakującej amplitudy wytrzymałości zmęczeniowej dla  $R = 0$  zastosowane w modelu Nieslony-Böhm znacznie poprawiły wyniki w porównaniu z wytrzymałościami zmęczeniowymi uzyskanymi za pomocą modelu SWT.
- Wyniki obliczeń uzyskane dla wygenerowanego wąskopasmowego sygnału obciążenia pozwoliły na wykonanie obliczenia dla trzech nowych krzywych S-N w przypadku braku korekty naprężenia średniego dla stosunku  $R = -1$  i dwóch kompensacji wpływu naprężenia średniego dla  $R = 0$  z różnymi podejściami do uzyskania wytrzymałości zmęczeniowej dla modelu N-B.
- Można zauważyć, że krzywe wąskopasmowe dla  $R = 0$  znajdowały się w paśmie rozrzutu wyników cyklicznych dla  $R = -1$ , w granicach lub poniżej obszaru 20%,

podczas gdy wyniki obliczeń dla krzywych wąskopasmowych dla  $R = -1$  znajdowały się tylko w paśmie rozproszenia stopu PA6.

**Wypracowane w ramach realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu zastosowania metod wyznaczania trwałości zmęczeniowej o analizę sygnałów losowych dla obciążeń skręcających materiałów z niezerową wartością średnią przebiegu globalnego w połączeniu z modelem Niestonego-Böhma. Wiedza ta w połączeniu z informacją o rodzaju materiału oraz obciążenia przyczynia się do zaniżenia niebezpieczeństwa przeszacowywania czasu wytrzymałości zmęczeniowej materiałów i konstrukcji oraz możliwości poszerzenia wiedzy na temat zakresu stosowalności odpowiednich modeli zmęczeniowych uwzględnienia wartości średniej naprężenia.**

#### **4.4. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze**

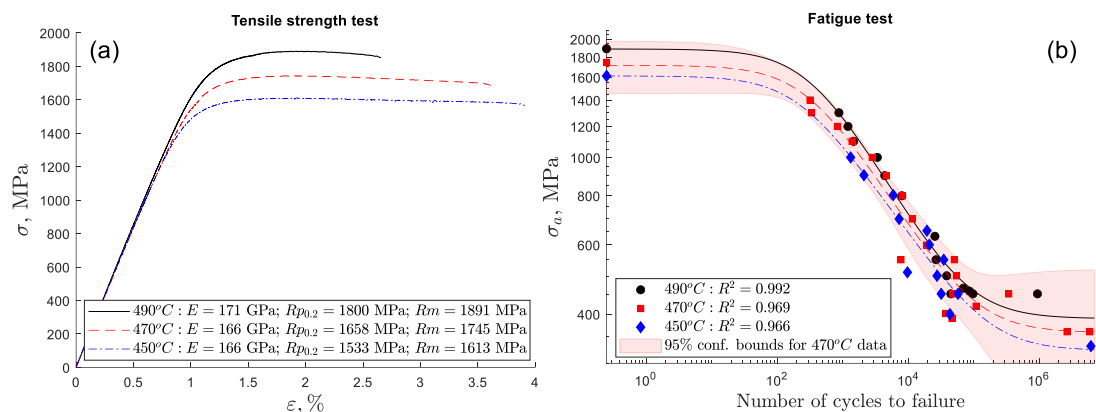
Mój dorobek naukowo-badawczy jest większy i nie dotyczy wyłącznie zagadnień związanych z tematyką przedstawionego do oceny cyklu publikacji. Zdecydowana większość aktywności naukowo-badawczej (zarówno przed, jak i po uzyskaniu stopnia doktora) skupiała się w obrębie dyscypliny inżynieria mechaniczna. Natomiast od kilku lat zacząłem współpracować w interdyscyplinarnych zespołach, których tematyka wiąże się z dyscyplinami inżynieria materiałowa, inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, historia oraz archeologia. **Wszelkie cytacje prac opisanych w autoreferacie w nawiasach kwadratowych nawiązują do tak samo oznaczonych pozycji przedstawianych w wykazie osiągnięć naukowych dołączonym do wniosku (Załącznik nr 4).**

##### **4.4.1. Działalność i osiągnięcia naukowo-badawcze po uzyskaniu stopnia doktora.**

Po uzyskaniu doktoratu starałem się zająć współpracą interdyscyplinarną oraz rozwijaniem metody spektralnej wyznaczania trwałości. Do osiągnięć naukowo-badawczych po uzyskaniu stopnia doktora (realizowanych w różnych grupach tematycznych) można zaliczyć:

- Badania materiałów wykonywanych przy pomocy metod przyrostowych druku 3D z wykorzystaniem proszków metalicznych. Jest to obecnie tematyka, z którą wiąże

się moja współpraca naukowa z najszerszą grupą współpracowników z różnych uczelni zagranicznych. Realizuję dwa granty związane z tematyką badań zmęczeniowych dla tego typu elementów. Pierwszy grant skupia się na badaniach nad nowym pionierskim modelem szacowania trwałości zmęczeniowej bazującym na procesie Gaussowskim i uczeniu maszynowym w dziedzinie czasu. W granicie badamy między innymi wpływ różnych temperatur obróbki cieplnej próbek drukowanych z materiału Maraging steel 1 na trwałość zmęczeniową symulując procesy formowania się porów oraz uwzględniając mikrostrukturę. Pierwsze wyniki zaprezentowano na konferencji ECF23 (European Conference on Fracture 2022) w referacie: Heat treatment effect on stress-life curve of additively manufactured MS1 maraging steel under push-pull loading autorstwa Andrzej Kurek, Aleksander Karolczuk, Michał Böhm, Szymon Derda na Maderze w dniach 27.06–1.07.2022 (rys.19):



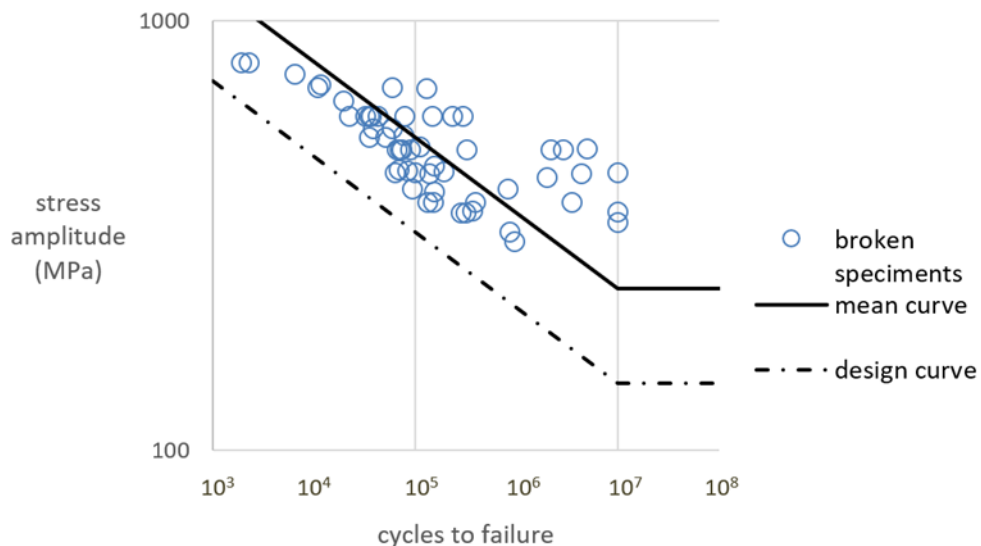
Rys.19. a) Krzywe naprężeniowo-odkształceniowe przy rozciąganiu i b) zmęczeniowe dla stali maraging MS1 produkowanej addytywnie w różnych warunkach obróbki cieplnej.

W drugim granicie o nazwie Opracowanie systemów „druk 3D - natrysk termiczny” do zastosowań przy obciążeniu dynamicznym i uderowym M- ERA.NET 2 (Development of “3D print-thermal spray” systems for applications with dynamic and impact loading DePriSS) we współpracy z partnerami z Republiki Czeskiej przeprowadzamy badania zmęczeniowe związane również z drukowanym materiałem Maraging steel 1 (1.2709 Tool Steel) z różnymi pokryciami. Wstępne wyniki badań zaprezentowano w pracy [P1]:

P1. **Michał Böhm**, Adam Niestony, Szymon Derda, Robert Owskiński, Miloslav Kepka, Ivana Zetkova, Moroslav Zetek, Šárka Houdková, Mariusz Prażmowski, *General Reference and Design S–N Curves Obtained for 1.2709 Tool Steel*, Materials, no. 5, vol. 16, 2023, pp. 1-18 DOI:10.3390/ma16051823.

Impact factor	3,8*
Punkty MEiN	140/140**

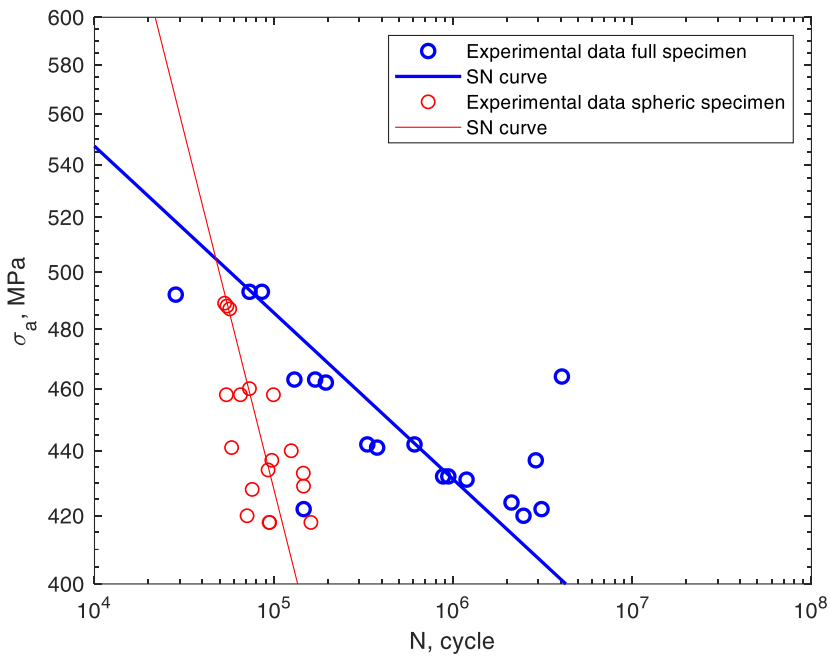
Przedstawiono tam wyniki badań między innymi dla krzywej referencyjnej przedstawionej na rys. 19.



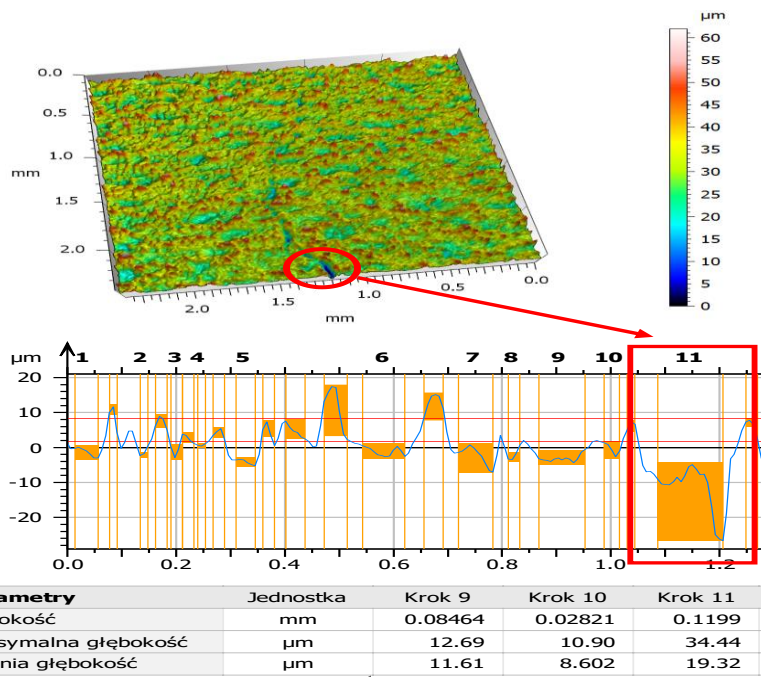
Rys. 20. Połączona referencyjna krzywa zmęczeniowa i projektowa krzywa zmęczeniowa na podstawie wyników doświadczalnych rozciągania-ściskania oraz wyników literaturowych przedstawionych w poprzedniej sekcji pracy dla przypadku  $R = -1$  bez wpływu wysokiej temperatury [P1]

- Badania wpływu proszku metalicznego z materiału Ti-6Al-4V w sferycznym koncentracie naprężeń na trwałość zmęczeniową elementów wytwarzanych technologią przyrostową druku 3D. We współpracy z partnerami z Chemnitz oraz profesorem Benasciuttim z Włoch prowadzimy badania nad wpływem proszku metalicznego zamkniętego w różnego typu koncentratora naprężeń na trwałość zmęczeniową dla próbek zginanych. Pierwsze wyniki badań zmęczeniowych (rys.

20), tomograficznych, powierzchni oraz pęknięć (rys. 21) zostały zaprezentowane na XIX Konferencji Mechaniki Pęknięcia we Wrocławiu ([R1]): Michał Böhm, Krzysztof Kluger, Tomasz Osiecki, Frank Schubert, Denis Benasciutti, Fatigue behavior of 3D printed Ti-6Al-4V specimens with spheric stress concentrator void filled with powder.

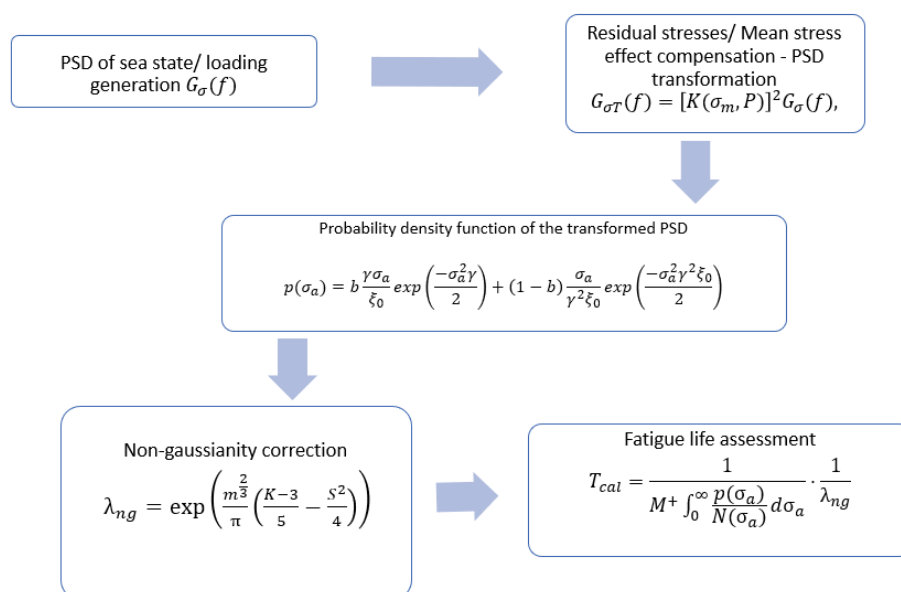


Rys. 21. Wyniki badań zmęczeniowych dla Ti-6Al-4V [R1].



Rys. 22. Wyniki badań profilu 3D pęknięcia zmęczeniowego dla Ti-6Al-4V [R1].

- Badania materiałów uzyskiwanych metodą platerowania wybuchowego. Moja długoletnia współpraca z przedsiębiorstwem Explomet z Opola zajmującym się łączenie materiałów platerowaniem wybuchowym obfitowała w wiele publikacji naukowych na podstawie materiałów przekazywanych do badań. Przeprowadzono badania symulujące zachowanie się złącza spawanego oraz analizy metod wyznaczania trwałości w dziedzinie częstotliwości [R3]: Michał Böhm, Fatigue Life Assessment Within the Frequency Domain for Explosive Cladded Joints Under Non-Gaussian Random Loading, Fatigue and Fracture of Materials and Structures. Contributions from ICMFM XX and KKMP2021, Springer International Publishing, 2022, pp. 169-175 oraz [R7]: Mateusz Kowalski, Michał Böhm, Numerical Simulation of Residual Stress Induced by Welding of Steel-Aluminum Transition Joint, Proceedings of the 14th International Scientific Conference. Computer Aided Engineering, Springer International Publishing, 2019, pp. 346-352. Część z tych prac łączy się z cyklem publikacji przedstawionych do oceny, ale z uwagi na nie spełnienie wymogów formalnych nie zostały w niej ujęte. Na rys. 23 przedstawiono algorytm stosowany podsumowujący procedurę wyznaczania trwałości dla łączników spawalniczych produkowanych metodą platerowania wybuchowego.



Rys.23. Algorytm wyznaczania trwałości dla łączników spawalniczych produkowanych metodą platerowania wybuchowego [R3].

- Badania wykorzystujące metodę wyznaczania naprężeń wewnętrznych metodą

głębokiego otworu (deep hole drilling). W ramach współpracy z przedsiębiorstwem Spółka AS Nakonieczny Andrzej Werakso Bartłomiej z Opola realizowałem badania w projekcie Przeprowadzenie badań przemysłowych i prac rozwojowych nad nowoczesnymi rozwiązaniami dla spawalnictwa w Spółka AS Nakonieczny Andrzej Werakso Bartłomiej Nr projektu: RPOP.01.01.00-16-0021/17-00 na temat wdrożenia metody deep hole drilling do wyznaczania naprężeń wewnętrznych w odlewach. W tym celu brałem udział w badaniach symulacyjnych, opracowaniu strategii i planów stanowiska badawczego. Wyniki badań przedstawiono między innymi w pracy [R8]: Mateusz Kowalski, Michał Böhm, Fabian Żok, Symulacja numeryczna procesu wyznaczania naprężeń wewnętrznych metodą głębokiego otworu, Zmęczenie materiału w eksploatacji maszyn roboczych, Studia i Monografie / Politechnika Opolska, ISSN 1429-6063, 2019.

- Badania materiałów kompozytowych używanych w konstrukcjach budowlanych z uwagi na m.in. parametry przewodności oraz odporności na wysokie temperatury:

P10. Sławomir Pochwała, Damian Makiola, Stanisław Anweiler, <b>Michał Böhm</b> , <i>The Heat Conductivity Properties of Hemp-Lime Composite Material Used in Single-Family Buildings</i> , Materials, np. 4, vol 13, 2020, pp.1-14 DOI:10.3390/ma13041011	
Impact factor	3,8*
Punkty MEiN	140/140**

Głównym celem artykułu było obliczenie przewodności cieplnej dla trzech eksperymentalnych kompozytów konopno-wapiennych stosowanych do celów konstrukcyjnych z wykorzystaniem stanowiska eksperymentalnego wewnątrz dwóch komór. Ze względu na obecne trendy w budownictwie, stale poszukujemy materiałów przyjaznych dla środowiska, które mają niski ślad węglowy. Tak jest w przypadku analizowanego materiału, a dodatkowy termograficzny rozkład ciepła wewnątrz materiału podczas badania odporności ogniowej dowodzi, że jest to również doskonały materiał izolacyjny, który może być stosowany jako uzupełnienie popularnych materiałów izolacyjnych. W artykule przedstawiono wyniki niektórych badań kompozytu konopno-wapiennego oraz potencjał wykorzystania kompozytu konopno-wapiennego w budownictwie konstrukcyjnym. Współczynnik przenikania ciepła, odporność ogniowa i gęstość nasypowa kompozytu konopno-wapiennego

zostały porównane z właściwościami innych powszechnie stosowanych materiałów budowlanych. Uzyskane wyniki pokazują, że materiał wraz z belkami nośnymi wykonanymi z innych biodegradowalnych materiałów może być doskonałą alternatywą dla innych powszechnie stosowanych materiałów budowlanych.

Kolejna praca dotycząca budowlanych materiałów kompozytowych dotyczyła badań nad kompozytem DCLT składającym się z warstw laminowanych drewna z wełną drzewnianą [P2]:

P2. Jadwiga Świrska-Perkowska, Anna Wicher, Sławomir Pochwała, Stanisław Anweiler, <b>Michał Böhm</b> , <i>Doweled cross Laminated Timber (DCLT) Building Air Tightness and Energy Efficiency Measurements: Case Study in Poland</i> , <i>Energies</i> , no.23, vol. 15, 2022, pp. 1-23, DOI:10.3390/en15239029.	
Impact factor	3,252*
Punkty MEiN	140/140**

W artykule przedstawiono wyniki badania szczelności powietrznej oraz badania termowizyjnego domu jednorodzinnego zbudowanego w technologii wykorzystującej panele z DCLT. Zmierzono również współczynniki przewodności cieplnej wełny drzewnej użytej do izolacji ścian i stropu budynku, wyznaczono numerycznie liniowe współczynniki przenikania ciepła węzłów konstrukcyjnych oraz wykonano obliczenia dotyczące efektywności energetycznej budynku.

- Procedury związane z wyznaczaniem trwałości zmęczeniowej złączy spawanych z wykorzystaniem metod zdefiniowanych w dziedzinie częstotliwości, podsumowujące osiągnięcia cyklu, w tym metody uwzględniające wpływ niezerowej wartości średniej, wpływu przeciążeń z wykorzystaniem tzw. crest factora został przedstawiony w pracy [P5]:

P5. <b>Michał Böhm</b> , <i>Determination of the Fatigue Service Life of Welded Joints Using the Spectral Method Defined in the Frequency Domain</i> , <i>Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach</i> , no. 2, 2020, pp. 53-58	
Impact factor	-
Punkty MEiN	40/40**



- Badania zmęczeniowe stali S355JR dla jednoosiowych obciążeń stała amplitudowych i losowych zmienno-amplitudowych zostały przedstawione w pracy [P8]:

P8. Adam Niestony, <b>Michał Böhm</b> , <i>Fatigue Life of S355JR Steel under Uniaxial Constant Amplitude and Random Loading Conditions</i> , Materials Science, no. 4, vol. 55, 2020, pp. 514–521	
Impact factor	0,508*
Punkty MEiN	40/40**

W pracy przedstawiono wyniki badań w formie krzywych Wöhlera dla niezerowej globalnej wartości średniej. Przedstawiono przegląd modeli korekcji wartości średniej w dziedzinie czasu oraz jedną z modyfikacji modelu korekcji wartości średniej według Niestonego-Böhma.

- Badania związane z wykorzystaniem historii odkształceń w tym parametru energetycznego w metodzie spektralnej. Pierwsze badania na temat zastosowania parametru energetycznego w dziedzinie częstotliwości z odpowiednią korekcją z uwagi na nie-Gaussowość przedstawiono po raz pierwszy w pracach [P16]:

P16. <b>Michał Böhm</b> , Tadeusz Łagoda, <i>Fatigue life assessment with the use of the spectral method for non-Gaussian loading histories with the use of the energy parameter</i> , Journal of Machine Construction and Maintenance, ISSN 1232-9312, Instytut Technologii Eksploatacji - Państwowy Instytut Badawczy w Radomiu, nr 1, 2018, ss. 27-31	
Impact factor	-
Punkty MEiN	12/5**

Jak również dodatkową metodę opartą o tzw. zdegenerowany rozkład gęstości prawdopodobieństwa w pracy [R6]: **Michał Böhm**, Tadeusz Łagoda, *Fatigue Life Calculation with the Use of the Energy Parameter for the Elastic Material State in the Spectral Method*, Proceedings of the 14th International Scientific Conference. Computer Aided Engineering, Springer International Publishing, 2019, pp. 80-87.

Jak również wykorzystanie charakterystyk odkształceniowych do bezpośredniego

wyznaczania trwałości zmęczeniowej w pracy [P23]:

P23. <b>Michał Böhm</b> , Adam Niesłony, <i>Determination of Fatigue Life with the Use of Spectral Method on the Basis of Fatigue Strain Characteristics</i> , Solid State Phenomena 01/2015; 224:112-117	
Impact factor	-
Punkty MEiN	10/5**

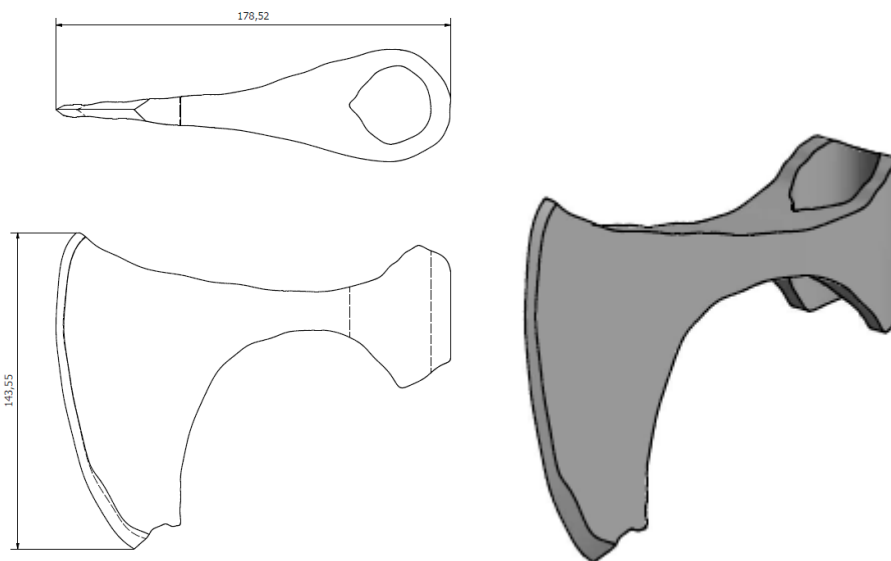
Wyprowadzono tam następującą zależność na wyznaczenie trwałości z użyciem charakterystyki zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości:

$$T = \frac{1}{\nu_p \int_0^{\infty} \frac{p(\sigma_a)}{N_f(\sigma_a)} d\sigma_a} = \frac{\left( \frac{\varepsilon'_f}{\sigma'_f} \right)^{\frac{1}{b-c}} \cdot K'^{\frac{c}{b(b-c)}}}{\nu_p \cdot 2 \cdot \left( 2 \cdot M_0^2 \right)^{\frac{-1}{2b}} \cdot \Gamma \left( 1 - \frac{1}{2b} \right)}, \quad (11)$$

gdzie:  $\varepsilon_a$  - amplituda odkształcenia,  $\varepsilon_{ae}$  - amplituda odkształcenia sprężystego,  $\varepsilon_{ap}$  - amplituda odkształcenia plastycznego,  $\varepsilon'_f$  - współczynnik zmęczeniowego odkształcenia plastycznego,  $E$  - moduł Younga,  $N_f$  - liczba cykli,  $\sigma'_f$  - współczynnik wytrzymałości zmęczeniowej,  $b$  - wykładnik wytrzymałości zmęczeniowej,  $c$  - wykładnik zmęczeniowego odkształcenia plastycznego,  $\nu_p$  - oczekiwana liczba cykli na jednostkę czasu,  $M_0$  jest modą rozkładu Rayleigh'a, która dla tego rozkładu związana jest z wartością oczekiwaną pików  $\sigma_a$ .

- Badania związane z odtwarzaniem i analizą oręża wikingów. W ramach interdyscyplinarnego zespołu z Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej z partnerami z Instytutu Historii Uniwersytetu Opolskiego wykonuję badania w ramach prac naukowych grupy zajmującej się badaniami nad wczesno średniowiecznymi okrętami oraz toporami tzw. wikingów, czyli mieszkańców terenów obecnej Skandynawii z okresu VIII do XII wieku. Zajmuję się generowaniem widm obciążeń fal morskich, które są zgodne ze źródłami historycznymi przypadającymi na konkretne przemieszczanie się łodzi po konkretnych akwenach takich jak Morze Północne, Morze Śródziemne, Morze Czarne i Bałtyk oraz zajmuję się odtwarzaniem modeli wolumetrycznych głowic toporów (rys. 24) na podstawie przekazywanych mi zdjęć oraz szkiców ze źródeł archeologicznych. Obecnie

przygotowujemy pracę pod tytułem: The evolution of the design process of Danish M-type axes on selected examples from the 10th-12th centuries.



Rys.24. Odtworzony model wolumetryczny jednego z analizowanych typów toporów typu-M analizowanych w przygotowywanej pracy na podstawie materiałów archeologicznych.

- Odbylem dwa staże naukowe: pierwszy w Chemnitz University of Technology w Niemczech, którego wstępne rezultaty zostały przedstawione na XIX Konferencji Mechaniki Pękania we wspólnej pracy z Panami Osieckim oraz Schubertem z Chemnitz. Drugi staż w Ingolstadt Technical University w Niemczech jeszcze w trakcie doktoratu, z którego nie powstała bezpośrednio żadna praca naukowa.
- Moje zaangażowanie w rozwój czasopism naukowych:

Crystals (5-letni IF: 2,670)	Członek tematycznego panelu doradczego Crystals (Topical Advisory Panel Member of Crystals), Guest editor
Frontiers in Materials (5-letni IF 3,8)	Redaktor działu recenzji (Review Editor)
Materials (5-letni IF: 3. 3,748)	członek rady recenzentów (Reviewer Board Member)
Polymers (5-letni IF: 4,967)	członek rady recenzentów (Reviewer Board Member)

- Pracowałem w latach 2018-2020 w laboratorium badawczym w przedsiębiorstwie Spółka AS Nakonieczny Andrzej Werakso Bartłomiej w ramach grantu przyznanemu przedsiębiorstwu.

- Odbywałem staże przemysłowe między innymi w przedsiębiorstwie Metalowiec z Namysłowa.
- Wyniki moich wszystkich badań zaprezentowałem na 7-miu konferencjach międzynarodowych oraz 13-tu krajowych.
- Byłem przewodniczącym IV sesji na XIX Konferencji Mechaniki Pękania we Wrocławiu.
- Byłem przewodniczącym sesji A pierwszego dnia na międzynarodowej konferencji: 20th International Colloquium on Mechanical Fatigue of Metals, ICMFM, 15-17.09.2021 Wrocław
- Byłem Kierownikiem grantu Preludium przyznanego z Narodowego Centrum Nauki- Wpływ odkształceń sprężysto-plastycznych na trwałość obliczeniową wyznaczaną metodą spektralną nr 2013/09/N/ST8/04332, który zakończył się rok po uzyskaniu stopnia doktora.
- Byłem wykonawcą w 3 grantach przyznanych z Narodowego Centrum Nauki.
- Byłem wykonawcą w 3 grantach przyznanych z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, z których technologie zostały wdrożone do przedsiębiorstw.
- Byłem wykonawcą w ramach projektu wewnętrznego Politechniki Opolskiej o nazwie DELTA: Szczelność powietrzna i efektywność energetyczna budynku jednorodzinny wykonanego w technologii Holtz – studium przypadku. Jadwiga Świrska-Perkowska, Sławomir Pochwała, Stanisław Anweiler, Michał Böhm, Anna Drzymała, w ramach którego powstała praca [P2].
- Jestem kierownikiem grantu przyznanego w ramach NCBiR: Europejski Fundusz Społeczny - Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój (PO WER): Centrum wiedzy o dostępności i upowszechniania zasad projektowania uniwersalnego w obszarze designu i przedmiotów codziennego użytku POWR.03.05.00-IP.08-00-CWD/20
- Jestem członkiem komisji konkursowej XIX edycji Ogólnopolskiego Konkursu „Otwarte Drzwi” organizowanego przez Państwowy Fundusz Rehabilitacji Osób Niepełnosprawnych 2023. – konkurs na najlepsze prace magisterskie i

doktorskie, których tematem jest niepełnosprawność w wymiarze: społecznym, zawodowym lub zdrowotnym.

- W ramach działalności na rzecz nauki wykonałem 227 recenzji (w latach 2015–2023) do czasopism zagranicznych indeksowanych w bazie WoS oraz mających IF (tabela 2)

*Tabela 2. Recenzje prac naukowych w czasopismach indeksowanych w bazie WoS w latach 2015–2023 (IF 2023 r.); źródło: www.webofscience.com.*

Nazwa czasopisma	Liczba recenzji	IF
International Journal of Fatigue	65	5,489
Materials	42	3,748
Metals	37	2,695
Applied Sciences	16	2,838
Polymers	10	4,967
Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C- Journal of Mechanical Engineering Scienc	10	1,758
Coatings	7	3,236
Advances in Mechanical Engineerign	5	1,566
Mechanical Systems and Signal Processing	5	8,934
Energies	3	3,252
Journal of Marine Science and Engineering	3	2,744
Micromachines	3	3,523
Sensors	3	3,847
Applied Ocean Research	2	3,761
International Journal of Pressure Vessels and Piping	2	2,560
Journal of Renewable and Sustainable Energy	2	2,847
Sustainability	2	3,889
Crystals	1	2,670
Plos One	1	3,752
Journal of Composite Science	7	-
Acta Mechanica et automatica	1	-
	<b>227</b>	<b>68,076</b>

#### 4.4.2. Działalność i osiągnięcia naukowo-badawcze przed uzyskaniem stopnia doktora

- Już w czasie studiów magisterskich zainteresowałem się tematyką wyznaczania trwałości zmęczeniowej dla obciążeń jedno oraz wieloosiowych w dziedzinie czasu. Moja praca magisterska rozwijała problematykę wyznaczania trwałości dla obciążeń

losowych dla obu tych typów obciążeń.

- Po podjęciu studiów doktorskich tematyka moich prac badawczych obejmowała wpływ wartości średniej na trwałość zmęczeniową dla żeliwa GGG40, GGG60 oraz stali S355JR dla obciążeń stało amplitudowych jak również przy obciążeniach losowych, co doprowadziło do wydania publikacji w Modelowaniu Inżynierskim [P35] oraz Energetyce [P33].
- Pracowałem nad zastosowaniem eksperymentalnych odcinkowych wykresów zmęczeniowych w celu wyznaczenia trwałości dla materiałów z grupy stopów aluminium, co doprowadziło do wydania publikacji w Materials Science Forum [P34].
- Oprócz tego rozwijałem metodykę wykorzystywania metody spektralnej w celu wyznaczenia punktów inicjacji pęknięć zmęczeniowych dla obciążeń wieloosiowych, co doprowadziło do publikacji w Journal of Theoretical and Applied Mechanics [P32].
- Pracowałem również nad opracowaniem modelu uwzględnienia wartości średniej naprężenia w dziedzinie czasu, który uwzględnia zastosowanie dwóch skrajnych krzywych zmęczeniowych o różnych współczynnikach asymetrii cyklu R, czego rezultatem jest publikacja w International Journal of Fatigue [P30].
- Praca doktorska oraz jej tematyka obejmowała i stworzyła podwaliny pod zastosowanie stałej statycznej w procesie wyznaczenia trwałości zmęczeniowej metodą spektralną w dziedzinie częstotliwości.
- W czasie rozwijania tej problematyki zainteresowała mnie tematyka związana z uwzględnieniem wpływu korbów w procesie wyznaczenia trwałości zmęczeniowej metodą spektralną. W związku z tym na ostatnim roku studiów doktoranckich aplikowałem o przyznanie grantu badawczego w programie PRELUDIUM, przeznaczonym dla młodych badaczy, przyznawanym przez Narodowe Centrum Nauki, który został mi przyznany w tematyce: Wpływ odkształceń sprężysto-plastycznych na trwałość obliczeniową wyznaczaną metodą spektralną nr 2013/09/N/ST8/04332- 81 400 PLN. Tematyka związana z tym grantem pozwoliła mi rozwinąć wiele tematów związanych z metodami zdefiniowanymi w dziedzinie częstotliwości i wydać wiele prac naukowych po uzyskaniu doktoratu.
- Oprócz tego brałem udział w realizacji grantu pt. Uwzględnienie wpływu wartości średniej naprężenia na obliczeniową trwałość zmęczeniową w metodzie spektralnej

nr DEC-2012/05/B/ST8/02520- 436 560 PLN z programu OPUS przyznawanym przez Narodowe Centrum Nauki, którego rezultatem jest monografia wydana przez oficynę wydawniczą Politechniki Opolskiej również po uzyskaniu doktoratu.

#### 4.4.3. Podsumowanie całości dorobku naukowego.

W skład całościowego mojego dorobku naukowego wchodzi **37** artykułów oraz redakcja naukowa **2** monografii. **14** artykułów zostało opublikowanych w czasopiśmie z współczynnikiem IF, **10** publikacji zostało zaindeksowanych w bazie WoS jako materiały z międzynarodowych konferencji. Jestem również autorem **13** artykułów w czasopiśmie krajowych oraz **31** rozdziałów w monografiach. Sumaryczny IF dla wszystkich publikacji wynosi **62,274**. Indeks Hirscha według bazy WoS wynosi **9** (244 cytowań, 193 bez autocytowań), bazy Scopus **10** (316 cytowań, 242 bez autocytowań), bazy Google Scholar **11** (416 cytowań). Łączna wartość punktów MEiN zgodnie z rokiem publikacji wynosi 1701, a wg punktacji na rok 2023– 1991 pkt.

Szczegółowe informacje na temat pełnego dorobku naukowego znajdują się w załączniku nr **4** do wniosku. Z kolei tabelaryczne zestawienie (z podziałem na dorobek przed i po uzyskaniu stopnia doktora) zaprezentowano w tabeli 3.

*Tabela 3. Zestawienie tabelaryczne – osiągnięcia naukowe dra inż. Michała Böhma.*

Kryterium	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora	Łącznie
<b>I. OSIĄGNIĘCIE GŁÓWNE</b>			
Cykl tematycznie powiązanych publikacji naukowych	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>II. INFORMACJA O AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ</b>			
Redakcja naukowa monografii	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Publikacje naukowe	<b>31</b>	<b>37</b>	<b>68</b>
Publikacje naukowe w czasopiśmie z bazy JCR	2	12	<b>14</b>
Publikacje naukowe w materiałach konferencyjnych indeksowanych w bazie WoS	2	8	<b>10</b>
Artykuły w czasopiśmie spoza bazy JCR	5	8	<b>13</b>
Rozdziały w monografiach	22	9	<b>31</b>

Osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne, technologiczne	0	1	1
<b>Udział w konferencjach</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>32</b>
Konferencje krajowe	11	13	24
Konferencje międzynarodowe	1	7	8
<b>Udział w komitetach organizacyjnych konferencji</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Udział w komitetach naukowych konferencji</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Udział w pracach zespołów badawczych</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<b>Członkostwo w organizacjach i towarzystwach naukowych</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Staże naukowe</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Krajowe	0	1	1
Zagraniczne	1	1	2
<b>Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Recenzje prac naukowych w czasopismach międzynarodowych (indeksowanych w bazie WoS)</b>	<b>0</b>	<b>227</b>	<b>227</b>
<b>Udział w programach europejskich/innych programach międzynarodowych</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>5</b>
<b>Udział w innych zespołach badawczych</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>9</b>
<b>Udział w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań/przyznanie nagród naukowych/konkursy naukowe lub dydaktyczne</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>III. INFORMACJA O WSPÓŁPRACY Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM</b>			
<b>Dorobek technologiczny</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Współpraca z sektorem gospodarczym</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
<b>Uzyskane patenty</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Ekspertyzy lub inne opracowania wykonane na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Udział w zespołach eksperckich lub konkursowych</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>IV. INFORMACJE NAUKOMETRYCZNE</b>			
<b>Sumaryczny IF</b>	<b>6,61</b>	<b>55,664</b>	<b>62,274</b>
<b>Liczba cytowań WoS; Scopus; Google Scholar/bez autocytowań</b>	<b>4;6;15/4;6;-</b>	<b>240; 310; 401/189; 236;-</b>	<b>244; 316; 416/193; 242; -</b>
<b>Indeks Hirscha WoS; Scopus; Google Scholar</b>	<b>1/1/2</b>	<b>8; 9; 9</b>	<b>9; 10; 11</b>
<b>Liczba punktów MEiN; z roku publikacji/punktacja na rok 2023 r.</b>	<b>60/210</b>	<b>1641/1781</b>	<b>1701/1991</b>



**5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.**

**5.1 Współpraca z innymi uczelniami lub instytucjami naukowymi o zasięgu międzynarodowym.**

**5.1.1. Współpraca z Chemnitz University of Technology**

Moja współpraca z Chemnitz University of Technology została zainicjowana w roku 2015 poprzez bezpośredni kontakt z profesorem Lotharem Krollem. Zainteresowała mnie tematyka modelowania trwałości zmęczeniowej z wykorzystaniem metody spektralnej dla materiałów hybrydowych. Moja współpraca naukowa jest w zakresie analizy zmęczeniowej laminatów polimerowych i metalowo-hybrydowych wzmocnionych włóknami odwrotnymi do zastosowań w lekkich konstrukcjach. Pracowałem również nad przygotowaniem projektu naukowego między naszymi instytucjami pt.: Kompozytowe struktury lekkie z elementami funkcjonalnymi drukowanymi w 3D. Byłem odpowiedzialny za część teoretyczną związaną z przeprowadzeniem testów zmęczeniowych i zaproponowaniem nowych procedur dla opracowanych materiałów. Na podstawie wiedzy pozyskanej w ramach współpracy i wspólnych badań stworzono algorytm wyznaczania trwałości zmęczeniowej, który wykorzystano do wyznaczania trwałości z wykorzystaniem metody spektralnej dla materiału kompozytowego Glare 2, który przedstawiono w pracy w czasopiśmie Polymers [A9] z IF 4,967 oraz 100 pkt z listy MNiSW. Oprócz tego odbyłem tam w 2022 staż naukowy. Podczas stażu brałem udział w pracach naukowych z pracownikami z Department of Lightweight Structures and Polymer Technology w Institute of Lightweight Structures Chemnitz University of Technology (Tomasz Osiecki, Frank Schubert). Obecnie przeprowadzamy wspólne badania na materiałach drukowanych w technologii 3D w zakresie ich wytrzymałości zmęczeniowej, wyniki prac zostały przedstawione na konferencji we wrześniu tego roku we Wrocławiu oraz zamieszczone w materiałach konferencyjnych [R1]. Do wniosku dołączono dokument potwierdzający współpracę.

**5.1.2. Współpraca z University of Ferrara**

Kontakt z profesorem Denisem Benasciuttim z University of Ferrara i jego zespołem badawczym rozpoczął się w 2015 roku po moim udziale w konferencji 3rd International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading VAL 2015 w Pradze w Czechach i tyczyła się „luźnej” wzajemnej konsultacji naukowej w

kwestii rozwoju metody spektralnej. Kontakt zmienił się w stałą współpracę w roku 2018 w tematyce wyznaczania trwałości z wykorzystaniem parametru energetycznego w metodzie spektralnej. W związku z tym faktem przygotowaliśmy wspólną pracę na 4th International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading w Darmstadt. Konferencja z uwagi na sytuację pandemiczną została odwołana na kilka tygodni przed wydarzeniem. Mimo tego faktu przygotowaliśmy wspólną publikację naukową w czasopiśmie International Journal of Fatigue [A9] IF 5,326 140 pkt z listy MNiSW, która jest jedną z prac z cyklu publikacji zgłaszanych w niniejszym postępowaniu. Z uwagi na naszą współpracę Pan profesor Benasciutti odwiedził w zeszłym roku nasz ośrodek, gdzie rozwijaliśmy wspólnie prace naukowe nad nowymi badaniami dotyczącymi się rozwoju metody spektralnej ze szczególnym uwzględnieniem parametru energetycznego. Pracujemy nad kolejnymi publikacjami i wnioskami grantowymi. Obecnie przeprowadzamy wspólne badania na materiałach drukowanych w technologii 3D w zakresie ich wytrzymałości zmęczeniowej, wyniki prac zostały przedstawione na konferencji we wrześniu tego roku we Wrocławiu oraz zamieszczone w materiałach konferencyjnych [R1]. Do wniosku dołączono dodatkowe dokumenty potwierdzające współpracę.

### **5.1.3. Współpraca z Perugia University**

Współpraca rozpoczęła się i trwa nieprzerwanie od 2015 roku po moim udziale w konferencji 3rd International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading VAL 2015 w Pradze w Czechach. Prezentowana przeze mnie problematyka wystąpień związana z wyznaczaniem trwałości zmęczeniowej została zauważona przez szerokie grono naukowców. Jedną z tych osób był Pan profesor Fillippo Cianetti z Perugia University. Po wielu rozmowach w nowo formującym się zespole badawczym składającym się właśnie z Profesora Cianettiego oraz z tak uznanych osobistości tej dziedziny nauki jak Pan profesor Adam Niesłony oraz Pan profesor Tadeusz Łagoda rozpoczęto pracę nad problematyką obciążeń nie-Gausowskich między innymi w dziedzinie częstotliwości. Wyniki tych prac zostały przedstawione na konferencji organizowanej przez Pana profesora Andrzeja Seweryna w Augustowie na międzynarodowej konferencji 8-th International Symposium on Mechanics of Materials and Structures May 31 – June 3, 2015. Następnie wyniki badań opublikowano w pracy [P20] opublikowanej w czasopiśmie Acta Mechanica et Automatica.

#### **5.1.4. Współpraca z University of West Bohemia**

Współpraca rozpoczęła się i trwa nieprzerwanie od roku 2022 w ramach realizowanego projektu „Development of 3D print-thermal spray systems for applications with dynamic and impact loading DePriSS” z programu M-ERA NET, którego jestem głównym wykonawcą z ramienia Politechniki Opolskiej. Projekt dotyczy badań nad specjalnym zastosowaniem pokrycia ochronnego nakładanego na powierzchnię elementów drukowanych 3D z uwagi na odporność na obciążenia dynamiczne. Moja rola związana jest z badaniami zmęczeniowymi oraz przedstawienie zaleceń związanych z poprawieniem właściwości pokrycia z uwagi na zjawisko zmęczenia materiałów. Partnerzy pełnią główną rolę jeżeli chodzi o rozwój technologii nakładania warstwy na badane próbki. Między innymi w zespole złożonym z współpracowników z University of West Bohemia przygotowaliśmy i opublikowaliśmy pierwszą pracę w czasopiśmie Materials z IF 3,8 za 140 pkt z listy MNiSW. Praca [P1] dotyczyła badań zmęczeniowych nad drukowanymi próbkami wykonanymi z proszku ze stali MS1.

#### **5.1.5. Współpraca z Research and Testing Institute in Plzeň**

Współpraca rozpoczęła się i trwa nieprzerwanie od roku 2021 w ramach realizowanego projektu „Development of 3D print-thermal spray systems for applications with dynamic and impact loading DePriSS” z programu M-ERA NET, którego jestem głównym wykonawcą z ramienia Politechniki Opolskiej. Projekt dotyczy badań nad specjalnym zastosowaniem pokrycia ochronnego nakładanego na powierzchnię elementów drukowanych 3D z uwagi na odporność na obciążenia dynamiczne. Moja rola związana jest z badaniami zmęczeniowymi oraz przedstawienie zaleceń związanych z poprawieniem właściwości pokrycia z uwagi na zjawisko zmęczenia materiałów. Partnerzy pełnią główną rolę jeżeli chodzi o badania dynamiczne i udarowościowe. Między innymi w zespole złożonym z współpracowników z Research and Testing Institute in Plzeň przygotowaliśmy i opublikowaliśmy pierwszą pracę w czasopiśmie Materials z IF za 140 pkt z listy MNiSW. Praca [P1] dotyczyła badań zmęczeniowych nad drukowanymi próbkami wykonanymi z proszku ze stali MS1.

#### **5.1.6. Współpraca z University of Pisa**

Współpraca z University of Pisa dotyczy pracy naukowej nad rozwijaniem metod

wyznaczania trwałości w dziedzinie częstotliwości z uwagi na zaburzenia stacjonarności procesu losowego i dostosowanie kryteriów wieloosiowego zmęczenia z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości. Zapoczątkowana w roku 2023 doprowadziła do zorganizowania stażu w naszym ośrodku dla Pana Michelle Sgammy. Obecnie przygotowujemy publikację naukową związaną z dostosowaniem kryterium Fatemi-Socie stosowanego dla wieloosiowego obciążenia do dziedziny częstotliwości. Pierwsze wyniki współpracy zostały przedstawione podczas konferencji 7th International Conference on Structural Integrity and Durability - ICSID 2023 w pracy [R2].

## **5.2. Współpraca z innymi uczelniami lub instytucjami naukowymi o zasięgu krajowym.**

### **5.2.1. Współpraca z Uniwersytetem Opolskim**

Moja współpraca naukowa z Uniwersytetem Opolskim rozpoczęła się w roku 2019 w zakresie interdyscyplinarnej grupy naukowców z Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej oraz grupy naukowców z Instytutu Historii Uniwersytetu Opolskiego zajmującej się badaniami interdyscyplinarnymi nad okrętami oraz toporami tzw. wikingów czyli mieszkańców terenów obecnej Skandynawii z okresu VIII do XII wieku. Moja praca polega między innymi na generacji widm obciążeń dla fal morskich z tamtego okresu dla modeli okrętów oraz odtworzeniu modeli wolumetrycznych głowic toporów na podstawie zdjęć oraz szkiców ze źródeł archeologicznych. W ramach pracy naukowej wykonywane są obliczenia numeryczne wykorzystujące metodę elementów skończonych w celu określenia wytrzymałości dynamicznej oraz zmian w zakresie kształtu. W ramach wyników współpracy przygotowujemy obecnie pierwszy artykuł pt. The evolution of the design process of Danish M-type axes on selected examples from the 10th-12th centuries. Do wniosku dołączono dokument potwierdzający współpracę.

### **5.2.2. Współpraca z Politechniką Krakowską**

Moja współpraca z Politechniką Krakowską rozpoczęła się w ramach realizacji projektu finansowanego ze środków Europejskich pt.: Centrum wiedzy o dostępności i upowszechniania zasad projektowania uniwersalnego w obszarze designu i przedmiotów

codziennego użytku POWR.03.05.00-IP.08-00-CWD/20- 2 374 500,45 PLN. W ramach działań projektowych poznałem Panią profesor Patrycję Haupt z Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej. Nawiązaliśmy współpracę naukową związaną z rozwijaną przeze mnie tematyką badawczą, rozwijaną wspólnie z Uniwersytetem Opolskim. Z uwagi na moją wiedzę z zakresu projektowania zostałem zaproszony z inicjatywy Pani profesor do jury prestiżowego konkursu „otwarte drzwi”, organizowanego przez Państwowy fundusz rehabilitacji osób niepełnosprawnych, wyłaniającego najlepsze prace magisterskie oraz doktorskie, których tematem jest niepełnosprawność w wymiarze: społecznym, zawodowym lub zdrowotnym. Jest to wyjątkowa nobilitacja oraz docenienie mojej wiedzy naukowej, gdyż jury konkursowe składa się ze słynnych osobistości świata polskiej nauki, instytucji państwowych oraz największych koncernów państwowych.

### **5.2.3. Współpraca z Uniwersytetem Pedagogiczny w Krakowie**

Moja współpraca z Uniwersytetem Pedagogiczny w Krakowie rozpoczęła się w ramach realizacji projektu finansowanego ze środków Europejskich pt.: Centrum wiedzy o dostępności i upowszechniania zasad projektowania uniwersalnego w obszarze designu i przedmiotów codziennego użytku POWR.03.05.00-IP.08-00-CWD/20- 2 374 500,45 PLN. Nawiązaliśmy współpracę naukową związaną z rozwijaną przeze mnie tematyką badawczą, rozwijaną wspólnie z Uniwersytetem Opolskim oraz Politechniką Krakowską.

## **6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.**

### **6.1. Działalność dydaktyczna.**

Swoją działalność dydaktyczną rozpocząłem w roku 2010 w ramach zajęć zleconych na studiach doktoranckich na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej. W roku 2012 zostałem zatrudniony w roli asystenta w Katedrze Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej. Następnie od roku 2015 zmieniłem stanowisko na adiunkta w tej samej Katedrze. W ramach obowiązków asystenta a następnie adiunkta prowadziłem różnego rodzaju zajęcia dydaktyczne na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych pierwszego i drugiego stopnia, tj. wykłady, ćwiczenia

tablicowe i zajęcia laboratoryjne. Zajęcia realizowane były ze studentami dziewięciu kierunków studiów: Mechanika i Budowa Maszyn, Mechatronika, Energetyka, Transport, Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, Inżynieria Środowiska, Lotnictwo i Kosmonautyka, Energetyka i Inżynieria Środowiska, Wzornictwo Przemysłowe. Prowadzę od roku 2018 również zajęcia w formie ćwiczeń i wykładów ze studentami kierunków anglojęzycznych Mechanical Engineering pierwszego i drugiego stopnia z przedmiotów Descriptive Geometry and Engineering Graphics oraz Engineering Graphics-CAD. Prowadzę również zajęcia z przedmiotów Strength of Materials oraz Engineering Vibration Analysis of Mechanical Systems w języku angielskim ze studentami z zagranicy w ramach programu ERAZMUS.

Od momentu uzyskania stopnia doktora byłem promotorem 28 prac dyplomowych (17 prac inżynierskich oraz 11 magisterskich). Byłem także recenzentem 12 prac dyplomowych (5 prac inżynierskich oraz 7 magisterskich). Pełniłem rolę tzw. Academy mentor - pełnienie roli mentora dla 3 naukowców zagranicznych w ramach Web of Science Academy (wcześniej Publons Academy) w 2020 r. Współpracowałem oraz wspierałem naukowo doktorantów, którzy obecnie są już wypromowanymi doktorami: Panią Agnieszką Materac - naszą współpracę potwierdza publikacja [P26], Panem Arturem Dziurą - naszą współpracę potwierdza publikacja [P28]. Ponadto jestem współautorem skryptu dydaktycznego dotyczących wytrzymałości materiałów:

- Grzegorz Gasiak, Tadeusz Łagoda, **Michał Böhm**, Józef Grzelak, Krzysztof Kluger, Mateusz Kowalski, Andrzej Kurek, Marta Kurek, Zbigniew Marciniak, Grzegorz Robak, Karolina Walat, Laboratorium z wytrzymałości materiałów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2014, s 130

## **6.2. Działalność organizacyjna i popularyzująca naukę.**

Od początku swojej pracy na Politechnice Opolskiej brałem aktywny udział w działalności organizacyjnej w różnych aspektach funkcjonowania uczelni oraz jej współpracy ze środowiskami instytucyjno-biznesowymi. Do najważniejszych punktów działalności organizacyjnej można zaliczyć:

- W ramach popularyzacji nauki występowałem wielokrotnie z prezentacją Wydziału Mechanicznego w przedsiębiorstwach sytuowanych na terenie województwa Opolskiego w celach nawiązania współpracy Wydziału Mechanicznego oraz brałem

udział w pracach zespołów nad przygotowywaniem bądź realizacją grantów, między innymi w firmach Metalowiec Sp. z o. o. z Namysłowa oraz IFA Powertrain Polska Sp. z o.o. z Zimnej Wódki.

- Osoba wyznaczona do kontaktu z ramienia Politechniki Opolskiej z partnerami dla projektu Interreg: Rightweight – Network of Field Labs od 2023 r.
- Opiekun kierunku Mechanical Engineering I stopnia w roku akademickim 2022/2023 r.
- Członek zespołu ds. opracowania planu równości płci dla Politechniki Opolskiej od 2022 r.
- Członek zespołu ds. promocji Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej 2018 r. -nadal
- Członek Uczelnianej komisji dyscyplinarnej do spraw nauczycieli akademickich na kadencję 2020-2024 r.
- Academy mentor - pełnienie roli mentora dla 3 naukowców zagranicznych w ramach Web of Science Academy (wcześniej Publons Academy) 2020 r.
- Organizacja, prowadzenie i zarządzanie administracją kursów dokształcających z Komputerowego Wspomagania Projektowania organizowanych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej 2016-2019 r.
- Opiekun kierunku Mechanical Engineering w roku akademickim 2019/2020 r.
- Brałem udział w uruchomieniu i stworzeniu siatek studiów dla kierunku Mechanical Engineering oraz Environmental Engineering 2017/2018 r.
- Członek Rady Wydziału Mechanicznego w kadencji 2016-2020 r.
- Opiekun kierunku Mechanical Engineering I i II stopnia dla specjalności Computer Aided Engineering w roku akademickim 2017/2018 r.
- Przewodniczący Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej Wydziału Mechanicznego w latach 2014-2016 r.
- Zastępca przewodniczącego Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej Wydziału Mechanicznego w latach 2016-2017 r
- Sekretarz opolskiego oddziału Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej 2015 r.- nadal.
- Członek European Structural Integrity Society od 2014 z przerwami – nadal.

- Członek zespołu ds. uruchomienia kierunku Transport na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej 2014-2015 r.
- Członek Wydziałowej Rady ds. jakości kształcenia 2013-2015 r.
- Członek senatu Politechniki Opolskiej w kadencji 2012-2016 z ramienia doktorantów.
- Członek Polskiej Grupy Mechaniki Pękania od 2021.
- Członek Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej od 2014.
- Członek komitetów organizacyjnych następujących wydarzeń naukowych:
  - Przewodniczący komitetu organizacyjnego konferencji: Projektowanie dla Wszystkich: Dostępność, Inkluzja i Uniwersalność, 5-7 czerwca 2023 Opole, Centrum Wystawienniczo-Kongresowe w Opolu. (Opole, Polska)
  - Przewodniczący komitetu organizacyjnego II dniowej konferencji na temat projektowania uniwersalnego podczas I Targów Dostępności w Polsce, 7-8 listopada 2022 w Opolu, Toyota Park Opole (Opole, Polska)
  - Członek komitetu organizacyjnego konferencji: XXII Konferencja Naukowa Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych. 27-31 stycznia 2019. (Polanica, Polska)
  - Członek komitetu organizacyjnego konferencji: XXVII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn/ 27th Symposium on Machine Design, 22-26 września 2015. (Zakopane, Polska)
  - Członek komitetu organizacyjnego konferencji: XXVII Konferencja Naukowa Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych. 26-30 Styczeń 2014. (Zakopane, Polska)
- członek zespołów redakcyjnych monografii:
  - Mateusz Kowalski, **Michał Böhm**, Grzegorz Robak, Projektowanie dla Wszystkich: Dostępność, Inkluzja i Uniwersalność, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2023, s 161.
  - **Michał Böhm**, Lothar Kroll, Fatigue Damage Processes in Crystal Structure in Metals, Alloys and Composite Materials, Crystals (ISSN 2073-4352), 2021.
  - Pomysłodawca i członek zespołu realizującego ogólnopolski konkurs dla młodzieży „Mechatrap racers”, wyścigi pojazdów z napędem mechanizmu pułapki na myszy edycje: 2022, 2023.



- Kierownik grantów:
  - Wpływ odkształceń sprężysto-plastycznych na trwałość obliczeniową wyznaczaną metodą spektralną nr 2013/09/N/ST8/04332- 81 400 PLN Narodowe Centrum Nauki 2014–2016 r. (projekt zrealizowany)
  - Europejski Fundusz Społeczny - Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój (PO WER): Centrum wiedzy o dostępności i upowszechniania zasad projektowania uniwersalnego w obszarze designu i przedmiotów codziennego użytku POWR.03.05.00-IP.08-00-CWD/20 Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, 2021-2023 r. (projekt w trakcie realizacji) kwota dofinansowania - 2 374 500,45 PLN. Projekt partnerski: Politechnika Opolska – Lider projektu, Partnerzy: Politechnika Krakowska, Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie.
- Członek zespołu w grantach:
  - Uwzględnienie wpływu wartości średniej naprężenia na obliczeniową trwałość zmęczeniową w metodzie spektralnej nr DEC-2012/05/B/ST8/02520- 436 560 PLN Narodowe Centrum Nauki 2013–2016 r. (projekt zrealizowany)
  - Zastosowanie momentów zwykłych i centralnych wyższych rzędów w algorytmie wyznaczania trwałości zmęczeniowej metodą spektralną 2016/23/B/ST8/03408 - 476 400 PLN Narodowe Centrum Nauki 2017–2020 r. (projekt zrealizowany)
  - Przeprowadzenie badań przemysłowych i prac rozwojowych nad nowoczesnymi rozwiązaniami dla spawalnictwa w Spółka AS Nakonieczny Andrzej Werakso Bartłomiej Nr projektu: RPOP.01.01.00-16-0021/17-00 - 4 188 345 PLN Projekt dofinansowany z Funduszy Unijnych I Oś priorytetowa: Innowacje w Gospodarce Działanie 1.1: Innowacje w przedsiębiorstwach- konkurs organizowany przez Marszałka Województwa Opolskiego, 2018-2020 r. (projekt zrealizowany)
  - Opracowanie technologii produkcji lekkiego wspornika dla nowych nadwozi samochodów osobowych POIR.04.01.04-00-0093/17- 4 004 389.75 PLN Narodowe Centrum Badań i Rozwoju 2018-2021 (projekt przerwany w połowie 2020 r. z uwagi na sytuację z COVID 19 i zmiany właściciela przedsiębiorstwa będącego partnerem projektu)
  - Opracowanie nisko-odpadowej technologii platerowania wybuchowego oraz

technologii przetwarzania wielowarstwowych, wysokowytrzymałościowych materiałów lekkich i superlekkich z warstwami reaktywnymi i funkcjonalnymi oraz blach platerowanych wybuchowo metalami reaktywnymi i ich stopami. 2/412341/8/NCBR/2019- 13 685 431 PLN Narodowe Centrum Badań i Rozwoju 2019-2021 r. (projekt zrealizowany)

- Pionierski model szacowania trwałości zmęczeniowej bazujący na procesie Gaussowskim i uczeniu maszynowym - 381 860 PLN Narodowe Centrum Nauki 2022-2024 r. (projekt w trakcie realizacji)
- Opracowanie systemów „druk 3D - natrysk termiczny” do zastosowań przy obciążeniu dynamicznym i udarowym M- ERA.NET 2 (Development of “3D print-thermal spray” systems for applications with dynamic and impact loading DePriSS) 2020/02/Y/ST8/00093- 969 950 EUR  
M-ERA.NET/Narodowe Centrum Nauki 2022-2024 r. (projekt w trakcie realizacji)

## **7. Nagrody, wyróżnienia.**

Otrzymałem następujące nagrody, wyróżnienia, w tym stypendia Marszałka Województwa Opolskiego oraz Rektora Politechniki Opolskiej – dotyczące działalności zarówno naukowej, jak i organizacyjnej:

- Nagroda indywidualna Rektora Politechniki Opolskiej za inne osiągnięcia (2021 r.)
- Nagroda indywidualna Rektora Politechniki Opolskiej za wysoko punktowane osiągnięcia naukowe (2020 r.)
- I miejsce w sesji plakatowej podczas XXXIII Konferencji Naukowej Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych (2020 r.)
- Srebrna Odznaka Zasłużony dla Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej (2019 r.)
- Wyróżnienie – „Outstanding Contribution in Reviewing” edytorów czasopisma International Journal of Fatigue wydawnictwa Elsevier przyznawane dla najlepszych recenzentów czasopisma (2017 r.)
- Wyróżnienie mojej rozprawy doktorskiej przez Radę Naukową Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej (2014 r.)
- Stypendium doktoranckie Zarządu Województwa Opolskiego w ramach projektu partnerskiego realizowanego z Uniwersytetem Opolskim i Politechniką Opolską

współfinansowany z Europejskiego Funduszu Społecznego (2013/2014 r.)

- Stypendium doktoranckie Zarządu Województwa Opolskiego w ramach projektu partnerskiego realizowanego z Uniwersytetem Opolskim i Politechniką Opolską współfinansowany z Europejskiego Funduszu Społecznego (2012/2013 r. )
- Stypendium doktoranckie Zarządu Województwa Opolskiego w ramach projektu partnerskiego realizowanego z Uniwersytetem Opolskim i Politechniką Opolską współfinansowany z Europejskiego Funduszu Społecznego (2011/2012 r. )
- Trzykrotnie Stypendium Rektora Politechniki Opolskiej dla najlepszych doktorantów (2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 r.)

#### **8. Staże, studia podyplomowe, udział w szkoleniach lub warsztatach.**

Odbyłem następujące staże w zagranicznych instytucjach naukowych:

- Staż w Chemnitz University of Technology (01.08.2022- 12.08.2022. Niemcy) Współpraca z Profesorem Lotharem Krollem oraz zespołem naukowców z Department of Lightweight Structures and Polymer Technology w Institute of Lightweight Structures dotyczyła badań nad zjawiskiem zmęczenia materiałowego elementów metalicznych wykonanych technologią druku 3D. W ramach współpracy przygotowano materiał badawczy, z którego powstaje obecnie materiał na publikację naukową. Pierwsze wyniki badań w ramach referatu przedstawiono na XIX Konferencji Mechaniki Pękania (pozycja [R1]) w dniach 20-22.09.2023 we Wrocławiu.
- Staż dydaktyczno-poznawczy w Ingolstadt University of Applied Sciences w Niemczech (11.02.2012-24.02.2012 Niemcy). Wyjazd na Winter School w ramach wymiany akademickiej pomiędzy Politechniką Opolską. Udział w seminariach naukowych i szkoleniach. Konsultacje z zespołami zajmującymi się m.in. konstruowaniem bolidów z konstrukcji lekkich współfinansowanych przez koncern Audi. Po odbyciu stażu nie opublikowano żadnej publikacji naukowej.

W celu nabycia praktycznych umiejętności w zakresie podejmowanej tematyki badawczej uczestniczyłem w następujących stażach przemysłowych:

- Staż w ramach programu „Innowacyjny Transfer Plus” w przedsiębiorstwie Metalowiec sp. z o. o. z Namysłowa. 01-11-2014—30-04-2015.

Uczestniczyłem w projekcie z Europejskiego funduszu społecznego w formie opiekuna

stażysty:

- Opieka nad stażystą z firmy Metalowiec sp. z o. o. z Namysłowa od dnia 1.03.2015 r. do dnia 1.06.2015. w ramach projektu „Pomost dla transferu wiedzy w województwie opolskim”.

Współpracowałem z przedsiębiorstwami w ramach współpracy naukowej w celu poszerzenia swoich kompetencji

- Praca w Spółka AS Nakonieczny Andrzej Werakso Bartłomiej w Opolu w roli specjalisty od naprężeń własnych w ramach projektu: Przeprowadzenie badań przemysłowych i prac rozwojowych nad nowoczesnymi rozwiązaniami dla spawalnictwa w Spółka AS Nakonieczny Andrzej Werakso Bartłomiej. Nr projektu: RPOP.01.01.00-16-0021/17-00 w latach 2018-2020.
- Wygłoszenie wykładu na temat zmęczenia materiałów oraz przeprowadzenie szkolenia z zakresu zmęczenia materiałów dla działu CAE CEC firmy ZF Automotive Systems Poland Sp. z o. o. Centrum Inżynieryjne w Częstochowie zajmującego się projektowaniem i badaniem kierownic samochodowych. 07.11.2020 r.
- Udział w projekcie „Partner Innowacji- symbioza biznesu z nauką w efektywnym Regionalnym Systemie Innowacji” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki Poddziałanie 8.2.1. 01.06-30.06.2015.
- Przygotowanie projektu stanowiska do badań zmęczeniowych łożek szpitalnianych produkowanych przez Metalowiec sp. z o. o. z Namysłowa. 01.05.2015- 30.09.2015 r.
- Współpraca z przedsiębiorstwem MEGA z Nysy w ramach analizy wyteżenia konstrukcji ich osi bębnowej naczepy. 10.10.2013-01.06.2014.

Udział w konferencji Akademia e-Learningu, która odbyła się 18 maja 2021 roku na Politechnice Krakowskiej.

Udział w szkoleniu branżowym: Optyczne wspomaganie badań materiałowych – warsztaty, Park Naukowo Technologiczny Opole 02.06.2022 organizowane przez firmę Lenso Sp. z o.o.

W roku 2013 w ramach samokształcenia ukończyłem studia podyplomowe: Podyplomowe Kwalifikacyjne Studia Pedagogiczne na: Szkoła Wyższa im. Bogdana Jańskiego w Opolu.



.....  
(podpis wnioskodawcy)