

RECENZJA

Wniosku **dr inż. Andrzeja KURKA** w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego na podstawie pisma Rektora Politechniki Opolskiej nr RR/1414/2023 dr hab. inż. Marcina Lorenca oraz Uchwały nr 341 Senatu Politechniki Opolskiej z dnia 29 listopada 2023r, w Dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna

I. Podstawowe dane o Kandydacie

Kandydat w 2009 roku uzyskał tytuł: mgr inż. (Politechnika Opolska , kierunek studiów: Edukacja Techniczno- Informatyczna, specjalność: Gospodarka energią elektryczną) realizując pracę dyplomową magisterską nt.: „*Program komputerowy do obliczania kątów i strzałek ugięcia belek zginanych*” Promotorem pracy był: prof. dr hab. inż. Tadeusz Łagoda.

W 2014 roku uzyskał stopień: doktora nauk technicznych w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn w wyniku obrony rozprawy doktorskiej nt „*Trwałość zmęczeniowa elementów maszyn wykonanych z bimetalu stal-tytan zgrzewanego wybuchowo*” Promotorem pracy był prof. dr hab. inż. Adam Niesłony (Recenzenci: dr hab. inż. Jerzy Czmochoński, prof. PWr, prof. dr hab. inż. Tadeusz Łagoda). Rada Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej zdecydowała o przyznaniu wyróżnienia pracy doktorskiej.

Kandydat jest obecnie pracownikiem naukowym w Politechnice Opolskiej, na Wydziale Mechanicznym, w Katedrze Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn będąc zatrudnionym od 1.10.2014 jako adiunkt w Katedrze Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn a wcześniej od 1.10.2011 do 30.09.2014 jako asystent. Habilitant od 1.10.2021 r. pełni funkcję kierownika Laboratorium Trwałości i Wytrzymałości Materiałów a wcześniej od 1.02.2020 do 30.09.2021 był kierownikiem Laboratorium Zaawansowanych Metod Druku 3D.

2. Ocena osiągnięcia naukowego

Dr inż. Andrzej KUREK przedstawił we wniosku do oceny cykl powiązanych tematycznie 9 dziewięciu artykułów naukowych pod wspólnym tytułem: „*Nowe modele charakterystyk zmęczeniowych odpowiadające potrzebom badań zmęczeniowych w warunkach cyklicznego zginania*”, jako najważniejsze osiągnięcie naukowe. Dotyczy to publikacji, które ukazały się w czasopiśmie naukowych w latach 2016-2021

Habilitant zaprezentował próbę wprowadzenia zaproponowanego zmodyfikowanego w stosunku do rozwiązań klasycznych rozwiązania służącego powszechniejszemu stosowaniu w praktyce inżynierskiej charakterystyk zmęczeniowych materiałów uzyskanych na podstawie badań w warunkach cyklicznego zginania, gdzie występuje gradient naprężenia oraz odkształcenia. Propozycje te dotyczą dwóch nowych modeli charakterystyk zmęczeniowych (jeden naprężeniowy, drugi odkształceniowy) oraz przedstawił metodę analizy i prezentacji wyników badań zmęczeniowych w warunkach zginania w taki sposób, aby otrzymane wyniki były tożsame z charakterystykami wyznaczonymi w warunkach w schemacie rozciąganie – ściskanie.

Oceniając wybraną i przez wiele lat kontynuowaną przez Habilitanta tematykę badawczą należy podkreślić jej ważność. Badania zmęczeniowe ze względu na stały wzrost pojawiających się nowych zagadnień o dużym stopniu złożoności wymagają integracji różnych środowisk badaczy w obszarze mechaniki, inżynierii materiałowej oraz różnych technik w badaniach nieniszczących. W zakresie tej tematyki znajdują się ciągle zagadnienia nie do końca rozpoznane szczególnie w odniesieniu do pojawiających się nowych zaawansowanych materiałów inżynierskich, w tym kompozytów o osnowie metalowej, ceramicznej, polimerowej, jak też materiałów np. gradientowych, stopów z pamięcią kształtu i wielu innych. Z tego punktu widzenia problematyka związana z identyfikacją i rozwojem uszkodzeń zmęczeniowych oraz obniżenia właściwości mechanicznych pod wpływem obciążeń eksploatacyjnych wywołujących pełzanie, szoki termiczne jest szczególnie istotna zarówno z poznawczego, jak i inżynierskiego punktu widzenia. Wartościowe wyniki badań w tej dziedzinie przyczyniają się do doskonalenia technologii i zwiększenia bezpieczeństwa w wielu obszarach gospodarki, takich jak lotnictwo, motoryzacja, budownictwo czy energetyka. Interdyscyplinarne badania efektów zmęczenia materiałów należą do kategorii badań o charakterze niszczącym i stąd cechuje je z jednej strony stosunkowo wysoki koszt, a z drugiej brak możliwości ich zastosowania w aktywnie pracujących elementach konstrukcji.

Poprawy tej sytuacji można oczekiwać przez wypracowanie metodyki korelowania parametrów otrzymywanych z badań zmęczeniowych z parametrami metod nieniszczących. Jednym z szybko rozwijających się trendów w badaniach wytrzymałościowych jest opracowywanie systemu procedur badawczych i kryteriów charakteryzowania rozwoju degradacji właściwości eksploatacyjnych ww. materiałów konstrukcyjnych. Ważnym elementem postępu w tym obszarze mogą być opracowane propozycje nowych, czy modyfikowanych rozwiązań, jak np. opracowanie nowych modeli charakterystyk zmęczeniowych pozwalających na polepszenie rozwiązań, zwłaszcza w odniesieniu do konkretnego celu aplikacyjnego. Niezmiernie ważną jest w ww. obszarach gospodarki kwestia prognozowania pozostałego czasu bezpiecznego użytkowania elementów, względnie całych ich zespołów, co wiąże się bezpośrednio z przewidywaniem wpływu warunków eksploatacji, zwłaszcza cyklicznie zmiennych na gwarancje bezpiecznego funkcjonowania konstrukcji.

Ograniczona i trwała wytrzymałość zmęczeniowa wyznaczana na podstawie standardowej procedury Wöhlera jest jednym z głównych parametrów materiałowych projektowania inżynierskiego, która nie daje jednak żadnych pewnych podstaw do oceny ewolucji procesu rozwoju uszkodzenia pod wpływem obciążeń cyklicznych. W praktyce inżynierskiej przyjmuje się z konieczności założenie - liniowe prawo kumulacji uszkodzeń i na tej podstawie określa się trwałość zmęczeniową elementów konstrukcyjnych dla różnej historii obciążeń cyklicznych. Doświadczalne wyznaczenie charakterystyki rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych wymaga stosowania innych procedur badawczych niż tradycyjne sposoby wyznaczania krzywej Wöhlera w postaci amplitudy naprężenia jako funkcji liczby cykli do zniszczenia

Głębokie poznanie procesu zmęczenia materiałów wymaga wzajemnego sprzężenia analizy teoretycznej i badań doświadczalnych. Od strony praktycznej głównymi zadaniami są: określenie istoty mechanizmu inicjacji i propagacji pęknięć zmęczeniowych w skali mikro aż do wystąpienia zniszczenia elementu; ustalenie parametrów zniszczenia oraz opracowanie kryteriów zniszczenia; zbadanie trwałości materiału, a następnie opracowanie metod zmęczeniowego obliczania konstrukcji i opracowanie metod oceny uszkodzenia materiału. W zakresie małej liczby cykli często obciążenia powodują powstanie odkształceń plastycznych (trwałych), które mają decydujący wpływ na zmęczeniowe zachowanie się materiału.

. Badania najczęściej przeprowadza się przy stałej amplitudzie odkształcenia całkowitego, przy stałej amplitudzie odkształcenia plastycznego lub przy stałej amplitudzie naprężenia. W przypadku doświadczeń przy sterowaniu odkształceniem nie występuje wyraźna kumulacja odkształceń i pękanie ma na ogół charakter zmęczeniowy, natomiast badania przy stałej amplitudzie naprężenia zależnie od jego wartości mogą prowadzić do pękania zmęczeniowego albo quasi statycznego. Pętle histerezy dla obciążeń cyklicznych o stałej wartości amplitudy odkształcenia wskazują na typowe efekty deformacji cyklicznej, takie jak: osłabienie czy umocnienie. Nieco inne podejście w badaniach dotyczy badania zmęczenia wysokocyklowego mającego na celu określenie wytrzymałości zmęczeniowej, co służy określeniu granicznej wartości skrajnego naprężenia okresowo zmiennego, które może być powtórzone bezpiecznie określoną liczbę razy.

W badaniach mechanicznych identyfikacja mechanizmów uszkodzeń zmęczeniowych i ocena prędkości ich rozwoju jest realizowana na podstawie zmian odpowiedzi materiału na zadane obciążenie cykliczne w całym okresie jego trwania. W inżynierii materiałowej wykorzystuje się techniki mikroskopowe i badania nieniszczące do obserwacji zmian mikrostruktury i identyfikacji mechanizmów generacji uszkodzeń. Współczesne skaningowe mikroskopy elektronowe umożliwiają nie tylko obserwacje przy bardzo dużych powiększeniach, dzięki mikrosondom umożliwiają lokalną analizę składu chemicznego (EDX) - i orientacji krystalograficznej (EBSD). W praktyce inżynierskiej znacznie wygodniejsze w stosowaniu są metody nieniszczące i z tego względu są częściej stosowane do okresowej oceny stanu degradacji materiału. Analiza mikrostrukturalna mechanizmu niszczenia przy obciążeniach cyklicznych wykazała istotny wpływ odkształcenia plastycznego na proces zmęczenia. W początkowym stadium procesu zmęczenia odkształcenia plastyczne ujawniają się w postaci pasm ścinania. W zależności od rodzaju materiału i zastosowanych warunków obciążenia identyfikuje się różny przebieg i geometrię poślizgów. W pasmach ścinania następuje inicjacja oraz rozwój mikropęknięć. Przyczynami tego zjawiska jest lokalne spiętrzenie naprężeń, odkształceń i energii w tych pasmach. Innymi przyczynami mikropęknięć mogą być granice subziaren, wtrącenia oraz wydzielienia faz wtórnych. Pierwsze pęknięcia materiału pojawiają się jako mikroszczeliny o charakterze trans lub międzykrystalicznym.

Uwzględnienie szczegółowych uwarunkowań i zakresów stosowania poszczególnych metod jednak znacznie ogranicza możliwości ich wykorzystania i stwarza poważne trudności doświadczalnej identyfikacji i analizy ewolucji uszkodzeń zmęczeniowych. Stwarza to konieczność ciągłego doskonalenia istniejących metod badań nieniszczących i poszukiwania nowych technik pomiarowych zdolnych do wykrywania i ilościowej oceny uszkodzeń struktury powstałych wskutek rozwoju procesów powodujących zmęczenie materiału i degradację jego właściwości mechanicznych. Biorąc pod uwagę pełną analizę zjawisk fizycznych skutkujących efektem zmęczenia materiału konieczne jest kojarzenie efektów mechanicznych i strukturalnych .

Prezentowane przez Kandydata osiągnięcia w znaczącej mierze wpisują się w ww. problemy i zadania badawcze.

Zaproponowane przez Habilitanta nowe modele charakterystyk zmęczeniowych odpowiadające potrzebom badań zmęczeniowych w warunkach cyklicznego zginania stanowią istotny wkład w rozwój tego obszaru badań, na co wskazują kolejno prezentowane prace.

Pierwsza publikacja [A1, *Materials* 2020] z przedstawionego do oceny osiągnięcia prezentuje zasadniczą ideę przewodnią zawartą w pracach cyklu . Na przykładzie stali 16Mo3 poddanej analizie w próbach zmęczeniowych realizowanych w warunkach cyklicznego rozciągania-ściskania i w warunkach zginania oscylacyjnego. Analiza polegała na porównaniu

wyników prób zmęczeniowych przy użyciu modeli Mansona-Coffina-Basquina, Langerera i Kandila oraz modeli zaproponowanych przez Autorów : Kurek-Lagoda. Wykazano, że możliwe jest zastąpienie podstawowej próby rozciągania- ściskania wykonywane na dużych maszynach wytrzymałościowych oscylacyjnymi próbami zginania przeprowadzanymi na prostym, nowoczesnym stanowisku testowym. Testowanie stali 16Mo3 pokazało, że najbardziej znana charakterystyka zmęczeniowa Masona-Coffina-Basquina opisuje wyniki wszystkich testów eksperymentalnych bardzo dobrze, ale model może być używany tylko wtedy, gdy możliwe jest podzielenie odkształcenia na elementy sprężyste i plastyczne. Należy w tym miejscu podkreślić, że nie ma takiej możliwości w przypadku badań wykonywanych w warunkach zginania oscylacyjnego. Udowodniono, że **proponowana metoda badawcza może bardzo dobrze zastąpić próbę rozciągania i ściskania**, co jest ważnym wynikiem również od strony kosztów badań.

Trzeba zauważyć, że Kandydat deklaruje, że większość badań zmęczeniowych, wykonywał osobiście na stanowiskach do wahadłowego zginania. Na początku były to badania przy kontrolowanym momencie zginającym (naprężeniu), co zawarto w pracach [A5], [A6], [A7], a po ocenie wyników badań pilotażowych badania były kontynuowane na nowym zmodyfikowanym stanowisku badawczym zaprezentowanym w pracy [A9], oraz badania przy kontrolowanej amplitudzie przemieszczenia (odkształcenia) pokazane w pracy [A4]. Doświadczenie związane z realizacją tego rodzaju badań a przede wszystkim identyfikacja problemów technicznych i interpretacyjnych dotyczących uzyskanych wyników pozwoliły na zbudowanie przez Autora własnej koncepcji ulepszenia metody ich realizacji oraz oceny efektów prób.

Koncepcja **uwzględnienia gradientu naprężenia i odkształcenia obserwowanego w przekroju zginanej próbki przy obliczeniach amplitudy naprężenia i odkształcenia występującego w zginanym elemencie** pozwoliła na osiągnięcie satysfakcjonujących wyników, co zostało przedstawione w pracach [A2] i [A8]. **Adekwatny opis wyników badań zmęczeniowych został zaproponowany przez Kandydata z uwzględnieniem modelu charakterystyki naprężeniowej opisanego w pracy [A3], którego główną cechą jest przyjmowanie kształtu litery „S” aby lepiej odzwierciedlać nieliniowy charakter rzeczywistego rozłożenia punktów eksperymentalnych.**

Wykazane i udokumentowane trudności w wykorzystaniu nowego stanowiska badawczego do badań zmęczeniowych w którym amplituda przemieszczenia dźwigni odpowiada amplitudzie odkształcenia na powierzchni badanej próbki (trudność wyznaczenia właściwej charakterystyki odkształceniowej używanej do opisu badań niskocyklowych, tj. charakterystyki Mansona-Coffina-Basquina, konieczność wyznaczenia dodatkowo charakterystyki Ramberga-Osgooda dla danego materiału, konieczność prowadzenia badań na innej maszynie zmęczeniowej w warunkach rozciągania-ściskania) uzasadniają potrzebę zastosowania empirycznych modeli charakterystyk zmęczeniowych (modele Kandila i Langerera) oraz zaproponowanego własnego modelu, który połączył zalety wszystkich ww. charakterystyk tj modelu Kurek-Lagoda prezentowanego w pracy [A2].

Publikacja ta [**A2 (Materials 2020)**]prezentuje już ww. **nowy model charakterystyki zmęczeniowej (Kurek-Lagoda)** powstały z myślą o prezentacji wyników badań zmęczeniowych realizowanych na **stanowiskach przystosowanych do cyklicznego zginania przy sterowaniu odkształceniem. Opracowany model opiera się na porównaniu stosunku powierzchni gradientu naprężeń i odkształceń dla elementów cyklicznie zginanych oraz poddanych rozciąganiu-ściskaniu.** Weryfikacji modelu dokonano z użyciem 7 różnych materiałów inżynierskich (30CrNiMo8, 10HNAP, SM45C, stal 16Mo3, mosiądz MO58 oraz stopy aluminium 2017A-T4 i 6082-T6) na podstawie przeprowadzonych testów

zmęczeniowych oraz wykorzystanych danych literaturowych. Wykazano, że proponowana metoda może być wykorzystana do określenia charakterystyki zmęczenia odkształceniowego, której wyniki zgadzają się z wartościami wyznaczonymi na podstawie wytrzymałości na testu rozciąganie – ściskanie.

Publikacja [A3, *Journal of Theoretical and applied Mechanics*, 2019] stanowi uzupełnienie prezentowanego modelu naprężeniowej charakterystyki zmęczeniowej. Nowy model odzwierciedla bardziej naturalny kształt krzywej naprężenia występującej w warunkach rzeczywistych, co oznacza kształt nachylonej litery S. Może być on stosowany zarówno dla niskocyklowego, jak i wysokocyklowego zmęczenia. Weryfikacja proponowanego modelu została przeprowadzona na wynikach eksperymentalnych dziesięciu różnych materiałów z trzech głównych typów stali : niskostopowych, wysokostopowych i niestopowych.

Interesującą sprawą byłoby szersze wyjaśnienie co do określenia wskazywanych w modelu stałych materiałowych (tu: B, C, D) i ich znaczenia.

Praca [A4 , *Frattura ed Integrità Strutturale*, 2019] pozwala na **dokonanie analizy porównawczej** prezentując wyniki testów zmęczeniowych na próbkach wykonanych ze stali 16Mo3 i stopu aluminium 6082- T6 przeprowadzonych w warunkach **zginania i rozciągania-ściskania**. Wykazano, że w przypadku zginania próbki ze stali 16Mo3, w zakresie niskocyklowego zmęczenia (LCF), trwałość zmęczeniowa wzrasta w porównaniu do wyników uzyskanych w warunkach rozciągania-ściskania. Z drugiej strony, w przypadku próbki aluminiowej, stan obciążenia praktycznie nie wpływa na trwałość zmęczeniową na tym samym poziomie obciążenia

W pracy [A5, *Journal of Machine Construction and Maintenance*, 2018] przedstawiono porównanie wyników eksperymentalnych **prób zmęczeniowych dla stopu aluminium 6082-T6, przeprowadzonych dla dwóch stanów obciążenia: rozciąganie-ściskanie oraz cyklicznego zginania przy sterowaniu odkształceniem**. Do tego celu użyto modeli: odkształceniowej charakterystyki zmęczeniowej Mansona-Coffina Basquina, Kandila, Langer i modelu autorstwa Kurek-Lagoda a także naprężeniowej charakterystyki zmęczeniowej Basquina. Własne badania eksperymentalne i odpowiednie związki fizyczne zostały zastosowane do konwersji amplitud naprężenia i odkształcenia występującego w elementach zginanych bez karbu geometrycznego, zgodnie z modelem ciała sprężysto-plastycznego. Uzyskane wyniki wykorzystano do porównania obu typów obciążeń przy różnych metodach sterowania i różnych charakterystyk zmęczeniowych.

Efekty badań mechanicznych identyfikacji mechanizmów uszkodzeń zmęczeniowych i ocena prędkości ich rozwoju jest realizowana na podstawie zmian odpowiedzi materiału na zadane obciążenie cykliczne w całym okresie jego trwania należy winny być kojarzone z wynikami badań w zakresie inżynierii materiałowej wykorzystując techniki mikroskopowe i badania nieniszczące do obserwacji zmian mikrostruktury i identyfikacji mechanizmów generacji uszkodzeń.

Takie podejście, choć tylko częściowo prezentuje praca [A6, *Metals*, 2017] z wynikami badań wpływu niskotemperaturowej obróbki termomechanicznej na mikrostrukturę stopu AlZn6Mg0.8Zr (stop 7003) z uwidocznieniem związków między mikrostrukturą a właściwościami zmęczeniowymi oraz fraktografią próbek po złamaniu. Trwałość zmęczeniową stopu określono przy prostych stanach obciążenia - w warunkach zginania i skręcania. Badano rozwój pęknięć zmęczeniowych, korzystając z badań fraktograficznych złamanych próbek przeprowadzonych przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). Badania wykazały, że decydującymi czynnikami wytrzymałości zmęczeniowej tego stopu są mikrostruktura oraz typ i wielkość naprężeń cyklicznych.

Problematyka dotycząca mikrostruktury prezentowana jest również w publikacji A7, w której przedstawiono badanie mające na celu ocenę wpływu różnych poziomów odkształcenia podczas niskotemperaturowej obróbki termomechanicznej (LTTT) na mikrostrukturę i wytrzymałość zmęczeniową stopu Al-Zn-Mg mikrostopowanego Zr w warunkach obciążeń wieloosiowych. Wytrzymałość zmęczeniową tego stopu analizowano poprzez wysokocyklowe testy zmęczeniowe przy proporcjonalnej kombinacji zginania-skręcania. **Praca [A7, *Metals*, 2018,].** Wytrzymałość zmęczeniową stopu badano w wysokim cyklu próby zginania i skręcania. Określenie wpływu poziomu odkształcenia plastycznego podczas LTTT na mikrostrukturę oparto na obserwacjach z transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM). Udokumentowano, że głównym czynnikiem wpływającym na mikrostrukturę stopu, i określającym charakter przelomu zmęczeniowego, jest poziom odkształcenia zastosowany podczas obróbki LTTT.

W artykule [A8, *International Journal of Fatigue*, 2021] porównano wyniki eksperymentalnych badań trwałości zmęczeniowej dla dwóch rodzajów materiałów. Dla każdego z nich rozpatrzono testy zmęczeniowe uwzględniające zarówno efekt skali, jak i gradient naprężenia lub odkształcenia. Do analizy wybrano dwa różne materiały: stal 16Mo3 oraz stop aluminium 6082-T6. Z przeprowadzonej analizy wynika, że uzyskany gradient naprężeń przy zginaniu zmęczeniowym stali 16Mo3 i aluminium 6082-T6 daje podobny efekt jak w przypadku małych próbek, tj. wzrost trwałości zmęczeniowej w porównaniu ze standardowymi próbami rozciągania-ściskania. Dlatego gradient naprężeń zginających próbek bez karbu geometrycznego można uznać za inny rodzaj efektu skali.

Publikacja [A9, *Acta Mechanica et Automatica*, 2016] stanowi inspirację i podstawę późniejszej realizacji przez Kandydata badań zmęczeniowych ww. współpracy z różnymi zespołami współautorów publikacji. Przedstawiono w niej porównanie krzywych trwałości zmęczeniowej na podstawie badania stali 16Mo3 w warunkach cyklicznego zginania wahadłowego i rozciągania-ściskania. Badania te analizowano pod kątem dużej i małej liczby cykli, w których amplituda odkształcenia jest zależna od trwałości zmęczeniowej. Wykazano, że powszechnie stosowany model Mansona-Coffina-Basquina nie nadaje się do badań w warunkach zginania cyklicznego ze względu na brak możliwości rozdzielenia odkształceń sprężystych i plastycznych. W tym celu zaproponowano kilka dobrze znanych modeli Langer'a i Kandila oraz jeden nowy model Kurek-Łagoda, w którym amplituda odkształcenia jest zależna od liczby cykli. Porównując wyniki zginania z rozciąganiem-ściskaniem wykazano, że dla mniejszych amplitud odkształcenia trwałość zmęczeniowa dla obu metod badań była podobna, dla większych amplitud odkształcenia trwałość zmęczeniowa dla prób zginania-ściskania była większa niż dla rozciągania-ściskania. Ponadto w pracy [A9] zaprezentowane zostało nowe stanowisko badawcze, służące do cyklicznego zginania sterowanego odkształceniem. Ideą tej maszyny jest to, że za pomocą śruby mimośrodowej można ustawić ugięcie ramienia maszyny działającego na próbkę, to ugięcie jest ustawione jako stałe i kontrolowane przez liniowy czujnik przemieszczenia. W ten sposób uzyskujemy stałą amplitudę odkształcenia na próbce. Amplituda odkształcenia próbki jest skorelowana z przemieszczeniem ramienia. Maszyna została skalibrowana przy użyciu próbki z tensometrami, korelacja między przemieszczeniem a odkształceniem jest liniowa. Dodatkowo podczas testu monitorowany jest moment zginający. W czasie, gdy moment ten spadnie znacząco, następuje inicjacja pęknięcia zmęczeniowego, jednakże dalsze badania pozwalają na uzyskanie całkowitej trwałości zmęczeniowej badanej próbki.

Należy zwrócić uwagę, że większość prac tego cyklu prezentowana jest w renomowanych, wysoko punktowanych czasopiśmie ściśle związanych z ich profilem naukowym.

Autor, w większości prac ma bardzo istotny wkład merytoryczny w planowanie badań, opracowaniu metodyki i metodologii badań, udział osobisty w przeprowadzeniu badań zmęczeniowych oraz rejestracji i opracowaniu wyników oraz ich analizie, opracowaniu koncepcji artykułu, przeprowadzeniu, analizie i obróbce graficznej wyników badań zmęczeniowych oraz zaproponowaniu nowego modelu charakterystyki zmęczeniowej. Ponadto zredagowanie finalnej wersji pracy jej zgłoszenie i korekta i pełnienie roli *'corresponding author'*., co świadczy o dużej samodzielności, kompetencjach i inwencji twórczej.

Przedstawiony spójny tematycznie zestaw dziewięciu publikacji stanowiących podstawowe osiągnięcie naukowe ma znaczenie nie tylko w aspekcie nowego teoretycznego rozwiązania (implementacja modeli własnych) ale też może mieć duże znaczenie praktyczne.

Podsumowując, osiągnięcie naukowe polega na zaproponowaniu i weryfikacji nowych modeli charakterystyk zmęczeniowych odpowiadających potrzebom badań zmęczeniowych w warunkach zginania. Wykazano, że charakterystyki zmęczeniowe materiałów uzyskane w warunkach cyklicznego zginania różnią się od tych dla rozciągania-ściskania. Poprzez zastosowanie wyrażen uwzględniających gradient naprężenia lub odkształcenia w przypadku wyznaczania charakterystyk zmęczeniowych na podstawie badań w prowadzonych warunkach cyklicznego zginania możliwe jest uzyskanie porównywalnych wyników z badaniami na rozciąganie-ściskanie. Z przeprowadzonej analizy wynika, że uzyskany gradient naprężeń przy zginaniu zmęczeniowym stali 16Mo3 i aluminium 6082-T6 daje podobny efekt jak w przypadku mikropróbek, tj. wzrost trwałości zmęczeniowej w porównaniu ze standardowymi próbkami rozciągania-ściskania. Dlatego gradient naprężeń zginających próbek bez karbu geometrycznego można uznać za inny rodzaj efektu skali. Zaproponowany model charakterystyki odkształceniowej, równie dobrze jak uznane i powszechnie stosowane modele empiryczne, z powodzeniem może być stosowany do opisu wyników badań zmęczeniowych dotyczących amplitudy odkształcenia. Ponadto w przypadku badań w warunkach rozciągania-ściskania uwidoczniła się dodatkowa zaleta proponowanego modelu- naprężeniowa charakterystyka zmęczeniowa przyjmuje kształt zbliżony do litery 'S'. Zaproponowany model charakterystyki naprężeniowej pozwala na dokładniejsze, niż przy zastosowaniu najpopularniejszych modeli, odwzorowanie wyników eksperymentalnych. Proponowane rozwiązanie uwzględnia często zauważany w praktyce fakt, że charakterystyka zmęczeniowa dla większości materiałów nie przyjmuje, w układzie pojedynczo lub podwójnie logarytmicznym, kształtu linii prostej, lecz przypomina raczej pochyloną literę 'S'

Prace cyklu publikowane są w języku angielskim, co umożliwia szeroki odbiór w kraju i świecie. Trzeba jednak zwrócić też uwagę, na używaną terminologię w języku angielskim i potrzebę adekwatnej odpowiedniej terminologii w języku polskim. Najbardziej jaskrawym przykładem jest użycie terminu – nazwy procesu kształtowania plastycznego metali z j. angielskiego *cold rolling* a w j. polskim nazwanie jako *rolowanie na zimno*, co oczywiście powinno dotyczyć procesu *walcowania na zimno*. (Autoreferat str 12, rys.1, praca [6] Fig.6 - ...cold rolling) czy termin *składniki* zamiast *składowe*.(Autoreferat st.18) a *strain controlled stand* to stanowisko *sterowane odkształceniem* a nie *kontrolowane*.

Należy tżz zauważyć fakt dodatkowego osiągnięcia, gdyż Habilitant miał udział w opracowaniu koncepcji i wykonaniu stanowiska badawczego testowego w wersji pilotażowej i ulepszonej. W programie serii badań zmęczeniowych wykazano, że możliwe jest zastąpienie podstawowego testu rozciąganie-ściskanie z użyciem dużych maszyn zmęczeniowych testami oscylacyjnego zginania przeprowadzanymi na prostym, nowoczesnym stanowisku testowym. Testy przeprowadzano na maszynie prototypowej w warunkach zginania wahadłowego a Kandydat był pierwszym ,który przeprowadził na tym stanowisku badania, a wnioski płynące z tych doświadczeń posłużyły do powstania drugiej, ulepszonej wersji stanowiska. Przygotował

tez oprogramowania sterujące urządzeniem. Badanie stali 16Mo3 wykazało, że najbardziej znana charakterystyka zmęczeniowa Manson-Coffin-Basquin dobrze opisuje wyniki wszystkich testów eksperymentalnych, ale model ten można stosować tylko wtedy, gdy możliwe jest podzielenie odkształceń na składowe sprężyste i plastyczne. Należy tutaj podkreślić, że nie ma takiej możliwości w przypadku testów przeprowadzanych w warunkami oscylacyjnego zginania. Udowodniono, że proponowana metoda testowania może bardzo dobrze zastąpić test rozciągania-ściskania i jest znacznie bardziej efektywnym kosztowo sposobem uzyskania właściwości zmęczeniowych materiału, nawet dla badań niskocyklowych.

Tematyka badań realizowanych z udziałem Habilitanta mieści się w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna, z elementami Inżynierii Materiałowej co stanowi korzystne skojarzenie.

Biorąc pod uwagę wszechstronność prowadzonych badań, przedstawienie nowego elementu w rozwiązaniach teoretycznych (nowe modele) i eksperymentalnych (wykorzystanie nowego stanowiska do badań zmęczeniowych) oraz opublikowanie wyników w większości w renomowanych czasopismach o zasięgu światowym, oceniam osiągnięcie naukowe jako wnoszące istotny wkład do dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna w obszarze mechaniki ciała stałego.

3. Ocena pozostałej działalności naukowej

Poza głównym nurtem badawczym dotyczącym nowych modeli charakterystyk zmęczeniowych spośród pozostałych zadań badawczych przedstawia kilka innych z dziedziny inżynierii mechanicznej Kandydat wskazuje badania dotyczące innych prac współautorskich 1) nt. *. Fatigue Life of Aluminum Alloys Based on Shear and Hydrostatic Strain. [B1, Materials 2019]*, W pracy zaproponowano nowe wieloosiowe kryterium odkształcenia zmęczeniowego, analogiczne do kryterium naprężeniowego Dang Vana. Kryterium uwzględnia maksymalną amplitudę odkształcenia ścinającego i odkształcenia objętościowego. Przydatność proponowanego kryterium zweryfikowano na podstawie testów zmęczeniowych przeprowadzonych na próbkach ze stopu aluminium 2017A-T4 i 6082-T6, w warunkach cyklicznego zginania i skręcania.

2) nt. *Correlation of Uniaxial Cyclic Torsion and Tension-Compression for Low-Cycle Fatigue. [B2, Mater. Sci. 2018]*, W pracy dokonano analizy porównawczej charakterystyk zmęczeniowych, a w szczególności współczynników dla skręcania i rozciągania-ściskania. Analiza oparta jest na dostępnych danych literaturowych pochodzących z testów przeprowadzonych w warunkach niskocyklowego zmęczenia na różnych materiałach. Analizie poddano 26 materiałów. Stwierdzono, że korelacja między współczynnikami wytrzymałości zmęczeniowej na skręcanie i rozciąganie-ściskanie nie zależy od względnego nachylenia wykresów zmęczenia, które opisują odkształcenia plastyczne. Analiza wykazała, że stosunek współczynników wytrzymałości zmęczeniowej w przypadku rozciągania-ściskania waha się, w większości badanych materiałów, w zakresie od 0,5 do $1/(1+\nu)$. Dodatkowo, zauważono silną zależność między współczynnikami zmęczeniowymi opartymi na odkształceniu w przypadku skręcania i rozciągania-ściskania a względnym nachyleniem krzywych trwałości zmęczeniowej. Wyniki te dostarczają istotnych informacji dla inżynierów materiałowych i konstruktorów w procesie wyboru optymalnych materiałów i procedur badawczych.

3) Problematyka trwałości zmęczeniowej materiałów metalowych wytwarzanych metodami addytywnymi.

[B3, J. Mech. Sci. Technol. 2022]. A new approach for designing cellular structures: design process, manufacturing and structure analysis using a volumetric scanner.,

Trwałość zmęczeniowa i cykliczne pełzanie płyt warstwowych tantal/miedź/stal pod obciążeniem rozciągającym w temperaturze pokojowej.. *Fatigue life and cyclic creep of tantalum/copper/steel layerwise plates under tension loading at room temperature.*[B4, *Int. J. Fatigue* 2022],

[B5, *6th Int. Conf. Nanotechnol. Instrum. Meas. NanofIM 2021*] *Influence of surface characteristics and finishing on fatigue properties of additively manufactured Ti6Al4V.*

Aktywność dotycząca realizacji grantów naukowo- badawczych obejmuje:

2012 – 2014 - wykonawca w grantie OPUS nt. „Weryfikacja kryteriów wieloosiowego losowego zmęczenia” Narodowe Centrum Nauki. Autor wykonywał i opracowywał badania zmęczeniowe stopu aluminium 6082-T6 w warunkach obciążeń cyklicznych.

2016 – 2020 - wykonawcą w grantie OPUS pt. „Odkształceniowe charakterystyki zmęczeniowe dla różnych stanów obciążeń naprzedmiennych”, Narodowe Centrum Nauki. prowadzenie badań zmęczeniowych oraz opracowanie wyników eksperymentalnych i literaturowych.

Od 2017r Kandydat był promotorem pomocniczym w realizacji rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Justyny Koziańskiej nt. „Uwzględnienie odkształcenia plastycznego przy wyznaczeniu trwałości w jednoosiowym stanie obciążenia” w dyscyplinie Mechanika. Doktorat obroniono w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna w 2021 roku.

Dorobek naukowy Kandydata obejmuje łącznie 61 publikacji (w tym 5 samodzielnych). 33 publikacje są umieszczone w czasopismach naukowych wyróżnionych w bazie SCOPUS. Pozostałe publikacje ukazały się jako prace recenzowane w innych czasopismach i materiałach konferencyjnych. Zgodnie z bazą SCOPUS prace Kandydata były cytowane 204 razy w 143 pracach, a indeks Hirscha H=9.

4. Ocena działalności organizacyjnej, dydaktycznej i popularyzacji nauki

Działalność dydaktyczną Kandydat rozpoczął w październiku 2011 roku na stanowisku asystenta na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej .a po obronie pracy doktorskiej w 2014 na stanowisku adiunkta. Prowadził zajęcia z różnych przedmiotów, w tym: podstaw mechaniki, podstaw konstrukcji maszyn, wytrzymałości materiałów, informatyki technicznej, projektowania anty-zmęczeniowego, trwałości i niezawodności, a także technik przyrostowych i projektowaniu kompozytów. Stosując nowoczesne metody nauczania stara się czynić zajęcia służące lepszemu przyswajaniu wiedzy, przez studentów. Od ponad 10 lat prowadzi zajęcia w języku angielskim ze studentami z wymiany zagranicznej ERASMUS, w tym przedmioty takie jak: Machine Life, Building Structures czy Steel Structures. oraz prowadzi przedmioty na anglojęzycznym kierunku studiów prowadzonym na Wydziale Mechanicznym

Pełnił przez dwie kadencje funkcję Przewodniczącego Samorządu Doktorantów Politechniki Opolskiej, a także sprawował funkcje w Porozumieniu Doktorantów Uczelni Technicznych. Jest współautorem podręcznika laboratoryjnego pt: *Laboratorium z wytrzymałości materiałów*, pod red. nauk. Grzegorza Gasiaka i Tadeusza Łagody, oraz wielu instrukcji laboratoryjnych do prowadzonych przeze mnie zajęć, takich jak Informatyka Techniczna i Wytrzymałość Materiałów. Prowadzi także nieformalne koło naukowe dla studentów zainteresowanych metodami przyrostowymi.

Był promotorem 15 prac inżynierskich i 17 magisterskich, głównie na kierunkach Mechanika i Budowa Maszyn i Mechatronika. a recenzentem 5 inżynierskich 8 magisterskich prac dyplomowych.

W latach 2015-2019 pełnił rolę Sekretarza ds. Seminarium Wydziału Mechanicznego.

Kandydat brał udział w następujących szkoleniach: 2023 Szkolenie z obsługi programu Blender (40h) 2022, Metodyka projektowania uniwersalnego oparta o pętle projektowo badawcze zgodnie z metodyką projektowania Lean UX - warsztaty w zakresie zasad projektowania uniwersalnego dla kadry uczelni 2019, Szkolenia ANSYS (MES dla Praktyków, Geometria i siatki na potrzeby analiz CFD, Wprowadzenie do analiz kompozytów (ACP)) 2017 Szkolenie Autodesk Inventor (stopień I)

5. Aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni lub jednostce naukowej

W ramach prowadzonej działalności naukowej Kandydat nawiązał współpracę z innymi jednostkami naukowymi zarówno krajowymi jak i zagranicznymi, w ramach wspólnie realizowanych projektów badawczych oraz badań związanych z wspólnymi obszarami zainteresowań naukowych. Zagraniczne jednostki naukowe to:

: **Department of Engineering and Architecture, University of Parma, Włochy, 2017.** współpracy naukoaj z prof. Carpinterim oraz prof. Vantadori. Jednym z efektów współpracy jest wspólna publikacja [A5].

Zittau - Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology (Fraunhofer IWU) - Niemcy W 2021 - 2 tygodniowy staż w laboratoriach instytutu w Żytawie i Dreźnie, dotyczący głównie technologią druku 3D z proszków metali. Wynikiem tej wizyty było nawiązanie bliższej współpracy z pracownikami instytutu co zaowocowało między innymi przyjęciem w laboratoriach PO, we wrześniu 2019 roku, stażysty Pana Harsha Mehta. W 2023 roku wspólnie z panem Harshem Mehtą oraz jednostką Fraunhofera z Chemnitz i TU Chemnitz złożyliśmy 2 projekty międzynarodowe: - Platform for a Resilient Industry Value Network for Aerospace Sustainability, (PRIVANAS) w ramach programu Komisji Europejskiej: HORIZON-RIA, TWIN GREEN AND DIGITAL TRANSITION 2023 (HORIZON-CL4-2023-TWIN-TRANSITION-01). - Recycling of Nickel based super alloy (INCONEL® 625, 718) scraps for parts production using Additive Manufacturing (RENiSA) – z programu M-ERA.NET Call 2023 W obu tych projektach pełnię rolę koordynatora z ramienia Politechniki Opolskiej

TU Chemnitz, Niemcy 2017, nawiązanie współpracy z pracownikami Technische Universität Chemnitz oraz klastra doskonałości MERGE zajmującego się technologiami lekkimi.. Wynikiem zawiązanej współpracy są wspólne projekty badawcze (PRIVANAS) oraz 2 publikacje: *Theor. Appl Fract Mec. 2019;*, *Eng. Fail. Anal. 2022*, 138,

Staż i współpraca z jednostkami krajowymi :

Park Naukowo-Technologiczny w Opolu : rola konsultanta) konsultanta a w latach 2017-2018 pracował na stanowisku „pracownika merytorycznego - projektowanie inżynierskie” w ramach projektu: Utworzenie Centrum Projektowania Inżynierskiego w ramach Parku NaukowoTechnologicznego

- **Firma Tower Automotive -2018** (obecnie SNOP) w konsorcjum z Politechniką Opolską i Parkiem Naukowo-Technologicznym - pracownik merytoryczny ds. badań i wytrzymałości w uzyskanym projekcie z NCBR (PO IR)

. **Politechnika Wrocławska** - wspólne badania i publikacje powstały w ramach mojej współpracy z pracownikami i doktorantami Politechniki Wrocławskiej, częściowo wynikającej z wcześniejszej pracy z zespołem Prof. Krolla z TU Chemnitz: Wymierny efekt stanowią 2 publikacje (*Materials. 2020*, *Eng. Fail. Anal. 2022*)

-Politechnika Warszawska – współpraca z zespołem z Wydziału Inżynierii Materiałowej PW dotycząca badań właściwości zmęczeniowych materiałów zgrzewanych wybuchowo. W latach 2013-14, powstały prace naukowe połączonego zespołu Politechniki Opolskiej i Warszawskiej, np. (*Archives of Metallurgy and Materials*. 2014., 6th International Conference on Nanotechnology for Instrumentation and Measurement (NanofIM), Opole, Poland, 2021)

Wojskowa Akademia Techniczna W ramach prac badawczych wchodzących z zakresu grantu Techmastrateg 2/412341/8/NCBR/2019]. Kandydat był współautorem dwóch publikacji (*International Journal of Fatigue*, 2022, *Procedia Structural Integrity* 2022)

-Politechnika Śląska W ramach tej współpracy Autor przeprowadził badania zmęczeniowe w warunkach cyklicznego zginania, skręcania i ich kombinacji dla stopu aluminium ALZn6Mg0.8Zr po różnych obróbkach termomechanicznych. Efektem tej współpracy są 2 publikacje (*Metals* 2017, *Metals* 2018)

Wraz z otrzymaniem przez Wydział Mechaniczny Politechniki Opolskiej projektu finansowanego przez MEiN – Regionalna Inicjatywa Doskonałości (RID) w 2019 roku dr Kurek dokonywał wyboru i zakupu infrastruktury badawczej finansowane z tego projektu, w szczególności dotyczące wyposażenia Laboratorium zaawansowanych metod druku 3D Dr Kurek od 2020 roku jest kierownikiem tego laboratorium. Ponadto zajmował się wieloosiową maszyną zmęczeniową pozwalającą na badania przy rozciąganiu-ściskaniu i skręcaniu o napędzie elektrycznym.

Za wkład pracy i zaangażowanie otrzymał indywidualną nagrodę rektora za inne osiągnięcia za rok 2020 . W 2021 roku, w ramach projektu „Centrum Projektowe Zaawansowanych Technologii Lekkich”, uczestniczył w wyposażaniu laboratorium w infrastrukturę badawczą dotyczącą systemu do badań dynamicznych z napędem hydraulicznym, osiowo skrętnym w podwyższonych temperaturach. Uczestniczył też w utworzeniu 20 stanowisk badawczych oraz urządzenia do atomizacji proszków metali (RePowder) w nowym Laboratorium trwałości i wytrzymałości materiałów oraz zaawansowanych metod druku 3D i którego został kierownikiem.

W latach 2020-2022 pełnił rolę zaproszonego edytora w wydaniu specjalnym czasopisma *Materials pt. „Fatigue and Fracture of Materials”*, w którym opublikowano 20 artykułów.

Uczestniczył też w realizacji 31 prac badawczych zleconych, w przypadku 27 z nich pełniąc rolę kierownika bądź jedyne wykonawcy.

6. Konkluzja końcowa

Dr. inż. Andrzej KUREK przedstawił do oceny jako najważniejsze osiągnięcie naukowe cykl dziewięciu publikacji pod wspólnym tytułem, „*Nowe modele charakterystyk zmęczeniowych odpowiadające potrzebom badań zmęczeniowych w warunkach cyklicznego zginania*”.

Można też uznać jako osiągnięcie dodatkowe –rozwiązaniu konstrukcyjne - stanowisko do badań zmęczeniowych powstałe z udziałem Kandydata .

Uważam, że tematyka podejmowanych badań jest ważna, badania zostały udokumentowane w sposób pozwalający na stwierdzenie, że stanowią znaczny wkład Kandydata w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna. Szczegółowe uwagi dotyczące dorobku naukowego przedstawione zostały w rozdziale 2, „*Ocena osiągnięcia naukowego*”, głównie dotyczące badań zmęczeniowych. Dodatkowo ocenę tę wzmacniają efekty odbytych staży

krajowych i zagranicznych, wyniki współpracy z różnymi ośrodkami naukowymi, wspólne publikacje czy zrealizowane usługi badawcze. Prezentowane wyniki są wartościowe i można uznać za wystarczające w procedurze ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

Stwierdzam, na podstawie otrzymanej dokumentacji że dr inż. Andrzej KUREK spełnia wymagania stawiane w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023. 742 z dnia 20.04.2023r.) ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w Dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

