

Prof. dr hab. inż. Janusz Kozak,
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
Politechniki Gdańskiej
80-233 Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12
kozak@pg.edu.pl

Gdańsk. 9 czerwca 2021

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Piotrowskiego p.t: „Badania i obliczenia trwałości zmęczeniowej złożonych struktur spawanych”

2. Podstawa opracowania

Podstawą formalną opracowania niniejszej recenzji jest zlecenie przekazane pismem z dnia 04.05.2019 podpisane przez Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, prof. dra hab. inż. Dariusza Borońskiego, w załączeniu do którego przekazano rozprawę doktorską mgr inż. Michała Piotrowskiego p.t: „Badania i obliczenia trwałości zmęczeniowej złożonych struktur spawanych”. Zlecenie to wynika z uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna z dnia 20.04.2021 powołująca autora niniejszej opinii na recenzenta rozprawy doktorskiej.

3. Określenie trafności wyboru i oryginalności problemu badawczego podjętego w rozprawie

Zagadnienie trwałości zmęczeniowej - po opanowaniu problemów wytrzymałości statycznej a następnie zjawisk kruchego pęknięcia - stało się obecnie głównym czynnikiem kształtującym konstrukcję współczesnych obiektów inżynierskich a w tym pojazdów, statków czy też konstrukcji oceanotechnicznych. Jego aktualność i znaczenie praktyczne wynika z faktu, iż pęknięcia zmęczeniowe pojawiające się w elementach konstrukcji są najczęściej występującym rodzajem uszkodzeń np. dla kadłubów współczesnych okrętów i obiektów oceanotechnicznych. Prowadzenie obliczeń zmęczeniowych w porównaniu z projektowaniem statycznym jest procesem bardziej złożonym - choćby z tego powodu, że wpływ na trwałość zmęczeniową mają także naprężenia o niskich wartościach – np. pospawalnicze, a powiązanie zjawisk występujących w obiektach złożonych jest przyczyną, dla której do metod analiz zmęczeniowych wprowadza się szereg założeń upraszczających a część czynników

determinujących te zjawiska jest trudna do opisanie czy jednoznacznie zdefiniowania. Dodatkową trudność stanowi fakt, istotnego znaczenia tu parametru czasu.

Jedynym wiarygodnym źródłem informacji zarówno dla budowania hipotez, dostarczania danych do procedur obliczeniowych, walidacji przyjętych algorytmów jak i ostatecznej weryfikacji poprawności zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, obok danych pochodzących z eksploatacji, są badania laboratoryjne modeli konstrukcji rzeczywistej, a wśród nich badania dużych fragmentów konstrukcji w skali naturalnej. Dla obiektów wielkogabarytowych, a do takich zaliczają się konstrukcje wózków jednych pojazdów szynowych, takie badania wymagają znacznych nakładów pracy i środków, zarówno na wykonanie samego modelu jak i oprzyrządowania do badań, a nierzadko nowego stanowiska badawczego tak, aby poprawnie zamodelować warunki obciążenia i utwierdzenia testowanej konstrukcji. Dodatkowo, z uwagi na koszty wykonania modelu a dalej przeprowadzenia badań dla wielkogabarytowych modeli konstrukcji nie jest możliwe wykonanie i przebadanie populacji wielu modeli tak, jak to ma miejsce w wypadku badań małych próbek, gdzie na przykład dla uzyskania krzywej trwałości zmęczeniowej (σ -N) bada się szereg powtarzalnych próbek na kilku poziomach obciążeń. Taka ilość danych pozwala na pełne statystyczne opracowanie uzyskanych wyników.

Toteż w wypadku badań konstrukcji wielkogabarytowych dla ograniczenia do niezbędnego minimum liczby badanych modeli i kosztów prowadzenia badań, poszukuje się rozwiązań pozwalających na wykorzystanie w procesie analizy prostszych struktur badanych laboratoryjnie, a wyniki badań analizuje się tak, aby znaleźć opis wpływu poszczególnych parametrów wejściowych na odpowiedź badanego obiektu.

Doktorant podjął się pracy nad problemem badawczym dotyczącym możliwości kolejnych dekompozycji złożonego obiektu konstrukcyjnego na elementy o mniejszym stopniu skomplikowania tak, aby na podstawie wyników badań laboratoryjnych obiektów „elementarnych” wydzielonych jako reprezentatywne na najniższym stopniu tejże dekompozycji, uzyskać możliwość wykonania działania odwrotnego to jest wnioskować o trwałości całego obiektu początkowego traktując wydzielone obiekty elementarne jako swoiste „słabe ogniwa”.

Tak postawiony problem badawczy jest zadaniem oryginalnym i trafnie postawionym w świetle przedstawionych potrzeb weryfikacji eksperymentalnej trwałości zmęczeniowej złożonych węzłów konstrukcji i ograniczeń w badaniach pełnowymiarowych modeli takich obiektów.

4. Ocena poprawności i kompletności celów oraz hipotez badawczych

W zarysowanej problematyce badawczej doktorant przyjął, że celem pracy będzie opracowanie oraz doświadczalna weryfikacja metody projektowania spawanego obiektu technicznego, w której ograniczona zostanie liczba kosztownych badań eksperymentalnych całych obiektów. Weryfikacja metody zostanie przeprowadzona na przykładzie ramy wózka pojazdu szynowego.

Autor dodatkowo sformułował cele wynikające z realizacji celu podstawowego, a mianowicie:

- poprawa bezpieczeństwa i niezawodności złożonych, odpowiedzialnych struktur spawanych,
- analiza możliwości uwzględniania w procesie projektowo-konstrukcyjnym złożonych struktur spawanych nowoczesnych metod numerycznych i badań doświadczalnych.

Na tle postawionego celu pracy doktorant postawił tezę pracy, jak następuje:

„Stosowane obecnie procedury projektowania złożonych i odpowiedzialnych struktur spawanych charakteryzują się dużą kosztochłonnością i zawodnością.

Istnieje możliwość ograniczenia liczby kosztownych badań pełnowymiarowych obiektów technicznych poprzez ich częściowe zastąpienie badaniami elementarnych węzłów spawanych bez obniżania ich projektowanej trwałości.”

Postawiony cel stanowi kompletne zadanie badawcze obejmujące szeroki zakres zagadnień do opracowania.

5. Ocena poprawności struktury rozprawy

W pracy można wyróżnić dwa zasadnicze wątki.

Część początkowa pracy zawiera przegląd aktualnej wiedzy dotyczącej projektowania złożonych konstrukcji spawanych z punktu widzenia wytrzymałości zmęczeniowej. W ramach omówienia stanu wiedzy Autor omówił mechanizmy powstawania i opisu rozwoju pęknięć zmęczeniowych, przedstawił wpływ naprężeń spawalniczych na pękanie zmęczeniowe, a dalej dokonał przeglądu metod analizy trwałości zmęczeniowej połączeń spawanych ze szczególnym uwzględnieniem wpływu spoin na własności mechaniczne konstrukcji.

Na podstawie przeprowadzonej analizy Autor dokonał krytycznej oceny obecnego stanu wiedzy przedstawionego we wcześniejszych rozdziałach.

Tak zarysowaną część wstępną pracy kończy rozdział zatytułowany *„Metoda projektowania złożonych struktur spawanych”* gdzie Autor proponuje metodę projektowania spawanego obiektu technicznego, w efekcie zastosowania której ograniczona zostanie liczba kosztownych badań eksperymentalnych całych obiektów. Metoda ta polega na dekompozycji analizowanego złożonego, spawanego obiektu inżynierskiego na obiekty o niższym stopniu złożoności. Dekompozycja taka zaczyna się od analizy obciążeń działających na konstrukcję – zarówno od strony modelowania jak też i z wykorzystaniem rzeczywistych, zarejestrowanych przebiegów eksploatacyjnych. Wydzielone elementy prostsze (węzły) poddawane są „klasycznej” analizie trwałości na podstawie posiadanych zasobów wiedzy, a w wypadku ich braku – na podstawie wyników testów zmęczeniowych tych węzłów. Tak uzyskane informacje o trwałości obiektów elementarnych dają możliwość wykonania działania odwrotnego to jest wnioskować o trwałości całego obiektu początkowego traktując wydzielone obiekty elementarne jako swoiste „słabe ogniwa”.

Część druga pracy zawiera analizy i badania własne dla potwierdzenia postawionej tezy. W tym celu Autor dokonuje wyboru złożonej struktury spawanej w postaci ramy wózka pojazdu szynowego (tramwaju) i identyfikację jej obciążeń, następnie dokonuje analizy numerycznej obiektu z wykorzystaniem oprogramowania ABAQUS i dekompozycji na węzły, a dalej identyfikacji materiałów stosowanych w konstrukcji. Istotnym działaniem według proponowanej metodyki jest dekompozycja obiektu tak, aby wydzielić zeń elementarne węzły i zespoły, które zostaną poddane badaniom dla określenia tych parametrów, które są niezbędne w procesie wyznaczeni ich trwałości, a których nie ma dostępnych w istniejących zasobach wiedzy. Tak wyznaczone trwałości posłużyły do przeprowadzenia rozważań, co do trwałości analizowanego obiektu. Uzyskane wyniki zostały przedstawione na tle wyników badań rzeczywistej konstrukcji ramy wózka jeźdźnego.

Praca zawiera 191 stron zebranych w dwóch rozdziałach merytorycznych odpowiadającym przedstawionemu wyżej omówieniu, poprzedzonych wprowadzeniem, zakończonych podsumowaniem i wnioskami, a zakończonych stosownymi spisami, streszczeniami i załącznikiem.

Układ pracy, kolejność rozdziałów i proporcje między poszczególnymi rozdziałami, jest poprawny, a wybór i zakres analizy stanu wiedzy świadczy o dobrym opanowaniu przez Doktoranta zaawansowanych zagadnień wytrzymałości zmęczeniowej.

6. Ocena Rozprawy

6.1. Ocena zawartości rozprawy

Wybór i zakres analizy stanu wiedzy świadczy o dobrym opanowaniu przez Doktoranta zaawansowanych zagadnień wytrzymałości zmęczeniowej. Zakres i kompletność tezy, a dalej obecność założeń metodologicznych w pracy a w szczególności co do metod, technik i narzędzi badawczych potwierdza doświadczenie Autora w odniesieniu do umiejętności projektowania i prowadzenia badań laboratoryjnych. Przyjęta metodologia badań i zakres zastosowanych metod badawczych świadczy o dobrym opanowaniu stanu wiedzy, doświadczeniu w wyborze i umiejętnościach stosowania nowoczesnych metod i aparatury badawczej przez Autora a również dobrej znajomości aktualnych Norm i Standardów. Pokazuje również poziom i wyposażenie Laboratorium Badań Materiałów i Konstrukcji, które Autor wskazuje, jako miejsce prowadzenia większości badań. Stwierdzam, że w odniesieniu do zaproponowanego tematu analiza literatury została przeprowadzona w sposób zwięzły, przejrzysty i na poziomie potwierdzającym bardzo dobre przygotowanie Autora do podjęcia postawionych złożonych problemów badawczych.

Opiniowana rozprawa doktorska została opracowana na dobrym poziomie naukowym, redakcyjnym i edytorskim. Zawiera oryginalne osiągnięcie naukowe na poziomie odpowiednim dla rozpraw doktorskich. Częściowe wyniki badań uzyskane podczas realizacji pracy doktorskiej były prezentowane w środowisku naukowym podczas konferencji międzynarodowych oraz były przedmiotem licznych artykułów naukowych i naukowo technicznych.

Niezależnie jednak od przedstawionej wcześniej opinii, można wyrazić wątpliwość, czy najważniejszy punkt pracy, jakim jest przedstawienie proponowanej przez Autora metody projektowania spawanego obiektu technicznego, w efekcie zastosowania której ograniczona zostanie liczba kosztownych badań eksperymentalnych całych obiektów, powinien być prezentowany w końcowym rozdziale analizy stanu wiedzy, czy raczej powinien stanowić odrębny rozdział, albo przynajmniej rozpoczynać część drugą pracy zawierającą opis działań i osiągnięć Autora.

Druga wątpliwość dotyczy braku klarowności w przedstawianiu udziału Autora w badaniach laboratoryjnych. Recenzent zdaje sobie sprawę, że badania laboratoryjne obiektów rzeczywistych są żmudne i wymagają udziału zespołu badawczego. Toteż dla jasności uzyskanych osiągnięć lepiej by było, gdyby klarownie przedstawić, które badania zostały w całości samodzielnie zrealizowane przez Doktoranta, w których brał udział, jako członek zespołu badawczego, a których wyniki zaczerpnął z wcześniejszych prac prowadzonych w Laboratorium. Również odniesienia do cytowanej literatury w tym obszarze nie rozwiewają wszystkich wątpliwości.

Kolejny problem do dyskusji dotyczy celowości analizy naprężeń pospawalniczych na wydzielonym fragmencie konstrukcji. Jaka jest przydatność takiego podejścia z punktu widzenia odwzorowania stanu naprężenia całej konstrukcji, co jest podstawą proponowanej procedury?

Pewną wątpliwość budzi również końcowy fragment rozdz. 3.6: „Obliczenia trwałości zmęczeniowej” na str. 172, w którym, z jednej strony Autor stwierdza, że zróżnicowanie stopni uszkodzenia ramy i węzła może świadczyć o nie do końca poprawnym odwzorowaniu warunków stanu odkształcenia i naprężenia, kilka zaś zdań dalej twierdzi, że uzyskane wyniki są zbliżone. Takie stanowisko wymagałoby nieco szerszej dyskusji.

6.2. Ocena formalnej strony rozprawy (poprawność redakcyjna - językowa, opanowanie techniki pisania, sporządzania przypisów, tabel, wykresów, bibliografii itp.)

Niezależnie od generalnego wrażenia, że strona językowa pracy nie budzi zastrzeżeń, można w niej znaleźć pewne niedoskonałości (zostaną wymienione tylko wybrane przykłady):

Rys.17: fragment opisu w języku angielskim,

Str.85: „... z punktu widzenia pokazniejszej eksploatacji...” – chyba późniejszej ?,

Str. 87: „...do niższego poziomu nazwanego (Rys.68)...”,

Str.132: „...Ponadto teza pracy...: - ten fragment tekstu występuje 2 razy w różnych wersjach,

Str.143: „...w różnych złącza spawanego...” – brak słowa,

Str.167 – akapit od słów „... Wyniki badań...” występuje 2 razy w różnych wersjach.

6.3. Wskazanie dobrych i słabych stron rozprawy

Przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Michała Piotrowskiego p.t. „Badania i obliczenia trwałości zmęczeniowej złożonych struktur spawanych” zawiera sformułowanie i realizację zadania którego celem jest poprawa bezpieczeństwa i niezawodności złożonych struktur spawanych, poprzez propozycję uwzględniania w procesie projektowo-konstrukcyjnym złożonych struktur spawanych nowoczesnych metod numerycznych i badań doświadczalnych.

Tak postawiony problem badawczy jest zadaniem oryginalnym i trafnie postawionym w świetle przedstawionych potrzeb weryfikacji eksperymentalnej trwałości zmęczeniowej złożonych węzłów konstrukcji i ograniczeń w badaniach pełnowymiarowych modeli takich obiektów. Wymienione przesłanki stanowią mocne strony pracy.

Niedoskonałością pracy jest ograniczenia weryfikacji proponowanej metodyki do jednego przypadku, co nie pozwala na mocne udowodnienie poprawności przyjętych kroków postępowania.

7. Wniosek końcowy

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Michała Piotrowskiego p.t. „Badania i obliczenia trwałości zmęczeniowej złożonych struktur spawanych” posiada następujące cechy:

- prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w obszarze projektowania złożonych konstrukcji spawanych z punktu widzenia wytrzymałości zmęczeniowej, oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.
- przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.
- praca powstała na znaczącej bazie przeglądu literatury źródłowej, własnych doświadczeń i badań empirycznych opartych na metodach ilościowych i jakościowych,
- w pracy zastosowano odpowiednią metodologię prowadzącą w logiczny sposób do zaprojektowania badań i osiągnięcia postawionych celów,
- Autor biegle posługuje się odpowiednimi metodami analizy danych służącymi zarówno do walidacji wykorzystanych narzędzi pomiarowych, jak i odpowiedniej interpretacji uzyskanych wyników,
- zaproponowany przez Autora model analizy trwałości posiada duży potencjał aplikacyjny,
- Autor posługuje się dobrą polszczyzną. Treść rozprawy podana jest w sposób interesujący i przystępnie, pomimo że terminologia związana z omawianą problematyką jest skomplikowana.

Nieliczne wskazane w tej recenzji krytyczne uwagi szczegółowe nie zmieniają mojej pozytywnej oceny rozprawy, jako całości.

Recenzowana praca doktorska mgr inż. Michała Piotrowskiego p.t: „Badania i obliczenia trwałości zmęczeniowej złożonych struktur spawanych” jest samodzielnym rozwiązaniem zaprezentowanego w niej problemu naukowego, posiadającym oryginalne cechy nowości. Autor podjął temat, który ma istotne znaczenie z punktu widzenia poznawczego i praktycznego. Trafnie określił założenia dotyczące analizy problemu i z sukcesem zastosował odpowiednie metody naukowe. Zakres zagadnień ujętych w rozprawie jest spójny, a uzyskane wyniki mają dużą wartość naukową i użytkową.

Doktorant wykazał się odpowiednią wiedzą ogólną z zakresu projektowania złożonych konstrukcji spawanych zwłaszcza w odniesieniu do problematyki wytrzymałości zmęczeniowej, oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Reasumując stwierdzam, że przedłożona przez mgra inż. Michała Piotrowskiego rozprawa doktorska p.t: „Badania i obliczenia trwałości zmęczeniowej złożonych struktur spawanych” **spełnia wymagania** określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. z dnia 16 marca 2003 roku poz. 595. - gdyż w niniejszym przewodzie doktorskim nadal obowiązuje ta ustawa na podstawie art. 33 ust. 1 ustawy z dnia 18 marca 2011 r. „O zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych ustaw” - Dz. U. z 2011 r.", nr 84, poz. 455, w tym także warunki określone w art. 13 tej ustawy).

Na podstawie przedstawionych wyżej faktów przedkładam Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgra inż. Michała Piotrowskiego do dalszych etapów postępowania związanego z nadaniem mu stopnia naukowego *doktora nauk technicznych* w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

