

## **Recenzja pracy doktorskiej**

mgr inż. Joanna Fabiś-Domagąła

### **pt. „ZMODYFIKOWANA ANALIZA FMEA NA PRZYKŁADZIE UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH”**

Promotor: dr hab. inż. Jacek Pietraszek, prof. PK

#### **Formalne i prawne podstawy wykonania recenzji**

Formalną podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo (M.00-141/2024) z dnia 17.10.2024 r. Dziekana Wydziału Mechanicznego, Politechniki Krakowskiej prof. dr hab. inż. Jerzego A. Śładka, informujące o powołaniu mnie na recenzenta, zgodnie z Uchwałą Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego z dnia 16.10.2024 roku, pracy doktorskiej mgr inż. Joanna Fabiś-Domagąła pt. *Zmodyfikowana analiza FMEA na przykładzie układów hydraulicznych*.

#### **1. Ocena doboru problematyki badawczej i tematu rozprawy**

Temat pracy doktorskiej dotyczy zmodyfikowanej analizy FMEA, której celem jest redukcja ograniczeń klasycznej metody poprzez usystematyzowanie relacji przyczynowo-skutkowych oraz uwzględnienie czynników ekonomicznych, takich jak koszty produkcji i naprawy elementów układów technicznych. Temat rozprawy doktorskiej został sformułowany poprawnie i koresponduje z treścią przedstawioną w pracy.

Problematyka badawcza obejmuje analizę FMEA, będącą metodą doskonalenia jakości, szeroko stosowaną w przemyśle do zwiększania niezawodności i bezpieczeństwa systemów. Klasyczna metoda FMEA, oparta na jakościowej ocenie wad i ich skutków, zawiera elementy subiektywności oraz jest wrażliwa na poziom wiedzy i doświadczenia analityków. Autorka proponuje wprowadzenie modyfikacji do tradycyjnego FMEA, w tym uzupełnienie metody o czynniki ekonomiczne oraz usystematyzowanie procesów oceny ryzyka, by zminimalizować wpływ subiektywności.

Praca skupia się na implementacji zmodyfikowanej analizy FMEA na przykładzie układów hydraulicznych stosowanych w turbinach wiatrowych, z uwzględnieniem oceny krytyczności

komponentów, takich jak siłownik hydrauliczny, co pozwala na pełniejsze zrozumienie procesów zachodzących w skomplikowanych systemach inżynierskich.

Ze względu na swoje praktyczne zastosowanie, praca może stanowić istotny punkt odniesienia dla przyszłych badań i działań w obszarze doskonalenia jakości

## **2. Charakterystyka i ocena rozprawy**

Praca jest wydana w formie zwartej i ma objętość 106 stron. Zawiera spis treści, sześć numerowanych rozdziałów, w tym na początku krótki wstęp, a na końcu bibliografię oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

Każdy rozdział ma wyraźnie określony cel i strukturę, co ułatwia czytelnikowi śledzenie rozwoju argumentacji i wniosków.

Rozdział 1 pracy doktoranckiej, zatytułowany „Wstęp”, pełni kluczową rolę, wprowadzając czytelnika w tematykę i cele badawcze. Autorka wyjaśnia, dlaczego tradycyjna analiza FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) wymaga modyfikacji, wskazując na jej słabości, takie jak silna zależność od poziomu wiedzy i doświadczenia użytkowników oraz ograniczenia wynikające z subiektywnych ocen. Przedstawienie tych problemów jasno określa podstawowy cel badawczy, który autorka zamierza zrealizować, co uzasadnia podejście zmierzające do bardziej obiektywnej oceny wad i ryzyka.

Rozdział 2 pracy stanowi wyraźne i uzasadnione określenie celów badawczych oraz założeń pracy. Rozdział otwiera określenie głównego celu, jakim jest opracowanie zmodyfikowanej wersji analizy FMEA, która minimalizuje wpływ subiektywnego czynnika ludzkiego oraz zapewnia bardziej usystematyzowane podejście do analizy wad. Tradycyjna metoda FMEA, mimo swojej popularności, ma słabości wynikające z dużego poziomu uogólnienia, przez co jej interpretacja zależy od wiedzy i doświadczenia użytkowników. W odpowiedzi na ten problem, autorka proponuje modyfikację klasycznej metody, wprowadzając elementy oparte na związkach przyczynowo-skutkowych między potencjalnymi wadami a elementami systemu.

Rozdział obejmuje także precyzyjnie zdefiniowane tezy, które autorka zamierza dowieść.

W pierwszej tezie wskazuje na możliwość zmniejszenia wrażliwości klasycznej metody FMEA na wiedzę i doświadczenie użytkowników poprzez systematyczne ujęcie zależności przyczynowo-skutkowych.

Druga teza odnosi się do konieczności uzupełnienia podstawowych czynników oceny ryzyka (ważności skutków wady, częstości jej występowania i możliwości wykrycia) o czynniki ekonomiczne, takie jak koszty wytworzenia elementu i potencjalnej naprawy, co ma podnieść trafność oceny w aktualnych realiach przemysłowych.

Trzecia teza proponuje wyznaczanie trybów awarii na podstawie relacji pomiędzy uogólnionymi wadami a funkcjami, które pełnią elementy systemu.

Na zakończenie rozdziału autorka określa zakres pracy, który obejmuje opracowanie i weryfikację zmodyfikowanej metody FMEA na przykładzie układu hydraulicznego w turbinach wiatrowych.

Rozdział 3 koncentruje się na omówieniu podstaw klasycznej analizy FMEA, jej typowych wad oraz alternatywnych metod oceny ryzyka. W rozdziale doktorantka zwróciła uwagę na liczne ograniczenia tradycyjnej analizy FMEA, w tym jej silną zależność od wiedzy i doświadczenia użytkowników, subiektywność ocen oraz wykorzystanie języka naturalnego przy definiowaniu wskaźników. Autorka wskazuje na problemy związane z niejednoznacznymi wynikami, które utrudniają standaryzację procesu oceny ryzyka w różnych zastosowaniach. Dodatkowo rozdział omawia alternatywne podejścia, które są obecnie stosowane w przemyśle oraz znormalizowane przez międzynarodowe normy, w celu przezwyciężenia tych niedoskonałości.

Rozdział 4 opisuje metody i narzędzia zastosowane w badaniu oraz szczegółowe procedury związane z weryfikacją tradycyjnej analizy FMEA i proponowaną modyfikacją tej metody. Rozdział rozpoczynają badania ankietowe przeprowadzone wśród ekspertów z zakresu hydrauliki siłowej, mające na celu potwierdzenie głównych ograniczeń klasycznej analizy FMEA, takich jak subiektywizm oceny oraz trudności w precyzyjnym określaniu kryteriów dla wskaźników krytyczności. W dalszej części rozdziału autorka przedstawia szczegóły zmodyfikowanej metody FMEA, która wprowadza dodatkowy wskaźnik kosztów jako element oceny ryzyka, co rozszerza tradycyjne podejście i nadaje analizie bardziej wymierny charakter. Rozdział zawiera także klasyfikację składników systemu oraz potencjalnych wad, co umożliwia określenie, które z wad mogą prowadzić do utraty zdolności realizacji funkcji przez analizowany system.

Rozdział 5 pracy jest poświęcony praktycznemu zastosowaniu zmodyfikowanej analizy FMEA na przykładzie układu hydraulicznego stosowanego w turbinach wiatrowych. Rozdział rozpoczyna się szczegółowym opisem analizowanego układu, w tym jego schematu oraz kluczowych elementów, takich jak pompy, zawory i siłowniki hydrauliczne. W dalszej części rozdziału przedstawiono implementację zmodyfikowanej metody FMEA, uwzględniającej nowe wskaźniki oceny, takie jak koszt potencjalnych wad. Analiza obejmuje identyfikację typowych wad elementów układu hydraulicznego, z uwzględnieniem aspektów technicznych, takich jak zużycie, erozja i korozja elementów, co pozwala na kompleksowe spojrzenie na potencjalne problemy eksploatacyjne. Następnie autorka przeprowadza szczegółową analizę

wybranego elementu – siłownika hydraulicznego – przedstawiając kroki postępowania zgodnie z proponowaną metodyką i stosując wprowadzone zmienne wskaźnikowe. Rozdział jest dobrze zorganizowany i kompleksowo przedstawia proces analizy, jednocześnie zachowując przejrzystość w opisie technicznych szczegółów oraz uzasadnienia dla modyfikacji.

Rozdział 6 prezentuje wnioski wynikające z opracowanej modyfikacji analizy FMEA oraz jej zastosowania na przykładzie układu hydraulicznego w turbinach wiatrowych. Autorka dokonuje przeglądu najważniejszych wyników badania, koncentrując się na skuteczności nowej metody w kontekście minimalizacji problemów charakterystycznych dla klasycznej analizy FMEA, takich jak subiektywizm ocen i trudności w interpretacji wskaźników. Dzięki rozszerzeniu klasycznej metody o dodatkowy wskaźnik kosztów, nowa metoda pozwala na bardziej precyzyjne oszacowanie ryzyka związanego z wadami, co poprawia trafność i przydatność analizy w realnych warunkach przemysłowych. Rozdział podzielony jest na dwie części: wnioski utylitarne i wnioski przyszłościowe. W części utylitarnej autorka omawia zastosowanie metody w przemyśle, podkreślając, że nowy wskaźnik kosztów pozwala na lepsze uwzględnienie aspektów ekonomicznych, co może stanowić istotny czynnik dla przedsiębiorstw w podejmowaniu decyzji dotyczących prewencyjnego usuwania wad. Wnioski przyszłościowe natomiast wskazują na możliwości dalszego rozwoju metody, w tym potencjał wdrożenia systemów informatycznych wspierających analizę oraz automatyzacji procesu klasyfikacji wad i oceny ryzyka. Przejrzystość wniosków i propozycje dalszych działań badawczych świadczą o starannym przygotowaniu i przemyślanej koncepcji badawczej.

Struktura całej pracy jest dobrze przemyślana, a poszczególne elementy zostały rozmieszczone w sposób umożliwiający płynne przejście przez kolejne części rozprawy. Liczba stron (106), rysunków (32), tabel (35) i źródeł bibliograficznych (119) wskazuje na staranne przygotowanie merytoryczne i praktyczne podejście do omawianego zagadnienia.

Metodyka badań przyjęta w pracy Joanny Fabiś-Domagała, polegająca na modyfikacji klasycznej analizy FMEA poprzez wprowadzenie dodatkowego wskaźnika kosztów, jest zgodna z trendami obserwowanymi w literaturze przedmiotu. Tradycyjna analiza FMEA, choć szeroko stosowana, często podlega krytyce ze względu na subiektywizm ocen oraz brak uwzględnienia aspektów ekonomicznych. W literaturze wskazuje się na potrzebę integracji analizy FMEA z oceną kosztów, co pozwala na bardziej kompleksowe podejście do zarządzania ryzykiem.

Wprowadzenie wskaźnika kosztów w pracy odpowiada na te potrzeby, oferując bardziej obiektywną i wszechstronną ocenę ryzyka. Takie podejście jest zgodne z aktualnymi

kierunkami badań i praktykami w zakresie zarządzania jakością i niezawodnością systemów. Zastosowana metodyka w badaniu jest odpowiednia i adekwatna do zakresu oraz tematu pracy.

Wnioski pracy doktorskiej pani mgr inż. Joanny Fabiś-Domagały są poprawne i mogą stanowić wkład w rozwój teorii i praktyki związanej z jakością i niezawodnością systemów.

Za oryginalny wkład Doktorantki w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, zaliczam:

- **Opracowanie zmodyfikowanej metody analizy FMEA** – Doktorantka wprowadziła nowe podejście do tradycyjnej metody FMEA, dodając wskaźnik kosztów (C) do istniejących wskaźników ryzyka: znaczenia skutku wady (S), prawdopodobieństwa wystąpienia (O) oraz możliwości wykrycia (D). Dzięki temu metoda pozwala na bardziej kompleksową ocenę ryzyka, uwzględniającą zarówno aspekty techniczne, jak i ekonomiczne konsekwencje potencjalnych wad.
- **Minimalizacja subiektywności analizy** – Doktorantka zaproponowała systematyczne zależności przyczynowo-skutkowe między wadami a składnikami systemów technicznych, co pozwala zmniejszyć zależność wyników od poziomu wiedzy i doświadczenia użytkowników. Taka modyfikacja prowadzi do bardziej obiektywnych i powtarzalnych wyników analizy ryzyka.
- **Praktyczna implementacja** na przykładzie układu hydraulicznego w turbinach wiatrowych. Doktorantka zweryfikowała skuteczność zmodyfikowanej metody FMEA, stosując ją do analizy układu hydraulicznego w turbinach wiatrowych. Ta implementacja dowodzi wartości aplikacyjnej metody i potwierdza jej przydatność w realnych warunkach przemysłowych.

### 3. Uwagi krytyczne

Rozprawa doktorska pani mgr inż. Joanny Fabiś-Domagały zawiera w mojej opinii pewne niedociągnięcia, które jednak nie zmieniają pozytywnej oceny całej pracy:

- Modyfikacja analizy FMEA opracowana przez Doktorantkę, choć skuteczna dla układów hydraulicznych, może nie być wystarczająco elastyczna do wdrożenia w innych rodzajach systemów technicznych bez dalszej adaptacji.
- W celu wyeliminowania subiektywności Doktorantka wprowadziła wskaźnik kosztów, jednak wskaźnik prawdopodobieństwa wystąpienia wady jest nadal określany subiektywnie. W literaturze sugeruje się możliwość obiektywizacji tego parametru poprzez zastosowanie danych statystycznych lub sztucznej inteligencji co ma na celu zmniejszenie subiektywności wskaźnika prawdopodobieństwa. Czy Doktorantka rozważała w ogóle taką możliwość?

- W pracy nie wykorzystano szeroko dostępnych danych niezawodności podobnych systemów, co mogłoby dodatkowo zwiększyć precyzję analizy, zwłaszcza przy subiektywnych ocenach prawdopodobieństwa.
- Włączenie wskaźnika kosztów jest wartościowym uzupełnieniem, lecz praca nie przedstawia kompleksowej analizy ekonomicznych korzyści wynikających z wdrożenia zmodyfikowanej metody, co ogranicza ocenę wartości praktycznej tej modyfikacji. W pracy brakuje pełnej walidacji ekonomicznej efektywności.
- Doktoranta podeszła dość bezkrytycznie do wyzwań przy wdrożeniu zmodyfikowanej metody FMEA, które mogą się pojawić przy jej stosowaniu w nowo projektowanych systemach, dla których brakuje danych historycznych, co może wpływać na wiarygodność analizy.
- W pracy brakuje w mojej opinii szczegółowej analizy porównawczej zaproponowanej modyfikacji z innymi istniejącymi modyfikacjami FMEA, co utrudnia pełną ocenę jej wartości w kontekście współczesnych narzędzi analizy ryzyka.

Doktorantka powinna przedstawić swoje stanowisko w odniesieniu do następujących zagadnień:

- Jakie działania zostały podjęte, aby zminimalizować subiektywność oceny wskaźnika prawdopodobieństwa wystąpienia wad, czy rozważała Pani możliwość zastosowania danych statystycznych lub algorytmów uczenia maszynowego w tym celu?
- Czy w procesie badawczym analizowała Pani również inne zmodyfikowane wersje metody FMEA? Jeśli tak, to co zdecydowało o wyborze zaproponowanego przez Panią podejścia?
- Jakie są największe wyzwania związane z praktycznym wdrożeniem proponowanej modyfikacji FMEA w różnych środowiskach przemysłowych, szczególnie tam, gdzie może brakować zespołów o wysokim poziomie specjalizacji?
- Czy przewiduje Pani możliwość dalszego rozszerzenia metody o dodatkowe wskaźniki ryzyka lub integrację ze współczesnymi systemami wspomaganie decyzji, takimi jak systemy oparte na sztucznej inteligencji?
- Czy przeprowadzono analizę ekonomicznych korzyści płynących z wdrożenia zmodyfikowanej metody FMEA w porównaniu do klasycznej wersji? Jeśli tak, to jakie wyniki uzyskano w zakresie kosztów związanych z prewencyjnym usuwaniem wad?

#### **4. Konkluzja końcowa**

Ja, niżej podpisany stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Fabiś-Domagały spełnia warunki określone w Art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz.U. z 2017 r. poz. 1789) i **wniosuję do Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej o dopuszczenie mgr inż. Joanny Fabiś-Domagały do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.**

11/11/2024

.....  
data sporządzenia recenzji

.....  
podpis recenzenta