



Prof. dr hab. inż. Andrzej Pacana

Rzeszów, 11.11.2024 r.

Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji  
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa  
Politechnika Rzeszowska  
e-mail: [app@prz.edu.pl](mailto:app@prz.edu.pl)

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny Fabiś-Domagały**

**pt.: Zmodyfikowana analiza FMEA na przykładzie układów hydraulicznych**

### 1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny Fabiś-Domagały na temat „Zmodyfikowana analiza FMEA na przykładzie układów hydraulicznych” przygotowano na podstawie uchwały Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej z dnia 16.10.2024 r., pismo M.00-14/2024 z dn. 17.10.2024 roku wystosował Dziekan Wydziału Mechanicznego prof. dr hab. inż. Jerzy A. Sładek.

### 2. Ogólna charakterystyka zawartości rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż., Joanny Fabiś-Domagały powstała pod kierunkiem Pana dr. hab. inż. Jacka Pietraszka, prof. PK, pełniącego w przewodzie doktorskim obowiązki promotora.

Praca liczy łącznie 106 stron. Składa się ona z 7 zasadniczych rozdziałów, w tym wprowadzenia i zakończenia. W zasadniczej części pracy zamieszczono 32 rysunki oraz 35 tabel. Uzupełnieniem pracy są również spisy tabel i rysunków. Spis literatury obejmuje 119 pozycji reprezentatywnych dla tematu dysertacji, w tym, pomijając strony www (14), ok 90% pozycji w języku angielskim.





Analizując strukturę pracy uwidocznioną w spisie treści daje się odczuć panowanie Doktorantki nad prezentowaną materią teoretyczną i empiryczną. Stąd też strukturę rozprawy doktorskiej uznaję za poprawną i akceptowalną.

W kwestii tematyki praca poświęcona jest zagadnieniu w pełni aktualnemu, wpisując się w prowadzone w szeregu ośrodkach krajowych i zagranicznych badania związane z doskonaleniem jakości w oparciu o strategię zapobiegania występowaniu błędów. W działaniach tych wykorzystywane są różne instrumenty. Jednak niewątpliwie poczesne miejsce wśród nich zajmuje metoda FMEA (ang. Failure mode and effects analysis). Niekiedy FMEA znana jest też pod innymi nazwami: FMECA (Failure Mode and Criticality Analysis) i AMDEC (Analys des Modes de Defaillance et Leurs Effets). Metoda ta ma na celu zapobieganie skutkom wad, które mogą wystąpić przede wszystkim w fazie projektowania. Mimo, że metodę FMEA opracowano w latach 60 XX wieku w USA, a programy NASA wykorzystywały ją w zakończonych projektach Apollo, Viking, Voyager, Magellan, Galileo, czy Skylab, to do dnia dzisiejszego stosuje się ją z powodzeniem w wielu obszarach działalności człowieka. Metoda ze względu na swoją popularność, doczekała się kilku odmian, np.: FMECA oznacza "Failure Mode, Effects and Criticality Analysis". To analiza ryzyka. FMEDA to "Failure Mode, Effects and Diagnostics Analysis". Ta metoda ma zastosowanie głównie w projektowaniu urządzeń, które muszą spełniać wymagania związane z bezpieczeństwem. D-FMEA (Design FMEA) to analiza ryzyka oceniająca konstrukcję produktu, w której ocenia się konkretny projekt. C-FMEA (Concept FMEA) to uproszczona analiza D-FMEA. S-FMEA (System FMEA) to inaczej D-FMEA na poziomie całego produktu (lub podsystemu). FMEA-MSR (Monitoring and System Response); to uzupełnienie typowej analizy D-FMEA o aspekty związane z funkcjonowaniem wyrobu. M-FMEA (Machine FMEA) to metoda związana z projektem maszyny. P-FMEA (Process FMEA) to analiza stosowana do oceny ryzyka w procesie produkcji. L-FMEA (Logistic FMEA), to analiza P-FMEA dla procesów logistycznych. R-FMEA (Reverse FMEA) to przegląd oraz aktualizacja istniejącego P-FMEA na podstawie fizycznego przeglądu procesu bezpośrednio na linii. Można oczywiście spotkać szereg innych akronimów związanych z FMEA takich jak: SW-FMEA (software FMEA), Interface-FMEA, Service-FMEA itd. Bogactwo zastosowań dowodzi, że we współczesnym przemyśle prowadzone są liczne prace mające na celu wykorzystać zalety metody FMEA w konkretnym,





specyficznym środowisku. W te prace wkomponowuje się przedstawiona do recenzji praca doktorska.

Recenzowaną pracę umownie można umownie podzielić na cztery wzajemnie się uzupełniające części:

- część pierwsza, obejmująca tezy, cel i zakres pracy (wstęp i rozdział 2).
- część druga, obejmująca przegląd literatury (rozdział 3) związany z dysertacją,
- część trzecia obejmująca metodykę i technikę pracy własnej (rozdział 4),
- część czwarta zawierająca test pokazujący możliwość wykorzystania zmodyfikowanej autorsko metody FMEA (rozdział 5).

Struktura pracy jest ogólnie poprawna. Strona formalna – zasadniczo właściwa. Praca napisana jest dobrym językiem naukowo-technicznym.

### **3. Ocena wyboru tematu pracy, jej zakresu, celów i metod badawczych**

Tematyka rozprawy doktorskiej pt. Zmodyfikowana analiza FMEA na przykładzie układów hydraulicznych jest istotna zarówno z naukowego jak i praktycznego punktu widzenia. Poznawcze znaczenie, to pozyskanie nowej wiedzy przy wykorzystaniu metod i technik matematycznych, która pozwoliła na opracowanie oryginalnej odmiany metody FMEA. Zadanie to nie było łatwe, min ze względu na długi okres stosowania metody i powiązany z tym dostępny duży zbiór opracowanych wcześniej odmian tej metody. Dlatego też podjęcie realizacji tematu pracy doktorskiej z tego zakresu przez mgr inż. Joanny Fabiś-Domagały jest bardzo cenne. Praktyczne znaczenie tej pracy to zwalidowana w warunkach rzeczywistych metoda FMEA. Test metody przeprowadzono na siłowniku hydraulicznym. Uzyskane wyniki potwierdzają, że zaprezentowana oryginalną metodę FMEA można wykorzystać do doskonalenia procesów i produktów w organizacjach, ponieważ w podejściu tradycyjnym wyznaczanie wskaźników krytyczności: znaczenia wady, przewidywanego prawdopodobieństwa jej wystąpienia oraz możliwości jej wykrycia nie jest oczywiste i łatwe, więc przeprowadzenie takich badań było celowe i uzasadnione. Tym bardziej, że uzupełniono tradycyjne wskaźniki ryzyka o wskaźnik kosztów związanych z konsekwencjami wystąpienia potencjalnej wady. Reasumując, zaprezentowana praca dowodzi, że to złożone zagadnienie zostało rozpoznane i uporządkowane.





Celem pracy było opracowanie modyfikacji analizy FMEA, która pozwala na zminimalizowanie problemów występujących w tradycyjnej wersji metody, związanych występowaniem czynnika ludzkiego oraz brakiem jednolitej metodyki

Sformułowano 3 tezy:

Teza 1 - Wrażliwość klasycznej metody FMEA względem poziomu wiedzy i doświadczenia użytkowników może być zmniejszona poprzez usystematyzowania związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy potencjalnymi wadami i elementami systemu.

Teza 2 - Podstawowe czynniki oceny ryzyka: ważność skutków potencjalnej wady (S), częstość wystąpienia wady (O), możliwość wykrycia wady (D) nie spełniają wyzwań współczesnego świata i powinny być uzupełnione o czynniki ekonomiczne: koszt wytworzenia elementu systemu oraz potencjalnej naprawy.

Teza 3 - Tryby awarii mogą być określone na podstawie relacji pomiędzy uogólnionymi wadami a funkcjami, które elementy pełnią w układzie.

Ze względu na przyjęte tezy i cele pracy, zakres realizacji pracy obejmował:

1. Analizę metod jakościowych stosowanych w praktyce w celu zwiększenia niezawodności wyrobów i procesów technicznych, w tym w szczególności metodę FMEA.
2. Analizę literatury z zakresu narzędzi i metod stosowanych w celu wyeliminowania wad tradycyjnej analizy FMEA.
3. Opracowanie spójnej metodyki analizy FMEA z jednolitą definicją określania krytyczności potencjalnych wad.
4. Opracowanie metodyki określania ważności konsekwencji wystąpienia potencjalnych wad uwzględniającej:
  - a) określanie wskaźnika subiektywnego prawdopodobieństwa wystąpienia wady,
  - b) określanie wskaźnika związanego z możliwością wykrycia potencjalnych wad,
  - c) określenie wskaźnika związanego z określaniem kosztów pojawienia się potencjalnych wad.
5. Implementację zaproponowanej metodologii do analizy:
  - a) układu hydraulicznego,
  - b) wybranego elementu układu hydraulicznego.





Stosowana w tym celu metodyka badawcza to krytyczna analiza literatury, badania ankietowe, wywiady eksperckie, analiza statystyczna danych, opracowanie zmodyfikowanej odmiany FMEA oraz testowe studium przypadku.

Pozytywnie oceniam fakt, że Doktorantka podjęła się tak złożonego i aktualnego problemu, zajmując się w rozprawie modyfikacją znanej metody FMEA mając na celu zmniejszenie wrażliwości metody względem poziomu wiedzy i doświadczenia użytkowników oraz konwersji analizy jakościowej na ilościową. Jak już zaznaczyłem, zagadnienie jest złożone, a jego analiza kłopotliwa i trudna. Jednocześnie należy podkreślić, że podjęcie badań w tym temacie jest ważne nie tylko ze względu na znaczenie poznawcze, ale może nawet przede wszystkim - użytkitarne.

Stąd też wynika moja pozytywna ocena zarówno tematu, sformułowania celów, tez i zakresu badań podjętych przez Doktorantkę.

#### **4. Ogólne omówienie elementów pracy**

Poszczególne rozdziały dysertacji omawiam w sposób bardzo syntetyczny, formułując oceny cząstkowe składające się na finalną ocenę merytoryczną pracy.

Numerowane rozdziały pracy poprzedza wykaz oznaczeń oraz terminy używane w pracy. Wprowadzenie tych elementów pozytywnie świadczy o dojrzałości w prowadzeniu badań jak i prezentowaniu wyników tych badań.

Rozdział pierwszy to wstęp ( s. 7). Jest to udane wprowadzenie w tematykę omawianą w pracy doktorskiej.

W rozdziale drugim (s. 9-13) przedstawiono w przekonujący sposób uzasadnienie podjęcia tematu pracy oraz cel pracy, tezy i zakres pracy

W rozdziale trzecim (s. 13-29) przedstawiono podstawy tradycyjnej analizy FMEA, jej typowe wady i zalety. Przedstawiono również inne jakościowe metody wspomagające analizę FMEA. Mimo niewielkiej objętości tego rozdziału Autorce udało się zawsze większość istotnych z punktu dysertacji informacji .

Rozdział czwarty (s. 29-51) przedstawia metody i narzędzia wykorzystane w pracy. To kluczowy rozdział obejmujący rozważania związane z realizacją celów dysertacji.

W rozdziale piątym (s. 51-92) przedstawiono propozycję modyfikacji analizy FMEA wraz z podstawowymi założeniami, możliwościami oraz zakresem stosowalności. Rozdział ten to





implementacja opracowanej metody dla układu hydraulicznego stosowanego w turbinach wiatrowych. W rozdziale tym przedstawiono analizę FMEA całego układu oraz jej wybranego elementu: siłownika hydraulicznego.

Rozdział szósty (s. 92-95) to rozdział będący podsumowaniem pracy, w którym zawarto również wnioski z pracy.

Bibliografia, spisy i streszczenia kończą pracę to starannie przygotowane zbiory danych i informacji, które uzupełniają treści zawarte w pracy.

W wyniku przeprowadzonych przez Doktorantkę badań, cele pracy zostały osiągnięte. Opracowany model umożliwia gromadzenie, przetwarzanie i wykorzystanie w praktyce oryginalnie zmodyfikowanej metody FMEA.

## **5. Ocena rozprawy doktorskiej**

### **a. Wyszczególnienie głównych osiągnięć**

Za oryginalne osiągnięcia Doktorantki uważam opracowanie:

- zmodyfikowanej metody FMEA mającą na celu zmniejszenie wrażliwości metody względem poziomu wiedzy i doświadczenia użytkowników oraz konwersji analizy jakościowej na ilościową.
- jednolita definicja krytyczności wad umożliwiająca bardziej obiektywne porównywanie różnych potencjalnych wad,
- uwzględnienie dodatkowych czynników poprzez wprowadzenie nowych wskaźników, takich jak koszty związane z wystąpieniem wady pozwala na bardziej kompleksową ocenę ryzyka,
- zastosowanie analizy przyczynowo-skutkowej, co pozwala na lepsze zrozumienie mechanizmów powstawania wad i skuteczniejsze opracowanie działań zapobiegawczych.
- arkusza kalkulacyjnego opracowanego na potrzeby nowej metody FMEA.

### **b. Uwagi krytyczne w tym uwagi dotyczące redakcji rozprawy**

Uważam, że rozprawa została napisana stosunkowo zwięźle, klarownie i logicznie. Układ pracy jest prawidłowy, a kolejność rozdziałów nie budzi zastrzeżeń. Język użyty w pracy jest prawidłowy i tylko w niewielu miejscach wymaga korekty. Doktorantka nie ustrzegła się jednak drobnych usterek o różnym charakterze, w tym redakcyjnych, stylistycznych. W tekście występują





nieliczne: błędy literowe, błędy gramatyczne, skróty myślowe i niekiedy – mało precyzyjny opis.

Wybrane uwagi krytyczne:

- Str. 9. Po tytule podrozdziału należało napisać chociaż jedno zdanie wprowadzenia z dwukropkiem na końcu, a następnie dopiero prezentować tezę pracy. Tak uczyniono w kolejnym podrozdziale (2.3).
- Str. 10. Podrozdziału 2.3 nie powinno kończyć wyliczenie. Należało dopisać akapit podsumowania. Błąd ten pojawia się również na innych stronach pracy.
- Str. 13. Brak powołania na rysunek w tekście przed tym rysunkiem (rys. 1, rys. 6, rys. 17, itd.).
- Str. 21. Obserwując rys. 4 oraz czytając jego opis można odnieść wrażenie, że na każde pytanie dostaje się jedną odpowiedź. Najczęściej jednak tak nie jest. To dlaczego umieszcza się jedną? Czym ona się charakteryzuje? Dla pokazania pełnej metodyki można było dodać to uzupełnienie.
- Str.24. Wspominając o normie ISO 31000 warto było wymienić również inne standardy w zakresie zarządzania ryzykiem, np.:
  - ISO 22301 System zarządzania ciągłością działania,
  - ISO 19600 Zgodność systemów zarządzania – Wytyczne,
  - ISO/ IEC TR 13335-1 (PN-I-13335-1) - Technika informatyczna - Wytyczne do zarządzania bezpieczeństwem systemów informatycznych - Pojęcia i modele bezpieczeństwa systemów informatycznych,
  - Standard zarządzania ryzykiem FERMA 2002 - dyrektywa organizacji Federation Of European Risk Management Associations.,
  - Zarządzanie ryzykiem korporacyjnym –zintegrowana struktura ramowa, COSO 2004, czy
  - PKN-ISO Guide 73:2012 Zarządzanie ryzykiem – Terminologia, ponieważ nie ma jednego uniwersalnego modelu zarządzania ryzykiem ani modelu wdrażania systemu zarządzania ryzykiem.
- Str. 29. Zastanawiające jest dlaczego ankietę, która została przesłana drogą elektroniczną do wytypowanych ekspertów, skierowano tylko ekspertów z zakresu napędów i





- układów hydraulicznych? Takie rozwiązanie wskazanym byłoby wyjaśnić, gdyż uzyskane wyniki nie mogą w takim przypadku zostać rozciągnięte na inne obszary potencjalnego wykorzystania zmodyfikowanej metody.
- Str. 29. W mojej ocenie brak wytłumaczenia dlaczego nie można było przygotować ankiety zgodnie z zasadami konstruowania ankiet. Konsekwencją tego jest brak wyjaśnienia dlaczego ankietą objęta kilka czynności z etapu przygotowawczego oraz właściwej analizy FMEA. Co to są, cytuję „proste pytania”?
  - Str. 29. W tym miejscu można się domyślać, że ankietą jest skierowana do kadry kierowniczej w zakładach przemysłowych, a dokładnie powiązanej z napędami i układami hydraulicznymi, która to kadra ma kontakt z metodą FMEA. Trudno się zgodzić z twierdzeniem, że odpowiedzi wymagały od respondentów wysiłku intelektualnego, gdyż należy zakładać, że dobrani ekspercko respondenci na bardzo wysokim poziomie opanowali teorię i praktykę FMEA.
  - Str. 39. Ilu było respondentów w badaniu ankietowym? Ponieważ był to dobór ekspercki respondentów to zwrotność na poziomie 10% jest zastanawiająca i można było dodać wyjaśnienie tego faktu.
  - Str.34. Z przedstawionych wyników ankiety wynika, że na pytania odpowiadali pracownicy tj.. kierownicy (indywidualnie). Nie wyjaśniono dlaczego? Przecież FMEA jest metodą pracy zespołowej. Teoretycznie zespół wie więcej, popełnia też mniej błędów. Dlatego takie badania celowym byłoby powtórzyć w przyszłości na zespołach.
  - Str. 38. Podrozdział wskazanym byłoby zakończyć podsumowaniem a nie wzorem (np. 9).
  - Str. 51. W pracy brak informacji dlaczego zdecydowano się na FMEA układu hydraulicznego wykorzystywanego w turbinach wiatrowych?
  - Str.79. Tab. 26 można było przenieść do załączników lub/i powiększyć czcionkę, aby była czytelna. Analogiczna sytuacja jest z tab. 29 i 32.
  - Str.94. Wnioski odnoszą się do systemów mechanicznych a analiza prowadzona była tylko dla układów hydraulicznych. Można było dokonać ustosunkowania się do tej kwestii.







- W literaturze (str. 97 ) Pojawia się niezamierzony tekst „brak miejsca”, str. 98 „brak nazwiska” itp.

Pozostałe spostrzeżenia przekazałem bezpośrednio Autorce.

Reasumując, pragnę jednoznacznie stwierdzić, że mimo tych drobnych niedociągnięć nie mam żadnych wątpliwości co do tego, że Doktorantka prawidłowo zrealizowała zamierzony cel pracy i udowodniła postawioną tezę. Nie mam również wątpliwości, że oceniana praca jest udanym eksperymentem badawczym, zrealizowanym na dobrym poziomie merytorycznym, a omawiany w niej problem ma duże znaczenie poznawcze jak i utylitarne. Tym samym chcę zaznaczyć, że wymienione powyżej uwagi nie umniejszają mojej wysokiej oceny dysertacji.

## **6. Pytania do Doktorantki**

Wnikliwa lektura pracy nasunęła mi następujące pytania:

1. Dlaczego zdecydowano się na wybór ekspertów z branży układów hydraulicznych?
2. Jak przebiegały badania pilotażowe?
3. Czy jakieś przedsiębiorstwo w praktyce testowało opracowaną przez Panią zmodyfikowaną metodę FMEA?

## **7. Wniosek końcowy**

Uważam, że zarówno zakres pracy, jak również metoda opracowania i przedstawienia problemu są właściwie ujęte i odpowiednio dobrane. Przedstawienie w pracy doktorskiej, tak szerokiego zakresu materiału wymagało od Doktorantki dobrej znajomości problemów związanych z zapobieganiem błędom. Na tej podstawie uważam, że otrzymane wyniki pracy stanowią samodzielne rozwiązanie problemu naukowego a rozprawa świadczy o ogólnej wiedzy Doktorantki w zakresie inżynierii mechanicznej (inżynierii produkcji).

Reasumując, stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Fabiś-Domagały pt. ”Zmodyfikowana analiza FMEA na przykładzie układów hydraulicznych” spełnia stawiane rozprawom doktorskim warunki określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r., nr 65, poz. 565; z późn. zm.). Zawiera bowiem oryginalne rozwiązanie zagadnienia



naukowego oraz dowodzi odpowiedniej wiedzy Doktorantki, wykazując Jej umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

**Wnioskuje do Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanna Fabiś-Domagąły na temat: „Zmodyfikowana analiza FMEA na przykładzie układów hydraulicznych” i dopuszczenie jej do publicznej obrony w dyscyplinie naukowej inżynierii mechanicznej (inżynieria produkcji).**

*Andrzej Pacom*

