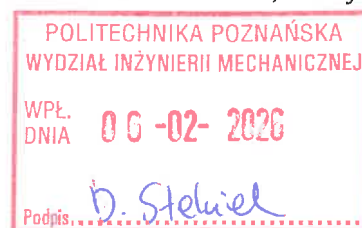


Zielona Góra, 30 stycznia 2026

Prof. dr hab. inż. Justyna Patalas-Maliszewska
Instytut Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytet Zielonogórski
E-mail: J.Patalas-Maliszewska@iim.uz.zgora.pl



Recenzja

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Wojciecha Majewskiego
pt.: „Badanie i modelowanie procesów technologicznych opon na maszynach VMI MAXX w celu
uzyskania określonych wyników jednorodności”.

Promotor: dr hab. inż. Ewa Dostatni, prof. PP
Promotor pomocniczy: dr inż. Jacek Diakun

Recenzję wykonano na podstawie pisma nr DIM.075.286.2025 Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, pana dr hab. inż. Bartosza Gapińskiego, prof. PP, zgodnie z uchwałą nr 10/III/11/2025 Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej, w której moja osoba została wyznaczona na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Wojciecha Majewskiego pt.: „Badanie i modelowanie procesów technologicznych opon na maszynach VMI MAXX w celu uzyskania określonych wyników jednorodności”.

Recenzja została opracowana w perspektywie dyscypliny inżynierii mechanicznej, w której postępowanie w sprawie nadania stopnia doktora jest prowadzone.

1. Aktualność podjętego tematu badawczego

Obecnie zmiany w strategii realizowanej przez przedsiębiorstwa produkcyjne dotyczą transformacji w kierunku realizacji zrównoważonej produkcji (ZP) i jednocześnie doskonalenia jakości. Aby monitorować poziom jakości w przedsiębiorstwie, konieczne jest wdrożenie i stosowanie zaawansowanych technologii, takich jak sztuczna inteligencja czy analiza dużych zbiorów danych. Zastosowania rozwiązań sztucznej inteligencji do automatyzacji monitorowania i zarządzania procesami, czy też w kontekście podnoszenia zdolności do predykcyjnego utrzymania ruchu, na nowo zdefiniowały innowacyjność i podnoszenie efektywności realizacji procesów produkcyjnych. Z drugiej strony realizacja celów i założeń ZP jest jednak szczególnym wyzwaniem dla przemysłu motoryzacyjnego. Zastosowanie sztucznej inteligencji do monitorowania i prognozowania z jednej strony potrzeb klientów, a z drugiej poziomu jakości pozostaje aktualnym i ważnym obszarem badań. Przedsiębiorstwa prowadzą działania w kierunku podniesienia poziomu zadowolenia klientów, dostarczając im produkty i usługi, które spełniają lub przewyższają ich oczekiwania. Mimo rosnącego znaczenia kontroli jakości w procesach produkcyjnych, dostępnych jest wciąż niewiele wyników badań wspierających proces kontroli jakości i prognozowania jednorodności wyrobu gotowego w przedsiębiorstwach branży motoryzacyjnej.

W kontekście poszukiwania równowagi pomiędzy spełnieniem wymagań zgodnych z realizacją Celów Zrównoważonego Rozwoju (ang. Sustainable Development Goals), a zwiększaniem

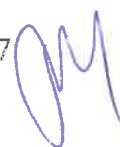
efektywności produkcji wyzwaniem jest projektowanie nowych rozwiązań, których zastosowanie pozwoli na analizę i monitorowanie parametrów jakości wyrobu gotowego. Producenci są pod coraz większą presją wdrażania praktyk przyjaznych dla środowiska, a nowe przepisy wymagają narzędzi i jasnych wytycznych wspierających organizacje w monitorowaniu i ocenie wyników ZR. Autor recenzowanej rozprawy doktorskiej poszukuje odpowiedzi na pytania badawcze dotyczące możliwości prewencyjnego monitorowania poziomu jakości gotowego wyrobu i jednocześnie podjęcia działań prowadzących do transformacji produkcji w branży motoryzacyjnej w kierunku ZR, m.in. dzięki redukcji odpadów).

We wprowadzeniu do pracy Autor podkreślił, że swoje prace badawcze osadza w obszarze działalności produkcyjnej opon w celu zachowania ich jednorodności, wskazując jednocześnie, że obecnie większość prac naukowych koncentruje się na rozwiązywaniu problemów i analizie zachowań opon w warunkach eksploatacyjnych. Natomiast podjęte przez Mgra Majewskiego prace badawcze koncentrują się na identyfikacji kluczowych elementów etapu konfekcji w procesie produkcyjnym opon oraz możliwości technologicznych maszyn, zebraniu danych i zastosowaniu sztucznej inteligencji do opracowania modelu do prognozowania możliwych defektów wyrobu końcowego. Następnie Mgr Majewski dokonał szczegółowej charakterystyki rozważanego wyrobu, tj. opon radialnych, tj. opisał funkcje opon, budowę i konstrukcję opon. W dalszej części pracy Autor przeprowadził analizę procesu produkcji opon radialnych w podziale na cztery główne etapy: przygotowanie materiałów, konfekcja opon surowych, wulkanizacja, inspekcja końcowa. Kolejna część pracy dotyczy rozwiązania problemu opracowania modelu prognozowania zachowania jednorodności wyrobu końcowego. Autor opracował katalog defektów opon oraz dokonał charakterystyki specyfikacji wymagań klienta. W rezultacie opracował procedurę rejestracji i przygotowania danych w procesie produkcji opon, dokonał eksploracyjnej analizy pozyskanych danych i zbudował model generowania w czasie rzeczywistym wartości stożkowatej opon na podstawie zasilających go danych wejściowych z procesu konfekcji.

Zatem stwierdzam, że przeprowadzona w pracy analiza zagadnień dotyczących procesu produkcji opon, narzędzi i metod analizy danych i modeli uczenia maszynowego jak i wyniki badań własnych Autora (część badawcza) pokazują trzy aktualne trendy badań w inżynierii mechanicznej, z ukierunkowaniem na inżynierię produkcji: (1) ocena produktów, technologii systemów produkcyjnych (2) digitalizacja i budowanie rozwiązań na podstawie pozyskanej i skumulowanej wiedzy inżynierskiej oraz (3) poprawa efektywności procesu produkcji. Zatem stwierdzam, że przedstawiona w pracy **tematyka jest aktualna i zgodna z kierunkami badawczymi prowadzonymi w dyscyplinie inżynieria mechaniczna**, w szczególności w obszarze inżynierii produkcji, w tematyce badań dotyczących doskonalenia technologii systemów oraz zarządzania wiedzą i oceną technologii.

2. Ocena formalna pracy oraz uwagi ogólne

Przedstawiona do recenzji praca zbudowana jest z dziewięciu rozdziałów, w tym zawiera wprowadzenie i rozdział obejmujący wnioski z pracy. Praca zawiera streszczenia pracy, zarówno w języku polskim, jak i języku angielskim. Spis literatury obejmuje 160 pozycji. Spis ten uważam za wystarczający. Układ pracy oraz sposób omówienia obszarów badawczych w poszczególnych rozdziałach jest generalnie odpowiedni, choć uważam, że rozdział dotyczący współczesnych kierunków badań opon samochodowych (rozdział 5) powinien się znaleźć zaraz po



wprowadzeniu. Ponadto brakuje wykazu najważniejszych skrótów i oznaczeń oraz spisu rysunków w pracy.

We wprowadzeniu do pracy Autor opisał wyzwania dla branży motoryzacyjnej i sformułował cel pracy badawczej dotyczący sformułowania modelu do prognozowania parametrów jednorodności wyrobu końcowego na przykładzie produkcji opon. W tej części pracy niestety nie przedstawiono motywacji do podjęcia badań własnych Autora, jak również nie przedstawiono struktury i zakresu pracy. W rozdziale drugim dokonano szczegółowej charakterystyki wybranego obiektu badawczego, tj. opony radialnej do samochodów osobowych. Rozdział trzeci to szczegółowy opis procesu produkcyjnego opon w podziale na cztery etapy: (1) przygotowanie materiałów, (2) konfekcja opon surowych, (3) wulkanizacja, (4) inspekcja końcowa. Autor bardzo rzetelnie dokonał opisu poszczególnych etapów realizacji procesu produkcyjnego. W kolejnym rozdziale pracy zaprezentowano proces kontroli jakości opon w kontekście oczekiwań klienta, uwzględnieniem metod oceny ich parametrów technicznych. Przedstawiono katalog defektów opon i dokonano ich klasyfikacji oraz scharakteryzowano pojęcie jednorodności, co uważam za bardzo ważną i istotną analizę z uwagi na podejmowany temat pracy modelowania procesów technologicznych opon w celu uzyskania określonych wyników jednorodności. Scharakteryzowano również wymagania rynku w kontekście producentów opon, jak i oczekiwań klientów analizowanego przedsiębiorstwa. W rozdziale piątym dokonano analizy literatury przedmiotu w zakresie modelowania procesu produkcji opon, następnie w obszarze inteligentnych opon oraz zastosowania sztucznej inteligencji w procesach kontroli jakości. Ponownie podkreślam, że ten rozdział pracy powinien znaleźć się po wprowadzeniu i stanowić podstawę i motywację do koncentrowania dalszych prac badawczych nad wybranym obiektem badawczym. Ponadto niedosyt budzi brak pogłębionej analizy literatury przedmiotu w zakresie stosowanych obecnie metod kontroli jakości w przemyśle motoryzacyjnym, jak również krytycznej dyskusji dotyczącej zastosowania metod i rozwiązań sztucznej inteligencji do monitorowania i predykcji jakości w przemyśle motoryzacyjnym. Rozdział szósty to analiza literatury przedmiotu w zakresie modeli sztucznej inteligencji.

W części badawczej pracy Autor sformułował w sposób bardzo czytelny cel pracy i etapy prac badawczych, jednak brakuje sformułowania problemu badawczego. Zakłada się, że opracowany model prognozowania zachowania jednorodności wyrobu końcowego umożliwi skuteczną predykcję jej stożkowatości. Rozdział siódmy stanowi oryginalne osiągnięcie w pracy, tj. w tej części pracy zaprezentowano autorski model prognozowania zachowania jednorodności wyrobu końcowego. Autor przedstawił zgodnie z planem badawczym rezultaty swoich badań, tj.: zdefiniował parametry danych opisujących poziom jakości wyrobu gotowego w podziale na pięć kategorii, następnie zgromadził dane oraz dokonał eksploracyjnej analizy danych i w rezultacie zastosował metodę regresji liniowej wielu zmiennych, perceptronu wielowarstwowego (MLP – Multilayer Perceptron) i drzewa decyzyjne. Następnie dokonano walidacji otrzymanych modeli na danych rzeczywistych. W tej części pracy brakuje pogłębionej dyskusji na temat ograniczeń w zastosowaniach poszczególnych modeli. W rozdziale ósmym dokonano implementacji opracowanego modelu do systemu informatycznego przedsiębiorstwa i maszyny VMI MAXX. W rozdziale kończącym rozprawę doktorską przedstawiono w sposób właściwy wnioski poznawcze oraz utylitarne. Ponadto sformułowano dalsze kierunki prac badawczych, pokazując aktualność podjętej tematyki badawczej.

3. Ocena merytoryczna pracy

3.1 Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej Autora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna

Merytorycznie przedstawioną pracę doktorską oceniam pozytywnie. W części teoretycznej rozprawy doktorskiej Autor wprowadził nie sformułował problemu badawczego, ale postawił cel badawczy osadzony w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, ukierunkowanej na inżynierię produkcji w obszarze digitalizacja i budowania rozwiązań na podstawie pozyskanej i skumulowanej wiedzy inżynierskiej. Można przyjąć, że uzasadnienie wyboru tematyki pracy w postaci potrzeby identyfikacji kluczowych elementów procesu konfekcji oraz możliwości technologicznych maszyn i zastosowaniu sztucznej inteligencji do opracowania modelu do prognozowania możliwych defektów jest na podstawie własnego doświadczenia w pracy w przemyśle.

W treści rozprawy doktorskiej Autor bardzo wyraźnie podkreśla swoje zainteresowania naukowe dotyczące poprawy efektywności procesu produkcji i podniesienia poziomu jakości na przykładzie wyrobu końcowego w przemyśle motoryzacyjnym. Pan Mgr Majewski poprawnie zdefiniował etapy prac badawczych i prowadzenia eksperymentów badawczych, dokonując identyfikacji kluczowych elementów procesu konfekcji, następnie doboru i charakterystyki parametrów wejściowych, a następnie eksploracji tych danych i zastosowaniu sztucznej inteligencji do opracowania modelu do prognozowania możliwych defektów.

W mojej ocenie Autor wykazał się dobrą wiedzą w obszarze monitorowania i kontroli jakości wyrobu końcowego na przykładzie opony oraz wiedzą w obszarze zastosowania metod sztucznej inteligencji. Ponadto bardzo dobrą znajomością praktycznych możliwości opracowania nowych modeli przy zastosowaniu sztucznej inteligencji wspierających monitorowanie i prognozowanie poziomu poprawy tego obszaru, w szczególności uwzględniając przy tym technologię systemów produkcyjnych oraz digitalizację i budowanie rozwiązań na podstawie pozyskanej i skumulowanej wiedzy inżynierskiej.

3.2 Oryginalność rozwiązania przedstawionego w rozprawie problemu badawczego

Można przyjąć, że podejmowany problem badawczy obejmuje poszukiwanie modelu monitorowania i prognozowania poziomu jakości wyrobu końcowego na przykładzie rzeczywistego obiektu badawczego, tj. badania procesów technologicznych opon na maszynach VMI MAXX. Zastosowanie modelu umożliwia rejestrację i przygotowanie danych w procesie produkcji, w etapie konfekcji, w czasie rzeczywistym w celu generowania wartości stożkowej opon celem uzyskania określonych wyników jednorodności. Model został zweryfikowany w na danych rzeczywistych i został zaimplementowany w systemie informatycznym użytkowanym rozważanym przedsiębiorstwie branży motoryzacyjnej.

Przedstawiony przykład z praktyki gospodarczej w pełni uzasadnia wybór tematyki badawczej pracy. Opisany bardzo szczegółowo przykład wyrobu końcowego oraz proces jego produkcji wskazuje na ważność i istotność podejmowanego problemu badawczego w pracy doktorskiej dotyczącego poszukiwania rozwiązania wspierającego uzyskanie wyników jednorodności w procesie technologicznym opon na maszynach VMI MAXX. Dane do weryfikacji opracowanego



modelu pozyskano również z rzeczywistego procesu produkcji opon. Należy podkreślić, iż starannie przygotowano opis danych, następnie proces ich przygotowania celem zastosowania metod sztucznej inteligencji. W kolejnym rozdziale pracy zaprezentowano weryfikację modelu w warunkach rzeczywistego przedsiębiorstwa.

Za oryginalne osiągnięcia w pracy, które wnoszą wkład w rozwój dyscypliny: „inżynieria mechaniczna”, w szczególności w obszarze inżynierii produkcji, z badaniami dotyczącymi doskonalenia technologii systemów w zrównoważonej produkcji oraz zarządzania wiedzą i oceną technologii, uznaje:

- Opracowanie podejścia do monitorowania i kontrolowania jakości wyrobu końcowego dla przemysłu motoryzacyjnego z uwzględnieniem wymagań klienta.
- Opracowanie modelu z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, którego zastosowanie umożliwia predykcję stożkowatości danej opony w procesie konfekcji.
- Zaimplementowanie w przedsiębiorstwie Bridgestone Poznań modelu determinującego skuteczną predykcję stożkowatości opon.
- Wykazanie użyteczności wyników badań w postaci zbudowania rozwiązania wspierającego uzyskanie wyników jednorodności w procesie technologicznym opon na maszynach VMI MAXX.

3.3 Krytyczna analiza treści rozprawy i uwagi szczegółowe

Praca wymaga wyjaśnienia następujących kwestii:

- (1) Uzasadnienia i krytycznej analizy literatury przedmiotu w zakresie stosowanych obecnie metod kontroli jakości w przemyśle motoryzacyjnym, w tym przy zastosowaniu sztucznej inteligencji.
- (2) Uzasadnienia i wyjaśnienia doboru charakterystyk determinujących skuteczną predykcję stożkowatości opon.
- (3) Zaprezentowania sposobu i algorytmów integracji opracowanego modelu z maszyną VMI MAXX nr X08 i systemem informatycznym w rzeczywistej produkcji.
- (4) Wyjaśnienia skuteczności stosowania rozwiązania wspierającego uzyskanie wyników jednorodności w procesie technologicznym opon na maszynach VMI MAXX w kontekście poprawy efektywności produkcji oraz poziomu zrównoważonej produkcji, np. wpływu na redukcję odpadów.

Uwagi szczegółowe:

- (1) W części teoretycznej pracy nie przedstawiono potrzeby podjęcia tematu opracowania modelu prognozowania defektów dla wyrobu końcowego w kontekście wspierania działalności przedsiębiorstw produkcyjnych branży motoryzacyjnej. Oczekuje się dokonania analizy literatury przedmiotu w kontekście stosowanych obecnie metod kontroli jakości, również z wykorzystaniem sztucznej inteligencji.
- (2) Zaprezentowany model oceny i prognozowania jakości opon wymaga uzasadnienia doboru kluczowych charakterystyk modelu przy zastosowaniu wiedzy eksperta dziedzinowego do prowadzenia oceny jakościowej. Dlaczego został ograniczony do danych określających średnie wartości pomiaru szerokości pierwszego, drugiego, szerokości bieżnika, przecentrowania pierwszego i drugiego opasania dedykowanego do danej opony? Ponadto proszę o wyjaśnienie, dlaczego nie uwzględniono w modelu

parametrów opisujących środowisko produkcyjne (np. wilgotność, temperatura) czy innych parametrów opisujących proces technologiczny opon na maszynach VMI MAXX, a mających potencjalnie wpływ na uzyskanie wyników jednorodności.

- (3) Jakie oprogramowanie zastosowano do eksploracyjnej analizy danych? Dlaczego przejęto następujący podział danych: 70/30 dla potrzeb analizy regresji liniowej i wielu zmiennych (a nie 80/20), dla perceptronu wielowarstwowego (MLP – Multilayer Perceptron) i drzew decyzyjnych (70/15/15)?
- (4) Czy rozważa się zastosowanie innych modeli sztucznej inteligencji niż perceptron wielowarstwowy do poszukiwania rozwiązania wspierającego uzyskanie wyników jednorodności w procesie technologicznym opon na maszynach VMI MAXX?
- (5) Proszę o uszczegółowienie sposobu integracji opracowanego modelu generującego wartości stożkowatości opon w procesie konfekcji z oprogramowaniem maszyny VMI MAXX nr X08 i systemem informatycznym.
- (6) W jaki sposób zastosowanie modelu wspierającego uzyskanie wyników jednorodności w procesie technologicznym opon może wpływać na redukcję odpadów, podniesienie poziomu efektywności produkcji?

3.4 Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Autora

Pan Mgr Wojciech Majewski przedstawił dysertację będącą wynikiem prowadzonych badań, które wnoszą wkład w rozwój dyscypliny: inżynieria mechaniczna. W mojej opinii Autor wykazał się dobrą znajomością zagadnień w inżynierii mechanicznej, w szczególności w inżynierii produkcji związanych z oceną technologii systemów produkcyjnych, budowania rozwiązań na podstawie pozyskanej i skumulowanej wiedzy inżynierskiej. Ponadto pokazał, że potrafi prowadzić samodzielnie badania naukowe, co potwierdzają osiągnięte oryginalne elementy rozprawy oraz wyniki prac implementacyjnych.

4. Uwagi redakcyjne

Praca jest napisana poprawnie, z nielicznymi usterkami stylistycznym, których przykłady zestawiono w tabeli:

Str.43	Rysunek 4.7 - objaśnienia na rysunku powinny być w języku polskim.
Str. 45	Rysunek 4.15 - objaśnienia na rysunku powinny być w języku polskim.
Str. 54	Wzory (4.1-4.2) - rekomenduję, aby wzory zostały przedstawione w tabeli.
Str. 56	Tytuł „(...) ply steer” – rekomenduję zastosowanie nazewnictwa w języku polskim” Efekt kątowy”.
Str. 59- Str. 64	Rysunki 4.20-4.25 - objaśnienia na rysunkach powinny być w języku polskim.
Str. 76	Wzory (4.3-4.4) powinny być zapisane formułą matematyczną.
Str. 100	Uproszczenie: „Uczenie maszynowe ML (ang. machine learning) to dział sztucznej inteligencji (...)”. Ponadto winno być zapisane: „Uczenie maszynowe (ML - ang. machine learning)”.
Str. 101	Na rysunku 6.1. brakuje wyjaśnienia zastosowanych skrótów (np. algorytm SVM).
Str. 123	Nieściśłość językowa: „Całość przedstawionego cyklu (...)”.
Str. 124	Wzory (6.6-6.11) - rekomenduję, aby wzory zostały przedstawione w tabeli.

Str. 154	Nieścisłość językowa: „(...) możliwość jego wdrożenia do istniejącej infrastruktury IT”.
----------	--

5. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Na podstawie wskazanych w recenzji oryginalnych osiągnięć składam wniosek końcowy dotyczący przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej Mgr Wojciecha Majewskiego pt.: „Badanie i modelowanie procesów technologicznych opon na maszynach VMI MAXX w celu uzyskania określonych wyników jednorodności” o spełnieniu warunków określonych ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r., poz. 742, z późn. zm.) w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna oraz wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej.

