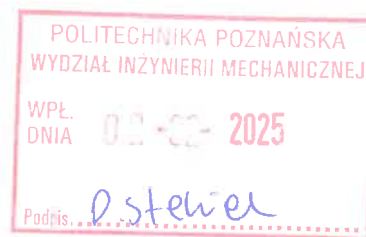


Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczny
Katedra Inżynierii Produkcji i Zarządzania
e-mail: anna.burduk@pwr.edu.pl



RECENZJA

rozprawy doktorskiej 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, profesor Politechniki Poznańskiej

Promotor pomocniczy: dr. inż. Jacek Diakun, Politechnika Poznańska

Recenzję sporządzono na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, dr. hab. inż. Bartosza Gapińskiego, prof. PP: pismo z dnia 03.12.2025 r. (Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 1 grudnia 2025 nr 10/III/11/2025)

Kryteria oceny dysertacji wynikają z przepisów zawartych w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478)

I. OGÓLNA OCENA ROZPRAWY I ZNACZENIE TEMATYKI

Recenzowana praca liczy 203 strony i składa się ze spisu treści, streszczeń w języku polskim i angielskim, wprowadzenia, 7 rozdziałów merytorycznych, wniosków oraz spisu literatury (160 pozycji). Praca napisana została w języku polskim w sposób staranny i poprawny. W pracy nie znaleziono błędów ortograficznych, gramatycznych i stylistycznych. Występują jedynie pojedyncze błędy literowe, co jednak nie wpływa na jej jakość. Tytuły poszczególnych rozdziałów odpowiadają ich zawartości. Wybór pozycji literatury jest odpowiedni, aktualny i adekwatny do podjętej tematyki rozprawy doktorskiej.

Rozprawa doktorska podejmuje jedną z kluczowych dla współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych problematykę przejścia od reaktywnego do predykcyjnego sterowania jakością w warunkach masowej, zautomatyzowanej produkcji. Opracowanie i wdrożenie modelu przewidującego w czasie rzeczywistym kluczowy parametr jednorodności wyrobu (stożkowatość opon) umożliwia wczesną identyfikację potencjalnych defektów jeszcze na etapie procesu technologicznego, a nie dopiero w inspekcji końcowej. Z perspektywy przedsiębiorstw produkcyjnych oznacza to istotne obniżenie kosztów jakości, redukcję braków, ograniczenie strat materiałowych oraz stabilizację procesu, co bezpośrednio przekłada się na wzrost efektywności operacyjnej i konkurencyjności rynkowej. Szczególnie ważne jest tu powiązanie modeli uczenia maszynowego z rzeczywistymi danymi procesowymi oraz ich integracja z maszynami produkcyjnymi (np. VMI MAXX) i systemami informatycznymi przedsiębiorstwa.

hduh

Praca wnosi istotny wkład do dyscypliny inżynieria mechaniczna w obszarze inżynierii produkcji poprzez opracowanie i weryfikację predykcyjnego modelu jakości wyrobu opartego na rzeczywistych danych procesowych. Wykazano, że klasyczne zagadnienia inżynierii mechanicznej, takie jak geometria, jednorodność, deformacje i siły działające w wyrobie, mogą być skutecznie opisywane z wykorzystaniem modeli opartych na danych. Rozprawa integruje wiedzę z zakresu budowy maszyn, mechaniki wyrobów elastycznych i technologii wytwarzania z metodami uczenia maszynowego, wskazując kierunek rozwoju badań w stronę hybrydowych systemów wspomagania decyzji. Wykorzystanie maszyn VMI MAXX z systemami monitorowania parametrów materiałowych umożliwiło analizę zależności między jakością materiałów wejściowych a jednorodnością wyrobu, prowadząc do bardziej precyzyjnego przewidywania właściwości opon i doskonalenia procesu produkcyjnego.

II. OCENA MERYTORYCZNA I UWAGI KRYTYCZNE

We **wprowadzeniu**, stanowiącym pierwszy rozdział rozprawy, Autor przedstawił uzasadnienie wyboru i aktualności podjętej problematyki wskazując na wdrożenie nowoczesnych maszyn konfekcyjnych VMI MAXX w zakładzie Bridgestone w Poznaniu oraz na możliwości wykorzystania rejestrowanych danych procesowych do predykcji jednorodności opon. Autor, identyfikuje lukę pomiędzy danymi wejściowymi procesu konfekcji a wynikami pomiarów jakościowych wyrobu gotowego, wskazując jednocześnie potencjał nowoczesnych metod uczenia maszynowego jako narzędzi umożliwiających wypełnienie tej luki. Wprowadzenie akcentuje aplikacyjny charakter badań, ukierunkowany na wsparcie procesu decyzyjnego w produkcji masowej, co wpisuje się w założenia doktoratu wdrożeniowego. Autor odnosi się również do kluczowych wyzwań przemysłu oponiarskiego, takich jak presja kosztowa, wymagania środowiskowe oraz rozwój elektromobilności, uzasadniając potrzebę poszukiwania nowych rozwiązań w obszarze jakości i jednorodności wyrobów. Wskazanie stożkowatości jako jednego z istotnych problemów jakościowych dodatkowo potwierdza oryginalność i zasadność podjętych badań.

Uwaga 1. *Wprowadzenie rozprawy jest merytorycznie poprawne i spójne, jednak miejscami ma charakter nadmiernie opisowy. Jego treść mogłaby zostać bardziej skondensowana poprzez ograniczenie ogólnych rozważań rynkowych na rzecz silniejszego wyeksponowania zasadniczego problemu badawczego.*

Uwaga 2. *Wprowadzenie nie zawiera jednoznacznej zapowiedzi struktury dalszych rozdziałów ani logiki prowadzonych badań, co mogłoby ułatwić czytelnikowi orientację w dalszej części rozprawy.*

W rozdziale **drugim** przedstawiono komponenty składowe oraz stosowane konstrukcje charakterystyczne dla opony radialnej. Natomiast w rozdziale **trzecim** scharakteryzowano proces wytwórczy tych typów opon w warunkach wielkoseryjnych.

Uwaga 3. *Obydwa rozdziały mają miejscami charakter podręcznikowy, zawierają definicje, wykazy listy elementów, długie opisy etapów procesów lub elementów wyrobu, co osłabia koncentrację na wątku badawczym i wdrożeniowym. Przykładowo bardzo szczegółowy opis budowy i podzespołów VMI MAXX mógłby zostać skrócony lub przeniesiony do załącznika, jeśli nie wszystkie elementy będą dalej wykorzystywane w analizie danych.*

Uwaga 4. *W rozdziale drugim nie wskazano wystarczająco precyzyjnie, które cechy materiałów i geometrii są krytyczne dla jednorodności i dlaczego. Natomiast w rozdziale trzecim nie wyeksponowano, jakie zmienne są rejestrowane na kolejnych etapach procesu i w jakim stopniu mogą determinować parametry jednorodności.*

hdkh

Uwaga 5. Rysunek 3.1 „Proces produkcji opon w Bridgestone Poznań” stanowi wprowadzenie do treści rozdziału i porządkuje jego strukturę, jednak z metodologicznego punktu widzenia nie stanowi klasycznego schematu procesu technologicznego. Łączy bowiem elementy operacji, zasobów oraz przepływów materiałowych, przez co ma charakter bardziej mapy systemu produkcyjnego. Doprecyzowanie charakteru rysunku lub jego uzupełnienie o schemat stricte procesowy zwiększyłoby jednoznaczność i poprawność metodyczną opisu.

Uwaga 6. Rysunek 3.1 jest bardzo uproszczony, co samo w sobie jest uzasadnione z punktu widzenia schematycznego przedstawienia zagadnienia. Jednakże stopień tego uproszczenia jest zbyt duży. w kontekście opisu procesu, a ponadto Autor nie zachowuje spójności terminologicznej pomiędzy oznaczeniami zastosowanymi na schemacie i opisem w tekście dysertacji. Przykładowo, na rysunku 3.1 zaznaczono „maszyny do produkcji opasań”, podczas gdy w opisie procesu produkcyjnego pojawia się sformułowanie: „Opasania wytwarzane są na maszynie Bexter, która pobiera drut stalowy ze szpularnika ...” (s. 18).

Rozdział **czwarty** jest najobszerniejszym rozdziałem rozprawy i liczy aż 57 stron. Obejmuje bardzo szeroki zakres zagadnień związanych z kontrolą jakości opon, poczynając od klasyfikacji defektów, przez specyfikację wymagań klienta, aż po omówienie istoty jednorodności oraz wybranych testów stacyjnych i homologacyjnych. Na pozytywną ocenę zasługuje kompleksowe ujęcie problematyki oraz powiązanie parametrów jakościowych z wymaganiami rynku i oczekiwaniami klientów OEM. Zaletą jest również wprowadzenie licznych przykładów praktycznych (m.in. fotografie defektów, odciski footprint, przekroje CSA) oraz zestawień tabelarycznych, co zwiększa walor aplikacyjny rozdziału.

Uwaga 7. Definicja oraz charakterystyka jednorodności opon zostały przedstawione dopiero w rozdziale 4.3 (s. 41), podczas gdy odwołania do tego pojęcia pojawiają się w wielu wcześniejszych fragmentach pracy. Przykładowo, na stronie 36 zaprezentowano i omówiono defekty związane z przekroczeniem limitów parametrów opisujących jednorodność. Takie późne wprowadzenie kluczowego pojęcia utrudnia spójny opis zagadnienia oraz negatywnie wpływa na czytelność i odbiór treści rozprawy.

Uwaga 8. Fragmenty poświęcone katalogowi defektów wizualnych (rozdz. 4.1), opisowi wymagań homologacyjnych (rozdz. 4.5) oraz szczegółowym procedurom badań stacyjnych (rozdz. 4.4) zajmują znaczną część rozdziału i mają głównie charakter przeglądowo-opisowy. Jednocześnie w tekście nie wskazano wprost, które z omówionych metod kontroli jakości dostarczą danych wykorzystywanych w dalszym modelowaniu procesów. W konsekwencji rozdział w ograniczonym stopniu buduje logiczne przejście pomiędzy opisem kontroli jakości a zasadniczym celem rozprawy, tj. badaniem i modelowaniem procesu technologicznego w kontekście uzyskania określonych wyników jednorodności.

Uwaga 9. W kilku miejscach rozdział odbiega od celu i tematu pracy. Szkoda, że Autor nie doprecyzował, które elementy rozdziału 4 i opisywane parametry jakościowe są kluczowe dla dalszego modelowania. W szczególności uwaga ta dotyczy opisu parametrów jednorodności (RFV, LFV, CON, RRO/LRO, balans). Brakuje również jednoznacznego powiązania parametrów jednorodności z etapami procesu na VMI MAXX.

Pytanie 1. Które z opisanych metod kontroli jakości dostarczają danych wejściowych (lub kryteriów walidacji) do modelowania procesów na maszynach VMI MAXX?

Pytanie 2. Które defekty wizualne są najczęściej konsekwencją konfekcji na VMI MAXX, a które wynikają głównie z wulkanizacji lub logistyki wewnętrznej?

haha

Uwaga 10. Podrozdział 4.1 zatytułowany „Podział defektów opon oraz sposoby ich eliminacji” koncentruje się na klasyfikacji defektów, natomiast nie zawiera opisu metod ani działań prowadzących do ich eliminacji, zgodnych z zakresem sugerowanym w tytule podrozdziału.

Uwaga 11. Dużym atutem rozdziału są zestawienia wyników badań dla zestawu opon (tabele 4.6, 4.7, 4.10, 4.11). Niestety brak jest interpretacji prezentowanych wyników. Autor częściej prezentuje procedury i zestawienia niż wyciąga wnioski w kontekście celów rozprawy. Dodanie krótkiej interpretacji różnic w uzyskanych wynikach badań podniosłoby walor poznawczy pracy.

Pytanie 3. Jakie jest uzasadnienie doboru konkretnych modeli/rozmiarów opon rozwiązzeń konkurencyjnych (Tabela 4.3)?

Uwaga 12. Rozdział czwarty zilustrowany jest licznymi przykładami zdjęć (np. rysunki 4.28 do 4.35 oraz 4.37 do 4.44). Niestety podobnie jak w uwadze 11 w tekście brakuje ich merytorycznej interpretacji, co ogranicza wartość poznawczą zaprezentowanego materiału ilustracyjnego.

Rozdział piąty stanowi przegląd wybranych, aktualnych kierunków badań nad oponami samochodowymi, obejmujący zarówno zagadnienia eksploatacyjne i logistyczne, jak i zaawansowane aspekty modelowania, pomiarów oraz sterowania. Autor omawia rozwój inteligentnych opon, zastosowanie czujników i metod uczenia maszynowego w estymacji sił, kąta znoszenia, hałasu oraz wykrywaniu defektów, a także znaczenie deformacji, temperatury i tarcia w ocenie bezpieczeństwa i dynamiki pojazdu. Szczególną uwagę poświęcono nowoczesnym metodom pomiarowym, integracji danych oraz perspektywicznym rozwiązaniom, co czyni rozdział wartościowym podsumowaniem aktualnego stanu badań w branży oponiarskiej. Rozdział kończy się wnioskiem wskazującym na potencjał wykorzystania uczenia maszynowego do predykcji stożkowatości w oparciu o dane z procesu konfekcji.

Uwaga 13. Rozdział w znacznej części ma charakter streszczeń kolejno przytaczanych publikacji. Nie wskazano kryteriów doboru analizowanych prac. Brakuje również syntetycznego podsumowania identyfikującego kluczowe luki badawcze, które jednocześnie uzasadniałoby przyjęte przez Autora podejście badawcze w dalszej części pracy.

Pytanie 4. Jakimi kryteriami Autor kierował się przy doborze publikacji włączonych do rozdziału piątego oraz jakie luki badawcze zidentyfikował na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury? Które z tych luk Autor uznaje za kluczowe z punktu widzenia celów niniejszej rozprawy?

Pytanie 5. Czy Autor analizował korelacje stożkowatości z innymi parametrami jednorodności i jakie wnioski z tego wynikają?

Pytanie 6. Jakie trendy badawcze, zdaniem Autora, mogą w najbliższych latach istotnie zmienić podejście do kontroli jakości opon?

Rozdział szósty stanowi wprowadzenie do problematyki sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego. Autor omawia podstawowe paradygmaty uczenia (nadzorowane, nienadzorowane, przez wzmacnianie), wybrane algorytmy (m.in. regresja liniowa i wielomianowa, drzewa decyzyjne wraz z metodami zespołowymi, sieci neuronowe, SVM, KNN, naiwny Bayes), a następnie przedstawia cykl życia modelu ML (od definicji problemu po monitoring) oraz metryki oceny modeli regresyjnych (MSE, RMSE, MAE, MAPE, R^2 i Adjusted R^2).

Uwaga 14. Rozdział ma w przeważającej mierze charakter podręcznikowy i nie jest dostatecznie osadzony w celach dysertacji. Przedstawiona treść przyjmuje formę ogólnego kompendium wiedzy, przy czym nie wskazano jednoznacznie, które z omawianych elementów (algorytmów, metryk oraz

Wade

etapów cyklu życia modeli) zostały faktycznie wykorzystane w badaniach własnych ani z jakich przesłanek wynikał ich wybór.

Pytanie 7. W metrykach pojawia się MAPE i R^2 . Jak Autor uzasadnia ich użycie w kontekście danych dysertacji oraz czy rozważano metryki bardziej odporne (np. MedAE, Huber, quantile loss) lub specyficzne dla zastosowania?

Rozdział siódmy przedstawia część badawczą pracy ukierunkowaną na opracowanie modelu predykcyjnego stożkowatości (CON) w oparciu o dane z procesu konfekcji na maszynie VMI MAXX. Autor opisuje sposób rejestracji zmiennych wejściowych (pomiarów szerokości wybranych komponentów i ich przecentrowania), integrację danych z wynikami jednorodności mierzonymi na TUO/Rim Flow oraz metodykę przygotowania danych. Następnie przeprowadza EDA dla dwóch zbiorów skrajnych (I i V), porównuje wybrane modele ML (regresja liniowa, MLP, XGBoost oraz modele z ML.NET), rozszerza wektor cech o PA_WIDTH_MEASURED i dokonuje walidacji rozwiązania na kolejnych zbiorach (II, III, IV, VI), wskazując finalnie XGBoost jako model do wdrożenia.

Uwaga 15. Cel i hipoteza pracy wskazują na opracowanie modelu generującego w czasie rzeczywistym wartości stożkowatości, natomiast w dalszej części rozdziału „skuteczna predykcja” jest interpretowana głównie jako zdolność rozstrzygnięcia, czy dana opona mieści się w dopuszczalnym limicie. Oznacza to w istocie dwa różne typy problemów: predykcję wartości liczbowej, właściwą dla regresji, oraz decyzję jakościową typu „w limicie / poza limitem”, charakterystyczną dla klasyfikacji. W rozdziale nie zostało dostatecznie uzasadnione, dlaczego ocena i wybór końcowego modelu opierają się przede wszystkim na miarach regresyjnych (RMSE i R^2), skoro deklarowany cel praktyczny ma charakter decyzyjny.

Pytanie 8. Czy zasadniczym zadaniem modelu jest regresja wartości CON, czy decyzja jakościowa „w limicie / poza limitem”? Jak Autor uzasadnia dobór metryk (RMSE, R^2) w kontekście deklarowanej definicji „skutecznej predykcji”?

Uwaga 16. Z opisu badań wynika, że modele porównawcze trenowano na zbiorach I i V, natomiast walidację przeprowadzono na kolejnych zbiorach. Jednocześnie informacja o ponownym podziale danych w części walidacyjnej nie pozwala jednoznacznie określić, czy oceniana była rzeczywista zdolność generalizacji modelu na nowe rozmiary opon, czy też jego dopasowanie do każdego zbioru z osobna.

Pytanie 9. Czy podczas etapu walidacji model był trenowany wyłącznie na danych ze zbioru I, a następnie testowany na zbiorach II, III, IV i VI bez ponownego uczenia, czy też procedura trenowania (z podziałem 70/15/15) była realizowana osobno dla każdego z tych zbiorów?

Pytanie 10. Na ile opracowany model można uznać za uniwersalny w odniesieniu do różnych rozmiarów opon? Czy Autor rozważał uwzględnienie w modelu dodatkowych cech opisujących rozmiar lub konstrukcję opony (np. kod produktu, wybrane parametry geometryczne) albo zastosowanie podejścia wielozadaniowego, zamiast wykorzystywania jednego modelu dla wielu różnych rozmiarów?

Pytanie 11. Jak Autor definiuje „dobry” model z punktu widzenia jego zastosowania w procesie technologicznym? Czy w pracy określono akceptowalne poziomy błędu predykcji (np. RMSE lub MAE), które umożliwiają podejmowanie wiarygodnych decyzji technologicznych, oraz w jaki sposób wartości tych metryk przekładają się na użyteczność modelu w praktyce produkcyjnej?

Rozdział ósmy prezentuje koncepcję oraz wstępne rezultaty wdrożenia opracowanego modelu uczenia maszynowego do środowiska produkcyjnego przedsiębiorstwa, w szczególności do systemu informatycznego oraz maszyn konfekcyjnych VMI MAXX. Autor opisuje zmiany organizacyjne i techniczne niezbędne do implementacji modelu, sposób jego działania w czasie rzeczywistym

oraz planowane procedury monitorowania, utrzymania i dalszego rozwoju rozwiązania. Rozdział wskazuje również potencjalne efekty wdrożenia w postaci redukcji przeróbek i złomów oraz możliwość skalowania rozwiązania na inne linie i zakłady produkcyjne.

Uwaga 17. Rozdział ma wyraźny charakter aplikacyjny i stanowi istotne dopełnienie części badawczej, jednak w kilku miejscach pozostaje na poziomie deklaratywnym. Przede wszystkim brakuje jednoznacznego, ilościowego podsumowania efektów wdrożenia – przedstawione dane mają charakter wstępny i odnoszą się głównie do prób realizowanych na maszynie testowej, bez pełnej analizy statystycznej skuteczności predykcji w warunkach produkcji ciągłej.

Uwaga 18. Rozdział mógłby zyskać na precyzji poprzez bardziej formalne powiązanie opisanych działań wdrożeniowych z metrykami jakości modelu oraz analizą ryzyka błędnych decyzji produkcyjnych. Przykładowo, nie do końca jasno zdefiniowano kryteria decyzyjne, na podstawie których model uznawany jest za wystarczająco skuteczny w zastosowaniu przemysłowym (np. relacja pomiędzy progami 70% trafnych predykcji a ryzykiem fałszywych alarmów). Pewne wątpliwości budzi także opis procedur douczania modelu i korekty hiperparametrów w trakcie eksploatacji – nie wskazano jasno, czy proces ten będzie zautomatyzowany, czy oparty na decyzjach eksperckich.

Pytanie 12. Jakie inne kryteria ilościowe będą decydowały o uznaniu wdrożonego modelu za wystarczająco skuteczny w warunkach produkcji masowej, poza deklarowanym progiem 70% poprawnych przewidywań?

Pytanie 13. Czy procedura douczania modelu i korekty hiperparametrów będzie w przyszłości zautomatyzowana, czy też każdorazowo wymagać będzie interwencji eksperta procesu?

Pytanie 14. Na ile wyniki uzyskane na maszynie testowej VMI MAXX nr X08 można uznać za reprezentatywne dla pozostałych maszyn i produkcji masowej?

Pytanie 15. W jakim stopniu decyzja ekspercka człowieka pozostaje elementem krytycznym procesu i czy możliwe jest jej stopniowe ograniczanie wraz z dalszym rozwojem modelu?

Końcowy rozdział pracy, **rozdział dziewiąty**, stanowi syntetyczne podsumowanie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników w odniesieniu do celu oraz hipotezy rozprawy. Przedstawiono w nim wnioski poznawcze, użytkowe oraz wskazano możliwe kierunki dalszych prac badawczych, podkreślając potencjał praktycznego wykorzystania zaproponowanego rozwiązania w warunkach przemysłowych.

Uwaga 19. Rozdział zyskałby na sile oddziaływania poprzez wyraźniejsze oddzielenie wniosków stricte naukowych od wdrożeniowo-organizacyjnych oraz ich bardziej syntetyczną formę.

Pytanie 16. Które z zaproponowanych kierunków dalszych badań Autor uznaje za kluczowe i planowane do realizacji w pierwszej kolejności?

Pytanie 17. Czy Autor przewiduje możliwość rozszerzenia zaproponowanego podejścia na inne wady jednorodności opon, poza stożkowatością?

III. DROBNE UWAGI EDYCYJNE

1. Praca cechuje się wyraźnym brakiem proporcji objętościowych pomiędzy poszczególnymi rozdziałami. Niektóre z nich obejmują jedynie 5,5 oraz 7 stron (rozdziały 2 i 8), podczas gdy rozdział 4 liczy aż 57 stron. Ponadto do numeracji rozdziałów włączono wprowadzenie

haha

(2 strony) oraz podsumowanie (3,5 strony), co dodatkowo zaburza równowagę objętościową pracy.

2. Rozwinięcia skrótów nazw oraz tłumaczenia terminów na język angielski pisane są czasem małą a czasem dużą literą. Np. str. 40 „Dla zerowej wartości siły bocznej pojawia się moment prostujący RAT (ang. Residual Aligning Torque)” i str. 60 „Sytuacja z momentem prostującym ply steeru PRAT (ang. plysteer residual aligning torque) ...”.
3. W pracy pojawiają się terminy, których Autor nie wyjaśnił wcześniej opisując proces produkcyjnych opon oraz ich budowę. Przykładowo na stronie 87 podczas opisów testów bieżnych opon pojawia się termin „kondycjonowanie”, który nie został nigdzie wcześniej wyjaśniony.
4. Na niektórych rysunkach (np. 4.7, 4.12, 4.22) zamieszczono oznaczenia i symbole, które nie zostały wyjaśnione ani w legendzie, ani w treści tekstu, co utrudnia ich interpretację oraz obniża czytelność rysunków.
5. Występują różnice w nazewnictwie stosowanym na schematach i rysunkach oraz w treści tekstu. Przykładowo na rys. 4.26 występuje termin „kształt korony bieżnika”, „konstrukcja” i „rzeźba bieżnika”, natomiast w opisie pod rysunkiem „kształt czoła opony”, „konstrukcja opasania” i „wzór bieżnika”.
6. W tekście występują błędy w numeracji niektórych tabel i rysunków. Przykładowo na stronie 42 zamieszczono odwołanie do tabeli 5.1, podczas gdy właściwy numer tej tabeli to 4.1. Podobnie na stronie 51 jest powołanie na rysunek 4.8, a powinno być na rysunek 4.14.
7. W rozdziale szóstym występują drobne nieścisłości językowe (np. „reinforced learning” zamiast „reinforcement learning”, literówki typu „Śodowisko”), a także uproszczenia opisów (np. ReLU nie zwraca wartości „0 i 1”, tylko wartości nieujemne; wątek funkcji aktywacji wymaga korekty).
8. Nazewnictwo stosowane w pracy jest miejscami niespójne. Przykładem jest niekonsekwentne użycie skrótów angielskich i polskich ANN (punkt 7.31) i SNN (rozdział 9. Wnioski).

IV. OCENA METODOLOGICZNA I METODYCZNA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ I WNIOSEK KOŃCOWY

Na podstawie przeprowadzonej analizy w rozprawie doktorskiej i sposobu rozwiązywania postawionych zadań badawczych, metodologiczną i metodyczną koncepcję rozprawy doktorskiej oceniam pozytywnie. W mojej ocenie rozprawa ma charakter interdyscyplinarny i nowatorski, ponieważ Autor podjął ambitne zadanie opracowania i wdrożenia modelu predykcyjnego stożkowatości opon, bazującego na pomiarach komponentów składowych realizowanych na etapie konfekcji, a więc istotnie wcześniejszym niż klasyczna kontrola końcowa. Ponadto Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością procesu technologicznego, umiejętnością krytycznej analizy danych oraz kompetencjami w zakresie doboru, trenowania i porównywania modeli uczenia maszynowego. Szczególną wartością rozprawy stanowi połączenie analizy statystycznej, metod ML oraz realnych uwarunkowań wdrożeniowych (ograniczenia sprzętowe, organizacyjne, decyzyjne). Za oryginalne i ważne pod względem naukowym oraz użytkowym rezultaty badań uznaję m.in.:



- **Identyfikację i uzasadnienie zbioru zmiennych procesowych**, mierzonych na etapie konfekcji opon, które wykazują istotny związek z parametrem jednorodności w postaci stożkowatości, zgodnie z fizycznym sensem zjawiska i rozkładem masy względem osi opony.
- **Wykazanie nieliniowego charakteru zależności** pomiędzy zmiennymi wejściowymi a stożkowatością, potwierdzone zarówno eksploracyjną analizą danych, jak i niską skutecznością klasycznych modeli regresji liniowej.
- **Kompleksowe porównanie różnych klas modeli uczenia maszynowego** (MLP, regresja liniowa, modele drzewiaste, XGBoost, rozwiązania AutoML), przeprowadzone na rzeczywistych danych przemysłowych i z użyciem jednolitej procedury oceny.
- **Wybór i uzasadnienie modelu XGBoost jako najlepszego rozwiązania** z punktu widzenia zdolności predykcyjnych, stabilności oraz możliwości zastosowania w środowisku produkcyjnym czasu rzeczywistego.
- **Walidację modelu na zbiorach danych obejmujących różne rozmiary i konstrukcje opon**, co pozwala wnioskować o jego zdolności do generalizacji w obrębie określonego spektrum produkcyjnego.

Stwierdzam, że zadania badawcze, które podjął Autor rozprawy doktorskiej uzupełniają oraz poszerzają wiedzę w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i inżynieria produkcji. Przytoczone przeze mnie uwagi w niniejszej recenzji mają charakter dyskusyjny i powinny stać się jedynie inspiracją i zachęcić Autora do prowadzenia dalszych badań.

Podsumowując, stwierdzam, że przedłożona do recenzji **praca doktorska Pana mgr inż. Wojciecha Majewskiego pt. „Badanie i modelowanie procesów technologicznych opon na maszynach VMI MAXX w celu uzyskania określonych wyników jednorodności” stanowi oryginalną pracę mieszczącą się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna (dawniej inżynieria produkcji) i spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (ustawa z dnia 14 marca 2003 r. wraz z późniejszymi zmianami, a także ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, art.185.). Tym samym uznaję, że praca może być przedmiotem publicznej obrony w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.**



Prof. dr hab. inż. Anna Burduk