

Poznań, 17.05.2026

prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski
Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych
Instytut Technologii Mechanicznej
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 3
60-965 Poznań
tel.: +48 61 6653570
e-mail: michal.wieczorowski@put.poznan.pl

Ocena rozprawy doktorskiej

**Wdrożenie koncepcji ustalenia dziedziczności technologicznej procesu wytwarzania
drugiej generacji zespolonych piast samochodowych z łożyskiem tocznym
z wykorzystaniem nowoczesnych systemów pomiarowych**

mgr. inż. Krzysztof Kuźmicki

Podstawa recenzji

Pismo dr hab. inż. Sławomira Błasiaka, prof. PŚk, Dyrektora Naukowego Dyscypliny
Inżynieria Mechaniczna MAA-511/17/2026 z dnia 23.03.2026.

1. Wprowadzenie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska podejmuje problematykę dziedziczności technologicznej w procesach wytwarzania elementów maszyn, ze szczególnym uwzględnieniem kształtowania dokładności wymiarowej w kolejnych operacjach obróbkowych. Tematyka ta wpisuje się w istotny i aktualny nurt badań z zakresu inżynierii produkcji, obejmujący zagadnienia zapewnienia jakości, stabilności procesów technologicznych oraz ich optymalizacji w warunkach przemysłowych. Wspomniane zagadnienie dziedziczności technologicznej, rozumianej jako przenoszenie i kumulacja odchyłek geometrycznych oraz wymiarowych pomiędzy kolejnymi etapami procesu wytwarzania, od wielu lat stanowi przedmiot zainteresowania za-

równie środowiska naukowego, jak i praktyki przemysłowej. W dobie rosnących wymagań jakościowych oraz dążenia do zwiększenia efektywności produkcji, problem ten nabiera szczególnego znaczenia, zwłaszcza w odniesieniu do wyrobów o wysokich wymaganiach dokładnościowych. Na tym tle podjęcie przez Autora badań ukierunkowanych na analizę rzeczywistego procesu technologicznego, z uwzględnieniem kolejnych operacji obróbkowych oraz ich wpływu na końcową jakość wyrobu, należy uznać za w pełni uzasadnione. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż rozważania te nie ograniczają się do poziomu teoretycznego, lecz zostały odniesione do konkretnego procesu produkcyjnego realizowanego w warunkach przemysłowych. Szczególnie istotne jest również to, że problematyka poruszana w pracy znajduje bezpośrednie przełożenie na zagadnienia projektowania procesów technologicznych, doboru tolerancji oraz sterowania jakością wytwarzania. W tym kontekście podejście polegające na powiązaniu analizy łańcuchów wymiarowych z rzeczywistymi danymi pomiarowymi oraz przebiegiem procesu produkcyjnego stanowi wartościowy kierunek badań, wpisujący się w współczesne tendencje integracji modelowania matematycznego z praktyką inżynierską. Praca jednocześnie bardzo dobrze wpisuje się w badania prowadzone od szeregu na Politechnice Świętokrzyskiej.

Biorąc zatem pod uwagę przedstawione uwarunkowania, podjęty temat należy uznać za istotny, aktualny oraz dobrze osadzony zarówno w obszarze badań naukowych z zakresu inżynierii produkcji, jak i w praktyce przemysłowej, w szczególności w kontekście zapewnienia jakości i stabilności procesów wytwarzania.

2. Omówienie rozprawy

Rozprawa doktorska została podzielona na 7 rozdziałów numerowanych, tworzących logicznie uporządkowaną całość, prowadzącą od zagadnień ogólnych do szczegółowej analizy badanego problemu, od analizy literatury do badań własnych oraz ich interpretacji, zwieńczonych planami na przyszłość. Manuskrypt zawiera 161 stron (147 stron pracy właściwej i 14 stron załączników). Oprócz tych rozdziałów w pracy znajdują się jeszcze części nienumerowane, a mianowicie Spis treści, Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń, Literatura, Normy, Strony internetowe, Spis rysunków, Spis tabel, Streszczenie oraz Summary, czyli streszczenie w języku angielskim oraz wspomniane już Załączniki (A, B i C). Praca ma zatem klasyczną strukturę pracy naukowej, obejmującą część teoretyczną, metodyczną oraz eksperymentalną. Struktura pracy odpowiada przyjętym standardom dla rozpraw doktorskich w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Zawartość merytoryczna pracy jest wzbogacona kolorowymi rysunkami, które wykonane zostały z należytą starannością i są w większości czytelne, choć mogłyby być trochę większe.

W rozdziale pierwszym Autor przedstawił wprowadzenie do tematyki pracy, uzasadniając wybór problemu badawczego oraz wskazując jego znaczenie zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i aplikacyjnego. Rozdział ten poprawnie wprowadza Czytelnika w problematykę rozprawy.

Rozdział drugi poświęcony został przeglądowi literatury przedmiotu, obejmującemu zagadnienia związane z dziedzicznością technologiczną, analizą łańcuchów wymiarowych oraz dokładnością procesów obróbkowych. Poruszono w nim tematykę piast łożyskowych omawiając ich kolejne generacje. Zawarty tu przegląd jest obszerny i świadczy o dobrym rozeznaniu Autora w analizowanej tematyce, choć można byłoby oczekiwać trochę szerszej, krytycznej analizy przytaczanych prac oraz wyraźniejszego wskazania luki badawczej, którą podejmuje Autor.

W rozdziale trzecim Autor przedstawił cel, tezę badawczą i sposób realizacji pracy. Jako tezę zaproponowano: *W procesie wytwarzania części maszyn występuje dziedziczność technologiczna wymiarów, której identyfikacja i wykorzystanie umożliwia optymalizację naddatków prowadzącą do poprawy jakości wyrobu i obniżenia kosztów produkcji*. Jest to niewątpliwie słuszne założenie, które w trakcie badań i opisów Autor udowodnił, choć teza ta w dużej mierze potwierdza znane w literaturze zjawiska związane z dziedzicznością technologiczną (można rozważyć jej bardziej precyzyjne ukierunkowanie, np. poprzez silniejsze zaakcentowanie aspektu ilościowego lub aplikacyjnego). Pozytywnie oceniam przyjętą metodykę rozwiązywania problemu naukowego.

Rozdział czwarty stanowi prezentację analizy konstrukcji piasty łożyskowej i modelu matematycznego dla luzu osiowego. Zamieszczono w nim podstawy teoretyczne (w tym równanie łańcucha wymiarowego i tolerancji), a także opracowany model matematyczny służący do analizy łańcucha wymiarowego i jego weryfikację. Omawiając syntezę łańcucha wymiarowego przedstawiono metody: jednakowej tolerancji, jednakowej klasy tolerancji i jednakowego wpływu. Zaprezentowane zależności zostały sformułowane w sposób uporządkowany i logiczny, a przyjęte założenia są czytelne i uzasadnione. Na podkreślenie zasługuje konsekwencja w powiązaniu rozważań teoretycznych z analizowanym procesem technologicznym.

Piąty rozdział to wprowadzenie do części eksperymentalnej pracy. Obejmuje on charakterystykę analizowanego wyrobu oraz procesu technologicznego jego wytwarzania. Przedstawiono główne etapy procesu technologicznego pierścienia zewnętrznego i wewnętrznego (kolejne operacje technologiczne), w tym m.in. kucie, toczenie, obróbkę otworów, hartowanie oraz szlifowanie, wskazując ich znaczenie dla kształtowania końcowej dokładności wyrobu.

Przeprowadzono badanie zdolności maszyn technologicznych pod kątem zapewnienia wymaganych wartości ogniw łańcucha wymiarowego uzyskując wartości C_m i C_{mk} powyżej wartości 1,67, co gwarantuje stabilność i uzyskanie wymiarów o wymaganych tolerancjach. Przeprowadzone analizy pozwoliły na identyfikację ograniczeń procesu oraz wskazanie jego newralgicznych etapów, co ma istotne znaczenie z punktu widzenia praktyki przemysłowej. Rozdział ten tworzy istotne tło dla dalszych analiz i został opracowany w sposób bardzo przejrzysty.

W rozdziale szóstym Autor zaprezentował wyniki badań eksperymentalnych oraz ich analizę. Zaprezentowano analizę opisową i badanie normalności średnicy bieżni pierścieni wewnętrznych - lewego i prawego oraz obu bieżni pierścienia zewnętrznego. Szczególną uwagę zwrócono na kształtowanie się odchylek wymiarowych w kolejnych etapach procesu oraz ich kumulację. Uzyskane wyniki wskazują na istotne rozbieżności pomiędzy założeniami projektowymi a rzeczywistymi parametrami wyrobu, co stanowi jeden z ważniejszych rezultatów pracy. W toku analiz przeprowadzono także badanie: korelacji pomiędzy zmiennymi zależnymi a niezależnymi, jednorodności wariancji przy użyciu testu Levene'a, korelacji średnic bieżni po operacjach toczenia, obróbki cieplnej i szlifowania oraz regresji liniowej pomiędzy średnicą bieżni po toczeniu i średnicą bieżni po obróbce cieplnej. Ten ostatni fragment pozwolił na sformułowanie równań modeli regresji dla lewego i prawego pierścienia wewnętrznego oraz dla prawej i lewej bieżni pierścienia zewnętrznego.

W końcowym rozdziale siódmym Autor dokonał bardzo obszernego podsumowania uzyskanych wyników oraz sformułował wnioski końcowe dotyczące dziedziczności technologicznej w procesie wytwarzania piast łożyskowych drugiej generacji. Wnioski te pozostają w zgodzie z przedstawionymi wynikami badań i stanowią logiczne domknięcie pracy. W załącznikach zawarto tabele z zestawieniem wyników pomiarów.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Przedstawioną rozprawę oceniam pod kątem jej zawartości merytorycznej i umiejętności edytorskich. Zaczynając od tego pierwszego zagadnienia należy niewątpliwie docenić wkład pracy Autora nie tylko w badania, ale także w ich interpretację i samo przygotowanie materiału badawczego. Oceniając bardziej szczegółowo, przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi spójne i dobrze przemyślane opracowanie problemu dziedziczności technologicznej w procesach wytwarzania elementów maszyn. Autor podjął się rozwiązania zagadnienia o istotnym znaczeniu zarówno poznawczym, jak i aplikacyjnym, wymagającego połączenia wiedzy z zakresu technologii maszyn, metrologii oraz analizy procesów produkcyjnych. Na szczególne podkreślenie zasługuje kompleksowość podejścia do analizowanego problemu,

obejmująca zarówno aspekty teoretyczne, jak i eksperymentalne. Autor nie ograniczył się do rozważań modelowych, lecz odniósł je do rzeczywistego procesu technologicznego, realizowanego w zakładzie przemysłowym. Takie podejście podnosi wartość pracy, zwłaszcza z punktu widzenia jej ewentualnych, potencjalnych zastosowań praktycznych.

Opracowany model łańcucha wymiarowego został przedstawiony w sposób uporządkowany i poprawny metodologicznie. Jego zastosowanie do analizy funkcjonującego procesu technologicznego pozwoliło na identyfikację mechanizmów kumulacji odchylek wymiarowych w kolejnych operacjach obróbkowych. W tym kontekście należy docenić konsekwencję Autora w łączeniu aparatu matematycznego z danymi pochodzącymi z procesu produkcyjnego. Istotnym elementem pracy są przeprowadzone badania eksperymentalne, obejmujące analizę kolejnych etapów procesu wytwarzania elementu typu piasta. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż badania te zostały wykonane w warunkach przemysłowych, co pozwoliło na uzyskanie wyników o dużej wartości poznawczej i aplikacyjnej. Ciekawe są też obserwacje dotyczące kumulacji odchylek oraz ich wpływu na końcową jakość wyrobu, w tym przypadki istotnych przekroczeń założonych tolerancji. Uzupełnieniem części badawczej jest analiza zdolności maszyn i procesów technologicznych z wykorzystaniem wskaźników statystycznych. Uzyskane wyniki umożliwiły identyfikację ograniczeń procesu oraz wskazanie jego newralgicznych etapów, co ma bezpośrednie znaczenie dla praktyki inżynierskiej, w szczególności w kontekście doskonalenia procesów produkcyjnych. Co prawda należy zauważyć, iż przedstawione w pracy podejście ma w dużej mierze charakter rozwinięcia i zastosowania znanych i stosowanych metod do konkretnego przypadku technologicznego (stopień nowości naukowej pracy nie ma zatem charakteru przełomowego), ale wartość rozprawy wynika przede wszystkim z jej kompleksowości, poprawności metodycznej oraz ścisłego powiązania z praktyką przemysłową.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy zaliczam:

- kompleksowe ujęcie problemu dziedziczności technologicznej w rzeczywistym procesie wytwarzania,
- opracowanie i zastosowanie modelu łańcucha wymiarowego w analizie istniejącego procesu przemysłowego,
- przeprowadzenie badań w warunkach produkcyjnych,
- wykazanie mechanizmów kumulacji odchylek wymiarowych oraz ich wpływu na końcową jakość wyrobu,
- zaprezentowanie obszarów w konstrukcji i technologii wymagających optymalizacji z punktu widzenia zapewnienia jakości.

Biorąc pod uwagę powyższe, należy stwierdzić, iż rozprawa stanowi wartościowe opracowanie naukowe o wyraźnym znaczeniu aplikacyjnym, a Autor wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz właściwego formułowania wniosków.

Zapoznając się z treścią manuskryptu nasunęły mi się również uwagi w stosunku do treści, zawartości i organizacji pracy, które można potraktować jako punkt wyjścia do dyskusji naukowej. Wśród takich uwag są następujące:

- 1) Praca była ukoronowaniem działań w ramach programu Doktorat Wdrożeniowy. W związku z tym byłoby dobrze poświęcić trochę miejsca opisowi wdrożenia i napisać chociaż kto był opiekunem pomocniczym ze strony podmiotu współpracującego (firmy). Przydałoby się też poświęcić trochę miejsca na przybliżenie działalności firmy, a także podać, co konkretnie jest wdrożeniem, jaki to ma wpływ na rozwój przedsiębiorstwa.
- 2) W analizie literatury pojawiają się cytowania wielu pozycji jednocześnie (np. strona 13 [11-16], [18-21]). W takich sytuacjach często warto napisać co konkretnie wnosi każda z cytowanych pozycji.
- 3) W celu pracy Autor podaje ustalenie relacji zachodzących między wymiarami, czyli dziedziczności technologicznej. To ostatnie pojęcie jest dużo szersze, co zresztą znajduje wyraz w innych częściach pracy.
- 4) Opisując 14 składników łańcucha wymiarowego (strona 36 i 37) bardzo brakuje dużego rysunku prezentującego te zagadnienia. Dzięki temu czytelnikowi łatwiej byłoby przeanalizować cały łańcuch i jego uwarunkowania.
- 5) Rysunki prezentujące histogramy i wykresy zgodności z rozkładem normalnym. Szkoda, że na części z nich histogramy mają bardzo mało klas (na przykład 3), a do tego dużo mniej niż przedziałów dla wykresów zgodności. Z tego powodu trudno odnieść oba te wykresy do siebie. Ponadto, część z histogramów i wykresów nie ma pokazanej osi odciętych, stąd nie wiadomo jakie wartości przyjęto (rys. 32, 33, 36, 41, 42). Myślę, że jest to błąd edycyjny, niemniej utrudnia on analizę danych, szczególnie że pewne dane nie wyglądają jak rozkład normalny (rys. 33).
- 6) Wspomniane rysunki prezentujące histogramy i wykresy zgodności z rozkładem normalnym to cenny element pracy, niemniej są one bardzo małe, z bardzo małą czcionką (również w załączniku C czcionka jest za mała). Na pewno można było zrobić je większe i przez to bardziej czytelne, nawet kosztem dodania kilku czy kilkunastu stron w pracy. Na przyszłość warto nie bać się dużych rysunków.

- 7) Rozdział 7.1. nie jest klasycznym podsumowaniem czy wnioskami, ale bardziej dyskusją wyników badań. Czy nie byłoby lepiej przenieść sporą część tego do rozdziału 6, a tu zostawić krótkie podsumowanie?
- 8) Zakres przeprowadzonych badań został ograniczony do jednego typu wyrobu oraz związanego z nim konkretnego procesu technologicznego. Jest to w pełni uzasadnione z punktu widzenia pracy eksperymentalnej, niemniej czy Autor ma jakieś przesłanki i przemyslenia związane z odniesieniem uzyskanych wyników do możliwości ich uogólnienia?
- 9) Prezentacja modelu matematycznego - czy Autor zastanawiał się nad jego ograniczeniami oraz wrażliwością na przyjęte założenia?
- 10) W kontekście uzyskanych wyników interesujące byłoby odniesienie do możliwości implementacji zaproponowanego podejścia w systemach wspomagania projektowania procesów technologicznych (np. CAD/CAM/CAQ). Czy Autor rozważa taką możliwość?
- 11) Na pewno ciekawe byłoby rozszerzenie analizy o aspekt ekonomiczny, związany z konsekwencjami przekroczeń tolerancji oraz potencjalnymi korzyściami wynikającymi z optymalizacji procesu. To naturalnie wykracza poza ramy pracy, ale czy jest to w dalszych planach?

Należy jednak podkreślić, iż wskazane uwagi mają charakter uzupełniający i nie wpływają na ogólną, bardzo wysoką ocenę rozprawy.

Oceniając stronę edytorską stwierdzam, że praca napisana została bardzo poprawnym językiem polskim. Jedyną drobną uwagą, nad którą warto się pochylić to występujące w pracy tzw. teksty wiszące, czyli teksty znajdujące się np. pomiędzy tytułem rozdziału głównego, a tytułem podrozdziału. Zasady edytorskie często stanowią, że przy numeracji cyfrowej wielorzędowej np. po tytule rozdziału (na przykład rozdziału 2) powinien od razu następować tytuł podrozdziału (w tym przypadku 2.1), a tuż np. po tytule podrozdziału powinien być tytuł podrozdziału kolejnego rzędu itd. Między nimi nie powinno być żadnych tekstów (zwanych wiszącymi). Teksty te to z reguły ogólne wprowadzenia do rozdziałów, omówienia czy streszczenia. Jeżeli tekst wiszący jest cennym i niezbędnym wprowadzeniem do tematu – powinien mieć numer i tytuł, natomiast jeśli zawiera ogólniki lub omówienie dalszej części rozdziału – warto zastanowić się albo nad jego usunięciem, albo nad przeniesieniem do podrozdziału.

Mam nadzieję, że przedstawione powyżej uwagi pomogą Doktorantowi w dalszej działalności naukowej i publikacyjnej. Przedstawione powyżej uwagi, czy raczej zagadnienia i pytania, nie wpływają naturalnie na ogólną bardzo dobrą ocenę całości pracy, są bardziej punktem wyjścia do dyskusji.

4. Wnioski

Podsumowując, należy stwierdzić, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Kuźmickiego pt. *Wdrożenie koncepcji ustalenia dziedziczności technologicznej procesu wytwarzania drugiej generacji zespolonych piast samochodowych z łożyskiem tocznym z wykorzystaniem nowoczesnych systemów pomiarowych*, stanowi wartościowe opracowanie naukowe, wnoszące istotny wkład w rozwój wiedzy w zakresie dziedziczności technologicznej w procesach wytwarzania elementów maszyn. Autor podjął się rozwiązania zagadnienia o istotnym znaczeniu zarówno naukowym, jak i aplikacyjnym, wykazując się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych, właściwego doboru metod badawczych oraz poprawnej interpretacji uzyskanych wyników, a także łączenia rozważań teoretycznych z analizą rzeczywistych procesów technologicznych. Na szczególne podkreślenie zasługuje kompleksowość przeprowadzonych badań, obejmujących zarówno opracowanie modelu matematycznego, jak i jego weryfikację w warunkach przemysłowych. Uzyskane wyniki mają istotną wartość poznawczą, a jednocześnie mogą znaleźć bezpośrednie zastosowanie w praktyce inżynierskiej, w szczególności w zakresie doskonalenia procesów produkcyjnych oraz zapewnienia jakości wyrobów.

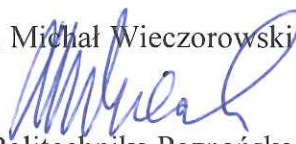
Uwzględniając przedstawione w recenzji uwagi, które mają charakter uzupełniający i nie wpływają na ogólną, wysoką ocenę pracy, należy stwierdzić, iż rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w obowiązujących przepisach. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie Autora do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Jednocześnie, pragnę zwrócić uwagę na kilka aspektów, w tym wysoki poziom merytoryczny rozprawy, przemyślany charakter przeprowadzonych badań oraz analizę uzyskanych wyników, spójność koncepcji badawczej oraz aplikacyjność uzyskanych wyników badań. Docenić należy także wnikliwą i szeroką analizę literatury przedmiotu, świadczącą o dobrej orientacji Autora w aktualnym stanie wiedzy. W ocenie recenzenta rozprawa wyróżnia się na tle typowych prac doktorskich przede wszystkim stopniem powiązania analiz teoretycznych z rzeczywistą praktyką przemysłową oraz konsekwencją w realizacji przyjętej koncepcji badawczej. Mając na względzie powyższe fakty, a także ogólny wysoki poziom opracowania rozprawy, wnoszę o jej wyróżnienie.

5. Podsumowanie

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Krzysztofa Kuźmickiego pt. *Wdrożenie koncepcji ustalenia dziedziczności technologicznej procesu wytwarzania drugiej generacji zespolonych piast samochodowych złożyskiem tocznym z wykorzystaniem nowoczesnych systemów pomiarowych*, spełnia wymagania stosownej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym, a zatem może być dopuszczona do publicznej obrony. Wnoszę też o jej wyróżnienie.

prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski



Politechnika Poznańska