

Prof. dr hab. inż. Mariusz Deja

L.dz. RD/MD/11/2026

Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
Instytut Technologii Maszyn i Materiałów
Zakład Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji

ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk
mariusz.deja@pg.edu.pl
tel.: +48 608-281-567

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Marka Gajura

Promotor: prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak, dr h.c. (multi)

Tytuł rozprawy doktorskiej:

Analiza kształtowo-wymiarowa i powierzchniowa
innowacyjnej technologii zespolonych piast
samochodowych z łożyskiem tocznym
(piasta łożyskowa tzw. HUB)

Gdańsk, maj 2026



1. Uwagi wstępne

Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo nr MAA-511/16/2026 Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej, dr. hab. inż. Sławomira Błasiaka, prof. PŚk z dnia 23 marca 2026 r. w sprawie wyznaczenia mojej osoby na recenzenta, oraz dołączony wydruk rozprawy doktorskiej. Dokumentacja została dostarczona do Kancelarii Politechniki Gdańskiej 27 marca 2026 r.

Tytuł rozprawy doktorskiej: Analiza kształtowo-wymiarowa i powierzchniowa innowacyjnej technologii zespolonych piast samochodowych z łożyskiem tocznym (piasta łożyskowa tzw. HUB).

Autor rozprawy doktorskiej: mgr inż. Marek Gajur.

Promotor: prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak, dr h.c. (multi).

2. Tematyka rozprawy

Podjęta tematyka rozprawy doktorskiej jest ważna w aspekcie naukowym oraz przemysłowym. Łożyskowanie związane z osadzaniem obracających się części maszyn jest kluczowym elementem całego układu przenoszącego ruch obrotowy, zapewniającym redukcję tarcia i ścisłe położenie elementów względem siebie. Wytwarzanie łożysk tocznych musi być przeprowadzane zgodnie z najwyższymi standardami i normami, w tym branżowymi, w celu minimalizacji ryzyka awarii w trakcie eksploatacji oraz dla zapewnienia jak najwyższej sprawności i płynności ruchu obrotowego przy jak najdłuższym okresie eksploatacji. Obecnie do łożyskowania kół pojazdów samochodowych coraz częściej stosuje się zespolone piasty łożyskowe o zwartej budowie i wysokim stopniu integracji, przy obniżonych kosztach wytwarzania.

Złożoność procesu wytwarzania łożysk, zwłaszcza zintegrowanych, związana z rygorystycznymi wymaganiami dotyczącymi tolerancji wymiarowo-kształtowej i właściwości technologicznej warstwy wierzchniej (TWW) powierzchni elementów piasty, determinuje zastosowanie określonych technologii oraz wymaga odpowiedniego podejścia przy projektowaniu tolerancji wymiarowej. Ze względu na potrzebę redukcji kosztów wytwarzania producenci coraz częściej odchodzą od zmienności całkowitej i selektywnej na rzecz zmienności częściowej, czyli tolerowania statystycznego. Metoda ta, przyjęta również przez Doktoranta, umożliwia rozszerzenie dopuszczalnych zakresów tolerancji dla poszczególnych komponentów mechanicznych oraz pozwala na probabilistyczne określenie prawidłowości montażu.

Kluczowym aspektem procesu montażu piast łożyskowych jest prawidłowe ustawienie napięcia wstępnego. Przeprowadzone przez Doktoranta analizy i badania mogą bezpośrednio pomóc w doborze wartości oraz tolerancji luzu wzdłużnego, jakie należy stosować w zespołach łożyskowych, zwłaszcza w przypadku piast łożyskowych trzeciej generacji. Dokładny przegląd literatury i ograniczone dane literaturowe dotyczące tego zagadnienia skłoniły go do realizacji badań w tym zakresie, co było całkowicie uzasadnione.

Opracowana przez Doktoranta metodyka i uzyskane wyniki, pozwoliły na wyznaczenie modeli matematycznych łańcuchów wymiarowych dla ustalenia tolerancji wykonania przyjętych wymiarów wynikowych, przy zastosowaniu zmienności częściowej. Skutkuje to możliwością zastosowania rozszerzonej tolerancji, co przekłada się na poprawę efektywności procesów wytwórczych, redukcję kosztów oraz podniesienie niezawodności eksploatacyjnej gotowych piast łożyskowych. **Potwierdza to jednoznacznie wdrożeniowy, oprócz naukowego, charakter rozprawy.** Wyniki i metodyka badań Doktoranta mogą również posłużyć jako ogólne wytyczne do rozszerzonych analiz związanych z wytwarzaniem zintegrowanych urządzeń mechanicznych.

3. Charakterystyka rozprawy

Praca wydana w formie książkowej liczy 224 strony i składa się z wykazu ważniejszych skrótów i oznaczeń, siedmiu rozdziałów głównych, wykazu literatury oraz streszczenia w j. polskim i angielskim. Po syntetycznym wprowadzeniu w **rozdziale 1.** do tematyki pracy, obejmującym przegląd konstrukcji piast łożyskowych, Autor przedstawił w **rozdziale 2.** analizę stanu wiedzy dotyczącej rodzajów łańcuchów wymiarowych i ich obliczenia oraz statystycznych metod oceny zdolności wyposażenia pomiarowego jak również zdolności maszyn i procesu. W **rozdziale 3.** Doktorant opisuje cel i tezę pracy wynikające z analizy literatury i doświadczenia przemysłowego oraz zakres i sposób realizacji badań. **Rozdział 4.** obejmuje szczegółową analizę konstrukcji piasty łożyskowej trzeciej generacji, a **Rozdział 5.** zawiera jej proces technologiczny. Badania statystyczne Doktorant przedstawił w **rozdziale 6.** Wnioski końcowe dotyczące problematyki technologii zespolonych piast samochodowych z łożyskiem tocznym oraz podsumowanie zawiera **rozdział 7.** Wykaz literatury liczy 102 pozycje literaturowe, 15 norm, 1 dokument JCGM oraz 2 strony internetowe.

Istotne informacje w aspekcie realizowanego tematu zawarte zostały szczegółowo w następujących rozdziałach:

Rozdział 1. Wprowadzenie - z prawidłowym przedstawieniem problematyki badań wraz z charakterystyką kolejnych generacji zespolonych piast łożyskowych pod kątem m. in. optymalizacji procesów montażowych oraz ograniczenia ryzyka występowania awarii w trakcie użytkowania.

Rozdział 2. Aktualny stan wiedzy – scharakteryzowany w odniesieniu do teorii i praktyki dotyczącej łańcuchów wymiarowych. Doktorant szczegółowo przedstawił procedury obliczeniowe z wykorzystaniem zasad zmienności pełnej i częściowej, przy uwzględnieniu zadanego poziomu prawdopodobieństwa spełnienia wymagań konstrukcyjnych.

Rozdział 3. Cel i sposób realizacji pracy – prawidłowo przedstawione wraz z tezą badawczą pracy wynikającą bezpośrednio z dogłębnego przeglądu literatury przedstawionego w rozdziale 1. i w rozdziale 2. Doktorant w tezie badawczej założył, że opracowanie nowej technologii wytwarzania oraz budowa modelu matematycznego łańcuchów wymiarowych umożliwi ustalenie tolerancji wykonania przyjętych wymiarów wynikowych. Natomiast zastosowanie zmienności częściowej pozwala na rozszerzenie tolerancji i zmniejszenie kosztów wytwarzania.

Rozdział 3. Warunki i metodyka badań doświadczalnych – szczegółowo opisane w odniesieniu do obiektu badań doświadczalnych, w tym materiału obrabianego, zastosowanych narzędzi ściernych, parametrów procesu, planu badań oraz stanowiska badawczego wraz z aparaturą pomiarową.

Rozdział 4. Analiza konstrukcji piasty łożyskowej trzeciej generacji – obejmująca identyfikację wszystkich wymiarów krytycznych z punktu widzenia kształtowania luzu wzdłużnego. Pozwoliła na opracowanie modelu matematycznego łańcucha wymiarowego luzu wzdłużnego, odzwierciedlającego zależności pomiędzy odchyłkami wymiarowymi poszczególnych ogniw składowych, a wartością luzu końcowego. Na podstawie równań opisujących łańcuch wymiarowy Doktorant przeprowadził obliczenia wartości dopuszczalnych tolerancji dla wariantów zmienności pełnej oraz zmienności częściowej.

Rozdział 5. Proces technologiczny zespolonej piasty łożyskowej trzeciej generacji – szczegółowo przedstawiony z opisem wymagań i technologii dla poszczególnych komponentów. Rozdział zakończony opisem linii montażowej elementów w kompletny zespół piasty łożyskowej.

Rozdział 6. Badania statystyczne – poświęcone badaniom wskaźników zdolności maszyn stosowanych w procesach obróbki ścierniej, w których uzyskiwana jest założona tolerancja. Wyniki badań stanowiły podstawę do ostatecznego określenia dopuszczalnych tolerancji dla ogniw składowych łańcucha wymiarowego badanej piasty. Doktorant zbadał również zdolności przyrządów pomiarowych,

zwłaszcza stosowanych do pomiaru wymiarów wpływających na wartość luzu wzdłużnego, a tym samym decydujących o prawidłowym napięciu wstępnym łożysk i trwałości eksploatacyjnej całego zespołu. Przedstawił również wyniki pomiarów luzu wzdłużnego w wyprodukowanych piastach. Zgodność uzyskanych wartości z wymaganiami konstrukcyjnymi i tolerancjami ustalonymi na podstawie wcześniejszych badań zweryfikowała poprawność przyjętych założeń technologicznych oraz potwierdziła zdolności procesu do spełnienia parametrów funkcjonalnych zespołu.

Rozdział 7. Wnioski końcowe – z przedstawieniem końcowych wniosków poznawczych poszerzających wiedzę na temat możliwości rozszerzenia pól tolerancji podzespołów analizowanej piasty łożyskowej wraz z określeniem dalszych kierunków badań.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Doktorant postawił na podstawie analizy literatury i badań przemysłowych cel naukowy pracy, którym było opracowanie nowej technologii wytwarzania oraz modelu matematycznego łańcuchów wymiarowych. Opracowany model miał umożliwić wyznaczenie tolerancji wykonania wymiarów wynikowych, a także opracowanie modeli dla zamienności pełnej i częściowej z analizą wpływu przyjętych rozwiązań na możliwość rozszerzenia tolerancji, co wprost przekłada się na redukcję kosztów produkcji. Przyjęty cel główny pracy zdefiniował **szereg celów szczegółowych o charakterze wdrożeniowym**, takich jak: analiza rysunku konstrukcyjnego piasty łożyskowej trzeciej generacji wytwarzanej przez F&T Kraśnik S.A. wraz z opracowaniem procesów technologicznych poszczególnych komponentów.

Teza pracy wynikająca bezpośrednio z celu głównego pracy, związana jest z opracowaniem nowej technologii wytwarzania i montażu komponentów zespołu piasty wraz z budową wyżej wspomnianego modelu matematycznego łańcuchów wymiarowych.

Badania zdolności procesowych obrabiarek, obejmujące ocenę powtarzalności i dokładności wykonania wymiarów krytycznych dla poszczególnych komponentów składowych zespolonej piasty łożyskowej pozwoliła na określenie rzeczywistych możliwości technologicznych zastosowanych maszyn oraz ich stabilności w warunkach produkcji seryjnej. Było to podstawą do ustalenia ostatecznych i **realnych do uzyskania** tolerancji ogniwi składowych wpływających na wartość luzu wzdłużnego, zapewniające utrzymanie luzu wzdłużnego piast.

W końcowym etapie pracy Doktorant przeanalizował montaż próbnej serii 50 piast łożyskowych w celu weryfikacji postawionych założeń i modelu. Analiza wyników pomiarów luzu wzdłużnego pozwoliła na potwierdzenie zasadności przyjętych założeń konstrukcyjno-technologicznych oraz na identyfikację ewentualnych obszarów wymagających dalszej optymalizacji procesu wytwarzania.

Uzyskane wyniki badań eksperymentalnych i modelowych niewątpliwie upoważniają do stwierdzenia, że cel naukowy rozprawy został osiągnięty, a w konsekwencji również cel praktyczny związany z wdrożeniem wyników badań. Upoważniają również do przyjęcia postawionej tezy naukowej, oraz potwierdzają umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta.

Pozytywnie i wysoko oceniam wiedzę teoretyczną Doktoranta w zakresie analizy konstrukcyjno-technologicznej komponentów mechanicznych o bardzo wysokich wymaganiach związanych z dokładnością wymiarowo-kształtową wraz z doбором tolerancji wymiarowej poszczególnych elementów w celu uzyskania wymaganej tolerancji wynikowej w ściśle określonych warunkach produkcyjnych. Doktorant opracował model matematyczny, który pozwolił na wyznaczenie optymalnych zakresów tolerancji wymiarowych, zapewniających spełnienie wymagań konstrukcyjnych i eksploatacyjnych przy jednoczesnej możliwości optymalizacji kosztów wytwarzania.



4

Przeprowadzone badania i analizy potwierdziły, że przy zachowaniu wymaganego poziomu zdolności produkcyjnej tolerancje poszczególnych elementów mogły zostać powiększone prawie trzykrotnie w porównaniu z wartościami początkowymi, przy realnych możliwościach technologicznych posiadanego parku maszynowego. Pozwoliło to na optymalne wykorzystanie możliwości zakupionych maszyn przy redukcji ryzyka przekroczenia dopuszczalnych odchyłek wymiarowych, bez obniżenia jakości wyrobu finalnego.

Badania i analizy przeprowadzone przez Doktoranta były konieczne w celu wyeliminowania w montażu operacji selekcji, która zawsze wiąże się ze zwiększeniem pracochłonności procesu wytwórczego oraz rozbudową linii montażowej o dodatkowe dedykowane stanowiska pomiarowe. Rozprawa przyczynia się do lepszego projektowania komponentów składowych i samego procesu montażu piast łożyskowych w określonych warunkach produkcyjnych w przedsiębiorstwie FŁT Kraśnik S.A. Obróbka wykończeniowa zwykle decyduje o końcowej jakości przedmiotu obrabianego w zakresie dokładności wymiarowo-kształtowej, chropowatości powierzchni i jej integralności. Wszystkie te elementy mają istotny wpływ na właściwości eksploatacyjne zespolonej piasty łożyskowej. **Doktorant wykazał, że tolerancja wykonania wymiarów wynikowych zależy od wielu czynników i umiejętnie te zależności powiązał w rozprawie.** Badania Doktoranta pozwoliły również na uzyskanie większej wydajności obróbki przy obniżonych kosztach produkcji.

Autor rozprawy przeprowadził wnikliwą analizę literatury kierunkowej z krytyczną dyskusją wyników badań w odniesieniu do dostępnych danych literaturowych związanych z projektowaniem łańcuchów wymiarowych oraz zarządzaniem tolerancjami.

Rozprawa doktorska niewątpliwie stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego związanego z analizą kształtowo-wymiarową i powierzchniową technologii zespolonych piast samochodowych z łożyskiem tocznym. Doktorant przyjął prawidłową metodykę badań z właściwym doбором spektrum przedmiotowego i aparatury pomiarowej wykorzystanej w badaniach. Analiza wyników eksperymentalnych i modelowych pozwoliła na wysunięcie prawidłowych wniosków końcowych.

5. Uwagi do pracy

- 5.1. Podrozdział 3.3. powinien być umieszczony na początku rozprawy, ponieważ opisuje zawartość wszystkich rozdziałów i podrozdziałów.
- 5.2. Druga część tezy badawczej stwierdzająca, że zastosowanie zamienności częściowej pozwala na rozszerzenie tolerancji i zmniejszenie kosztów wytwarzania została udowodniona przez Doktoranta. W jakich przypadkach zastosowanie zamienności częściowej mogłoby zwiększyć koszt wytwarzania?
- 5.3. Dlaczego powierzchniowe parametry chropowatości, które zawierają więcej informacji o powierzchni od parametrów liniowych, nie zostały uwzględnione w pomiarach kontrolnych komponentów składowych piasty?
- 5.4. Proces technologiczny został opracowany dla dostępnych obrabiarek i urządzeń pomiarowych. Czy Doktorant widzi celowość zastosowania innych narzędzi lub technologii do obróbki analizowanych komponentów, biorąc pod uwagę uzyskane wyniki i wymagania konstrukcyjne, jak również ciągły rozwój przemysłu narzędziowego i obrabiarkowego?
- 5.5. Obróbka ścierna stosowana w celu uzyskania założonej dokładności wymiarowo-kształtowej oraz powtarzalności parametrów geometrycznych elementów wchodzących w skład zespolonej piasty łożyskowej jest kluczowym elementem procesu technologicznego. Czy dobór parametrów obróbki poprzedzały badania wstępne? Czy charakteryzowano

czynną powierzchnię ściernicy pod kątem zmiany jej morfologii i geometrii ziaren ściernych w czasie w celu uniknięcia wad w warstwie wierzchniej przedmiotów obrabianych?

- 5.6. W ramach pracy zrealizowano montaż próbnej serii 50 sztuk piast, potwierdzając zasadność przyjętych założeń do osiągnięcia wynikowego luzu wzdłużnego piasty. Czy badane były właściwości eksploatacyjne zespolonej piasty łożyskowej po zmontowaniu?
- 5.7. Opracowana metodyka może wspierać wytwarzanie piast nowszej generacji i pokrewnych rozwiązań konstrukcyjnych. Co jest kluczowym elementem w prawidłowym zaimplementowaniu opracowanej przez Doktoranta metodyki?
- 5.8. Jakie są podstawowe ograniczenia do dalszego zaimplementowania opracowanej przez Doktoranta metodyki?

6. Uwagi edytorskie

Praca napisana została bardzo starannie pod kątem edytorskim i językowym. Rysunki i wykresy są bardzo czytelne i przedstawiają wszystkie niezbędne opisy i informacje. Występują naprawdę nieliczne błędy edytorskie i stylistyczne, np.: str. 23¹ – pomiędzy słowami konstrukcyjne i technologiczne powinien być przecinek; str. 25⁵ – podwójna spacja pomiędzy o i określonych tolerancji.

7. Uwagi końcowe

Praca napisana została w sposób zrozumiały z uwypukleniem istotnych treści. Podane uwagi mają charakter dyskusyjny i powinny być inspiracją dla Doktoranta do dalszych badań eksperymentalnych i analiz teoretycznych. Mam nadzieję, że będą pomocne przy przygotowywaniu artykułów do renomowanych czasopism naukowych. Uwagi te nie pomniejszają wysokiej wartości merytorycznej opiniowanej pracy.

8. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest wartościową pracą naukową. Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemów badawczych i rozwiązywania ich przy użyciu właściwych metod naukowych. Praca stanowi oryginalny wkład do badań i analiz **kształtowo-wymiarowych i powierzchniowych technologii zespolonych piast samochodowych z łożyskiem tocznym**. W ogólnej ocenie stwierdzam, że Pan mgr inż. Marek Gajur w pełni zrealizował zadanie badawcze będące przedmiotem rozprawy, której tematyka jest zbieżna z badaniami prowadzonymi na świecie oraz z aktualnymi wymaganiami i oczekiwaniami wielu gałęzi przemysłu maszynowego, nie tylko samochodowego.

Doktorant klarownie sformułował cel i tezę badawczą oraz osiągnął cel naukowy i praktyczny pracy na drodze prawidłowo zaplanowanych i przeprowadzonych badań eksperymentalnych i modelowych. Opracowanie procesu technologicznego zespolonej piasty łożyskowej trzeciej generacji stanowiło istotny etap rozwoju technologicznego F&T Kraśnik, ponieważ dotychczas tego typu wyrób nie był produkowany przez zakład. **Zwiększa to konkurencyjność F&T Kraśnik w skali światowej. W mojej opinii praca zasługuje na wyróżnienie z uwagi na jej nowatorski i użyteczny charakter oraz kompleksowy zakres badań i analiz. Tematyka pracy mieści się w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.**

pozytywnie oceniam przedstawioną rozprawę doktorską i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr. inż. Marka Gajura do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Na podstawie przedstawionej

 6

opinii i w świetle dostępnej i znanej mi literatury naukowej stwierdzam, że praca spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przewidziane przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy (tj. art. 187 ust. 1-3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce) i **może stanowić podstawę do nadania jej Autorowi stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.**



.....
/Mariusz Deja/

