

**LOTNICZA AKADEMIA WOJSKOWA**  
**WYDZIAŁ LOTNICTWA**  
**Katedra Nauk Ogólnokształcących**

**Prof. dr hab. Grzegorz KRÓLCZYK**  
**profesor**

ul. Dywizjonu 303 nr 35, 08-521 Dęblin  
tel. (77) +48 261 517 423  
e mail: g.krolczyk@law.mil.pl

Prof. dr hab. Grzegorz KRÓLCZYK

Opole, 01.06.2026 r.

## **Recenzja**

---

rozprawy doktorskiej mgra inż. Marka GAJURA pt.

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

Podstawą opracowania recenzji jest pismo o numerze DIM.075.289.2025 Dyrektora naukowego dyscypliny inżynieria mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej dr hab. inż. Sławomira Błasiaka z dnia 23 marca 2026 roku.

### **1 Charakterystyka rozprawy doktorskiej**

Praca doktorska koncentruje się na analizie kształtowo-wymiarowej powierzchni oraz nowej technologii wytwarzania zespolonej piasty łożyskowej trzeciej generacji, obejmującą zarówno aspekty konstrukcyjne, jak i technologiczne, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień związanych z tolerancjami wykonania oraz optymalizacją luzu wzdłużnego. Przedmiotem badań były zespolone piasty samochodowe z łożyskiem tocznym.

Recenzowana dysertacja dotyczy tematyki związanej z analizą innowacyjnych technologii wytwarzania zespolonych piast z łożyskiem tocznym. Obszar naukowy i aplikacyjny rozprawy posiada istotne znaczenie w współczesnej budowie i eksploatacji części maszyn. Dynamiczny

rozwój technik wytwarzania oraz rosnące wymagania dotyczące dokładności wykonania, trwałości eksploatacyjnej i niezawodności elementów maszyn powodują konieczność ciągłego doskonalenia zarówno konstrukcji, jak i procesów technologicznych odpowiedzialnych za ich produkcję. Zespole piasty z łożyskiem tocznym stanowią przykład wysoko obciążonych elementów maszyn, których prawidłowe funkcjonowanie uzależnione jest od zachowania bardzo wysokiej dokładności geometrycznej oraz odpowiednich parametrów warstwy wierzchniej. W praktyce inżynierskiej nawet niewielkie odchyłki kształtu, wymiarów lub parametrów powierzchni mogą prowadzić do zwiększonego zużycia elementów współpracujących, wzrostu drgań, hałasu, obniżenia trwałości zmęczeniowej oraz pogorszenia warunków pracy całego układu mechanicznego. W tym kontekście szczególne znaczenie ma opracowana przez Autora analiza umożliwiająca ocenę wpływu parametrów technologicznych na jakość wykonania części maszyn. Zastosowanie nowoczesnych metod pomiarowych i analitycznych pozwala na identyfikację źródeł błędów technologicznych, ocenę zdolności procesów produkcyjnych oraz optymalizację tolerancji wykonania przy jednoczesnym zachowaniu wymaganych właściwości użytkowych wyrobu.

Podjęta problematyka ma również istotny wymiar praktyczny i przemysłowy, gdyż właściwy dobór parametrów geometrycznych oraz kontrola jakości powierzchni umożliwiają zwiększenie efektywności procesów produkcyjnych, ograniczenie kosztów wytwarzania, poprawę powtarzalności produkcji oraz zwiększenie niezawodności eksploatacyjnej części maszyn pracujących w warunkach zmiennych obciążeń i wysokich wymagań eksploatacyjnych.

W tym kontekście Doktorant podjął się niewątpliwie ważnego przemysłowo zadania jakim są badania jakości wykonania nowoczesnych łożysk tocznych. Doktorant przedstawił analizy oparte na studium przypadku, natomiast działania w rzeczywistych warunkach charakteryzują się dużymi możliwościami, jednocześnie stawia to przed nami szereg ograniczeń. Recenzowana dysertacja, w której Autor przedstawił własne, autorskie badania i analizy mieści się w zasadniczym nurcie współczesnych kierunków interdyscyplinarnych badań inżynierskich z obszaru inżynierii mechanicznej. Liczący się w Polsce ośrodek Politechniki Świętokrzyskiej wnosi twórczy i widoczny wkład, m. in. w rozwój nauk technicznych ze szczególnym uwzględnieniem inżynierii mechanicznej. Inicjatywy i prace naukowe profesorów Politechniki Świętokrzyskiej są z powodzeniem rozwijane przez ich uczniów i są doskonale znane w środowisku zainteresowanych specjalistów, zwłaszcza metrologów. Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Marka Gajura powstała więc na starannie przygotowanym i w wysokiej kulturze utrzymywanym gruncie wcześniejszego rozpoznania merytorycznego i

metodycznego wydzielonego obszaru nauk technicznych. Doktorant w swojej rozprawie doktorskiej zajął się przede wszystkim trudną tematyką wdrożeniową. Autor przedstawił wiele analiz oraz kompleksowo opracował poszczególne elementy składowe całego projektu wdrożeniowego wykorzystując do tego nowoczesną aparaturę pomiarową i specjalistyczne zaplecze.

Wymienione wyżej okoliczności potwierdzają trafność i sensowność wyboru tematyki badawczej. Uzasadnieniem wspomnianej trafności wyboru jest nie tylko sam fakt usytuowania pracy na szerszym tle ogólnościowych badań naukowych, ale również to, że podejmowana w rozprawie doktorskiej tematyka charakteryzuje się utylitarnym charakterem.

**Strukturę rozprawy** stanowi spis treści, siedem numerowanych rozdziałów, w tym wprowadzenie, aktualny stan wiedzy, cel i tezę badawczą pracy, sposób realizacji pracy, analizę konstrukcji piasty łożyskowej trzeciej generacji, proces technologiczny zespolonej piasty, analiza statystyczna wyników badań, oraz wnioski końcowe. Układ pracy jest odpowiedni natomiast zbyt rozbudowany moim zdaniem na niepotrzebnie mniejsze podrozdziały. **Tytuł dysertacji** jest zgodny z jej treścią.

Praca składa się z siedmiu rozdziałów obejmujących zagadnienia teoretyczne, konstrukcyjne, technologiczne oraz badawcze związane z zespolonymi piastami łożyskowymi trzeciej generacji. Rozdział I „Wprowadzenie” zawiera omówienie podstawowych zagadnień związanych z tematyką pracy oraz przedstawia rozwój konstrukcji piast łożyskowych kolejnych generacji. Rozdział II „Aktualny stan wiedzy” poświęcono analizie literatury i zagadnień teoretycznych dotyczących łańcuchów wymiarowych, metod ich obliczania, zmienności całkowitej i częściowej oraz statystycznych metod oceny zdolności procesów i maszyn. W rozdziale III „Cel i sposób realizacji pracy” przedstawiono cel rozprawy, sformułowano tezę pracy oraz opisano sposób realizacji badań i analiz. Rozdział IV „Analiza konstrukcji piasty łożyskowej trzeciej generacji” obejmuje analizę konstrukcyjną zespolonej piasty łożyskowej, opracowanie modelu matematycznego łańcucha wymiarowego luzu wzdłużnego oraz analizę tolerancji z wykorzystaniem metod zmienności całkowitej i częściowej. W rozdziale V „Proces technologiczny zespolonej piasty łożyskowej trzeciej generacji” szczegółowo opisano proces technologiczny wytwarzania elementów piasty, obejmujący obróbkę tokarską, cieplną, szlifierską oraz proces montażu. Rozdział VI „Badania statystyczne” zawiera wyniki badań dotyczących zdolności przyrządów pomiarowych, maszyn oraz procesu produkcyjnego, a także analizę pomiarów luzu wzdłużnego zespolonej piasty łożyskowej. W rozdziale VII „Wnioski końcowe” przedstawiono końcowe wnioski wynikające

z przeprowadzonych badań, analiz i rozważań technologicznych. Pracę zamyka „Podsumowanie” oraz zestawienie wykorzystanej literatury.

**Wprowadzenie** napisane jest przekonująco oraz w jasny sposób. W drugim, bardzo rozbudowanym rozdziale dotyczącym **Analizy stanu wiedzy** Autor przedstawił omawianą tematykę w sposób kompleksowy i wyczerpujący temat, ten rozdział oceniam bardzo wysoko. To obszerna analiza stanu zagadnienia z zakresu podjętej tematyki. W rozdziale w którym Autor przedstawia **Cel i tezę badawczą** Autor jasno przedstawił cel wdrożeniowy, natomiast brak jest szczegółowego przedstawienia celu naukowego. Sama zaś teza pracy dotyczy opracowania modelu matematycznego łańcuchów wymiarowych, który umożliwia ustalenie tolerancji wykonania przyjętych wymiarów wynikowych. Czy istnieje możliwość niezrealizowania tak przyjętej tezy?

**Kolejną część rozprawy** przedstawiają rozdziały czwarty i piąty w których znajdują się „Analiza konstrukcji piasty łożyskowej trzeciej generacji” oraz „Proces technologiczny zespolonej piasty łożyskowej trzeciej generacji”. Do tej części mam następujące uwagi:

Str. 50. Maszyny pomiarowe nie zapewniają oceny i klasyfikacji wyrobu.

Str. 51. Co Autor miał na myśli „Pomiary elementów o relatywnie prostych kształtach”.

Str. 63. Tabela 3. Wyniki pomiarów zmiany wymiaru bieżni pierścienia wewnętrznego w wyniku ciasnego pasowania. Urządzenie pomiarowe (typowe) mają małą interakcję. Jak wiarygodne są zatem przedstawione dane? Nie do czterech miejsc po przecinku!

Str. 84. Punkt 4.7. Wnioski. Brak skwantyfikowanych danych potwierdzających wnioski.

Str. 86. Brak technologicznych procedur i danych narzędzi skrawających.

Str. 100. Pomiary twardości: dlaczego Autor wybrał HV1 a nie np. HV0,05. Jaka była głębokość warstwy utwardzonej?

**Zasadniczą część rozprawy** stanowi rozdział szósty przedstawiający wyniki badań własnych oraz ich analizę. Rozdział ten stanowi właściwą bazę wiedzy. Całość pracy ułożona jest zasadniczo w poprawny z metodologicznego punktu widzenia ciąg, układ tej części rozprawy oceniam jako logiczny, choć mam pewne uwagi szczegółowe. Wczytując się w pracę można zaobserwować pewne błędy, w całej zresztą pracy zdarzają się tzw. „literówki” czy slogany, nie jest ich natomiast dużo i nie powoduje to sytuacji w której pracę czyta się trudno, praca została sprawdzona dostatecznie szczegółowo przed ostatecznym wydrukiem. Do tej części mam także inne uwagi i zapytania:

Str. 199. Brak założeń co to jest stabilna produkcja?

Z punktu widzenia analizy statystycznej pojawiają się dwa zasadnicze zagadnienia wymagające doprecyzowania. Po pierwsze, w pracy nie przedstawiono wyników testu Kruskala–Wallisa lub innej analizy pozwalającej na ocenę istotności statystycznej różnic pomiędzy porównywanymi grupami wyników. W konsekwencji trudno jednoznacznie ocenić, czy obserwowane różnice mają charakter statystycznie istotny. Po drugie, Autor przyjął założenie o normalnym rozkładzie analizowanych danych, jednak założenie to nie zostało zweryfikowane odpowiednim testem statystycznym. W celu potwierdzenia normalności rozkładu zasadne byłoby przeprowadzenie testu normalności, np. testu Shapiro–Wilka, który jest powszechnie rekomendowany dla małych i średnich liczebności prób badawczych.

**Podsumowanie i wnioski**, sformułowane na końcu pracy są interesujące i istotne z praktycznego punktu widzenia. W przedstawionej pracy sformułowano obszerny i logicznie uporządkowany zestaw wniosków końcowych, odnoszących się zarówno do zagadnień konstrukcyjnych, technologicznych, jak i statystycznych oraz ekonomicznych. Wnioski zostały podzielone na cztery główne grupy tematyczne, co świadczy o kompleksowym podejściu autora do analizowanego problemu badawczego. Pierwsza grupa wniosków dotyczy analizy konstrukcji zespolonej piasty łożyskowej z uwzględnieniem optymalizacji tolerancji wymiarowych. Wnioski te koncentrują się na rosnącym znaczeniu zespolonych piast łożyskowych w nowoczesnych konstrukcjach oraz na opracowaniu modelu matematycznego umożliwiającego analizę wpływu poszczególnych ogniw łańcucha wymiarowego na luz wzdłużny zespołu. Druga grupa odnosi się do możliwości technologicznych procesu wytwórczego. W tej części Autor wykazał możliwość rozszerzenia pól tolerancji przy zachowaniu wymaganej zdolności procesu. Trzecia grupa wniosków obejmuje analizę statystyczną procesu produkcyjnego. Autor dokonał oceny wskaźników zdolności procesu oraz przeanalizował różnice pomiędzy wartościami obliczonymi i zmierzonymi luzu wzdłużnego. Wnioski te wskazują zarówno na wysoką zdolność procesu, jak również na potrzebę dalszych badań uwzględniających szerszy zakres zmienności produkcyjnej. Ostatnia grupa wniosków ma charakter praktyczny i ekonomiczny. Dotyczy ona możliwości obniżenia kosztów produkcji poprzez eliminację operacji selekcji elementów oraz uproszczenie procesu montażu zespolonej piasty łożyskowej. Autor wskazał również korzyści ekonomiczne wynikające z zastosowanych rozwiązań technologicznych.

Całość wniosków została przedstawiona w sposób spójny, uporządkowany i bezpośrednio powiązany z zakresem przeprowadzonych badań oraz postawionymi celami pracy. Wnioski nie

zostały natomiast przedstawione w sposób inżynierski, brak jest w wielu punktach skwantyfikowanych wartości z badań wraz z podaniem oczywistych ograniczeń.

**Wykaz literatury** zamieszczony w końcowej części pracy jest dobrze wykonany. Literatura jest sformatowana w sposób jednolity a znaczna część literatury to publikacje w znaczących czasopiśmie naukowych. Pozycji literaturowych jest dokładnie 102, większość to pozycje anglojęzyczne.

## **2 Ocena rozprawy doktorskiej**

Przedstawioną rozprawę należy ocenić zarówno w aspekcie merytorycznym, jak i edytorskim. Rozpoczynając od oceny strony redakcyjnej należy stwierdzić, że Autor posługuje się zasadniczo poprawnym i zrozumiałym językiem naukowo-technicznym. Terminologia została dobrana świadomie i w większości przypadków właściwie oddaje omawiane zagadnienia. W pracy sporadycznie pojawiają się jednak sformułowania o charakterze bardziej praktycznym lub potocznym, charakterystyczne dla środowiska przemysłowego. Strona ilustracyjna rozprawy została przygotowana poprawnie – rysunki są czytelne, właściwie opisane oraz umiejętnie wkomponowane w treść pracy. W tekście można dostrzec pojedyncze niedociągnięcia stylistyczne, literowe oraz pewne niekonsekwencje językowe, jednak ich liczba jest niewielka i nie wpływa istotnie na odbiór pracy ani na możliwość właściwej interpretacji przedstawionych treści. Rozprawa została napisana w sposób przejrzysty, co sprawia, że jej analiza jest stosunkowo łatwa i uporządkowana.

Przeprowadzona analiza rozprawy stanowi wystarczającą podstawę do sformułowania pozytywnej oceny pracy. Treść dysertacji pozostaje zgodna z tematyką zaakceptowaną przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej. Podjęta problematyka ma istotne znaczenie zarówno poznawcze, jak i praktyczne, a jej opracowanie zostało przeprowadzone w sposób poprawny pod względem merytorycznym i metodologicznym. Zakres wykonanych prac badawczych jest obszerny i świadczy o dużym zaangażowaniu Doktoranta. Rozprawa ma charakter samodzielny, co potwierdza dojrzałość naukową Autora oraz jego znaczące doświadczenie w realizacji prac badawczo-rozwojowych.

Pod względem metodycznym rozprawa została przygotowana prawidłowo. Dobór literatury specjalistycznej należy uznać za właściwy, a Autor umiejętnie osadził własne badania na tle aktualnego stanu wiedzy oraz dotychczasowych osiągnięć światowych w analizowanym obszarze. Układ pracy oraz podział treści pomiędzy poszczególne rozdziały są logiczne i spójne, choć w ocenie recenzenta możliwe byłoby wprowadzenie drobnych modyfikacji

strukturalnych zgodnie z przedstawionymi wcześniej uwagami. Zastosowany aparat pojęciowy jest zasadniczo poprawny, a pojawiające się sporadycznie kolokwializmy lub uproszczenia stylistyczne wynikają przede wszystkim z praktycznego charakteru realizowanych zagadnień.

Na szczególne podkreślenie zasługuje kompleksowe podejście Autora do analizowanej problematyki. Praca stanowi spójne i zamknięte opracowanie badanego zagadnienia, a jej charakter wskazuje na silny związek z praktyką przemysłową, typowy dla rozpraw wdrożeniowych.

Jednym z podstawowych wymagań stawianych rozprawie doktorskiej jest jej związek z problemem poznawczym lub metodologicznym mającym wpływ na rozwój stanu wiedzy w danej dyscyplinie naukowej. W przypadku recenzowanej rozprawy warunek ten został spełniony, przede wszystkim w aspekcie poznawczym, co wykazano w toku przeprowadzonej analizy. Rozprawa spełnia również podstawowe wymagania metodologiczne właściwe dla prac naukowych, zawierając wszystkie istotne etapy procesu badawczego.

Przedstawioną do oceny rozprawę oceniam pozytywnie jako wartościową i merytorycznie dojrzałą pracę naukową, zawierającą obszerny materiał badawczy oraz praktyczne aspekty aplikacyjne. Podsumowując stwierdzam, że rozprawa:

- spełnia wymóg przedstawienia oryginalnego rozwiązania problemu naukowego,
- potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Autora w dyscyplinie inżynieria mechaniczna,
- wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta.

### **3 Wniosek końcowy**

Analizując przedstawioną do oceny rozprawę doktorską stwierdzam, że:

- tematyka pracy została wybrana w sposób właściwy, a jej zakres spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim,
- rozprawa dotyczy aktualnej wiedzy i praktyki, wnosząc nowe treści,
- struktura i formalny układ pracy jest poprawny,
- cele pracy zostały osiągnięte w zakresie przyjętym przez Autora,
- treść rozprawy stanowi zamkniętą całość będąc dokumentacją z badań własnych.

Całość oceny rozprawy doktorskiej mgra inż. Marka Gajura pt. „Analiza kształtowo-wymiarowa i powierzchniowa innowacyjnej technologii zespolonych piast samochodowych z łożyskiem tocznym (piasta łożyskowa tzw. HUB)” umożliwia sformułowanie wniosku 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 wg klasyfikacji określonej w Rozporządzeniu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 11 października 2022 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych i wnoszę o dopuszczeniu jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Naukowej „Inżynieria mechaniczna” Politechniki Świętokrzyskiej. Biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny rozprawy, kompleksowość przeprowadzonych badań, istotny walor aplikacyjny uzyskanych wyników oraz oryginalny wkład autora w rozwój analizowanej dyscypliny naukowej, wnioskuję o wyróżnienie przedmiotowej rozprawy.

Gregorz Władysław