

Prof. dr hab. inż. Bogdan Posiadała  
Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn  
Politechnika Częstochowska

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Tadeusza Sawickiego**  
pt.: „**Metoda minimalizacji luzu międzyzębnego w napędach zębatkowych**”

wykonana dla Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna  
Politechniki Wrocławskiej  
(umowa o dzieło, pismo prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego -  
Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna, z dnia  
08.07.2022 r.)

### 1. Charakterystyka rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera 111 stron i składa się z jedenastu rozdziałów, które poprzedza wstęp i lista rysunków, a kończy bibliografia, która obejmuje 31 pozycji, przy czym rozdziały dziesiąty i jedenasty to streszczenia rozprawy w językach: polskim i angielskim. Wstęp, umieszczony jeszcze przed spisem treści rozprawy, stanowi wyjaśnienie Autora kontekstu podjęcia i realizacji pracy doktorskiej, w tym wskazano zajmowane stanowiska (technolog, konstruktor, kierownik działu i zastępca głównego technologa) oraz powiązane z tą aktywnością zawodową zrealizowane projekty i osiągnięcia, w tym wdrożenia, patenty i publikacje. Ponadto wskazano na 12-letnią aktywność Doktoranta jako nauczyciela przedmiotów zawodowych w szkołach średnich, równoległą z pracą w przemyśle. Uznają te informacje jako uzupełnienie opisu osiągnięć zaprezentowanych w rozprawie doktorskiej i wskazanie dodatkowych kompetencji Doktoranta w zakresie dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w ramach której oceniana jest rozprawa doktorska.

Pierwszym rozdziałem pracy jest „*Wprowadzenie*”, gdzie scharakteryzowano motywację podjęcia zadania opracowania rozwiązania konstrukcyjnego, które eliminuje ujemny wpływ luzu międzyzębnego w mechanizmach typu listwa zębata i zębniak. Zaproponowano rozwiązanie pt.: „*Bezluzowy zestaw napędowy do listew zębatych*” w zastosowaniu do wiertarko – frezarki „SKODA” typ WD 200B, co było przedmiotem zgłoszenia do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej, jako wynalazek, zarejestrowane pod numerem P.431714. Zrealizowane w związku z tym prace konstrukcyjne i wdrożeniowe przyczyniły się do modernizacji wymienionej obrabiarki i rozszerzenia zakresu jej możliwości obróbkowych.

W rozdziale drugim, zgodnie z tytułem rozdziału, dokonano przeglądu podstawowych zagadnień dotyczących napędów zębatych, w tym wskazano kilka przykładów napędów zębatkowych z dwoma zębnikami stosowanych przez firmy światowe oraz opisano podstawowe wymiary i zależności charakteryzujące współpracę koła zębatego i listwy zębatej, co należy uznać jako ważne uzupełnienie opisu prezentowanych w pracy rozwiązań konstrukcyjnych.

W rozdziale trzecim określono cel i zakres rozprawy doktorskiej. Uzasadniając na wstępie konieczność realizacji podjętego zadania, wskazano jako nadrzędny cel rozprawy: opracowanie rozwiązania konstrukcyjnego napędu z dwoma zębnikami, które, jak napisał Autor, „*spełni stawiane wymagania i jednocześnie da się zamontować w obrabiarence, w której jej producent tego nie przewidywał*”. Najważniejszym wymaganiem jest tutaj eliminacja wpływu luzu międzyzębnego na dokładność pozycjonowania wiertarko – frezarki „SKODA” typ WD200B, co uzyskano poprzez zastosowanie napędu z dwoma zębnikami, przyczyniając się do modernizacji obrabiarki, jak również do zwiększenia jej możliwości obróbkowych. Wskazano także cele podrzędne i zakres rozprawy oraz wymieniono zrealizowane projekty pokrewne urządzeń i maszyn, które zostały wdrożone przez Autora recenzowanej rozprawy doktorskiej w firmie, z którą był związany zawodowo, jako wyposażenie produkcyjne tej firmy.

W rozdziale czwartym opisano zaproponowane przez Autora rozwiązanie konstrukcyjne zestawu napędowego z dwoma zębnikami. Wyjaśniono zasadę działania takiego rozwiązania i podkreślono, że drugi zębnik musi spełniać warunki prawidłowego zazębienia i jest wbudowany w sposób wahliwy, przyciągany do zębów listwy zębatej z odpowiednią siłą. Podano także parametry i kształt przykładowego rozwiązania konstrukcyjnego. W tym rozdziale opisano i zilustrowano odpowiednimi rysunkami (poglądowymi i technicznymi) także pozostałe elementy zespołu drugiego zębnika, w tym: rozwiązanie konstrukcyjne mocowania zębniaka w obrabiarence, napęd i korpus obudowy zębniaka oraz zespół hydraulicznego docisku zębów drugiego zębniaka do zębów listwy zębatej. Zaprezentowano także metodykę obliczeniową i wyniki obliczeń w odniesieniu do wybranych elementów prezentowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Na zakończenie rozdziału przedstawiono rysunek zestawieniowy napędu z dwoma zębnikami oraz fotografię drugiego zębniaka zainstalowanego w obrabiarence SKODA WD200B. Należy uznać, że zawartość tego rozdziału stanowi pełną charakterystykę osiągnięcia Autora rozprawy w kontekście prezentowanych rozwiązań konstrukcyjnych.

Rozdział piąty zawiera opis metodyki i wyników pomiarów dokładności pozycjonowania obrabiarki, wykonanych trzykrotnie na przestrzeni kilku lat jej pracy. Pierwszy pomiar wykonano w roku 2008, kiedy w/w obrabiarka nie była wyposażona w układ napędowy z drugim zębnikiem. Pozostałe pomiary wykonano w latach 2008 i 2011 dla obrabiarki po zmodyfikowaniu układu napędowego i dołączeniu drugiego zębniaka. Zaprezentowane w formie wykresów odchyłek pozycjonowania w funkcji współrzędnej położenia wyniki wykazują korzystny wpływ zaproponowanej modyfikacji układu napędowego oraz niekorzystny wpływ większego wyeksploatowania elementów współpracujących na przestrzeni lat pracy obrabiarki.

W rozdziale szóstym scharakteryzowano zrealizowane przez Autora prace projektowo – wdrożeniowe modernizacji wiertarko – frezarki typu „SKODA” typu WD200B w zakresie rozszerzenia jej zakresu parametrów obróbkowych i poprawę dokładności obróbkowych, a w dalszej kolejności prace prowadzące do uzyskania sterowania numerycznego obrabiarki. Wskazano tutaj prace modernizacyjne: napędu zębatkowego z kasowaniem luzu międzyzębnego, co opisano w rozdziale czwartym rozprawy, oraz mechanizmu służącego do przemieszczania wrzeciennika obrabiarki po prowadnicach pionowej kolumny z nadstawką, przy czym głównym elementem tej modernizacji była wymiana śruby z gwintem trapezowym na mechanizm toczny śrubowo – kulowy,

Rozdział siódmy obejmuje charakterystykę kolejnych zrealizowanych przez Autora prac projektowo – wdrożeniowych wymienionej wcześniej i zmodernizowanej obrabiarki, które wykonano w celu rozszerzenia jej zakresu możliwości produkcyjnych. Scharakteryzowano dwa wykonane i wdrożone oprzyrządowania: specjalną głowicę frezarską do rowków wpustowych oraz zestaw obróbkowy do wykonywania prac tokarskich.

W rozdziale ósmym wymieniono i scharakteryzowano rozwiązania konstrukcyjne maszyn i urządzeń technicznych opracowane także w wyniku zrealizowanych przez Autora prac projektowo – wdrożeniowych. Opis obejmuje następujące rozwiązania konstrukcyjne: hydrauliczną oczyszczarkę rusztu laserowego, urządzenie do obcinania dennic, ruszt wodny do wypalarki acetylenowo – tlenowej i plazmowej, poduszkę olejową stołu obrotowego tokarki karuzelowej, prasę do prostowania typu „BOXER”, obrotniki spawalnicze do spawania zbiorników o masie 40 i 80 ton oraz podtrzymańkę zwijanych detali na walcach. Zamieszczone schematy, rysunki i fotografie można traktować jako kolejną ilustrację osiągnięć Doktoranta i Jego kompetencji w zakresie dziedziny naukowej, w ramach której jest oceniana rozprawa doktorska.

W rozdziale dziewiątym przedstawiono podsumowanie wyników pracy, sformułowano wnioski, w tym szczególnie w kontekście zalet i wad najważniejszego opisanego w rozprawie osiągnięcia obejmującego opracowanie i wdrożenie układu napędowego z dwoma zębnikami w odniesieniu do wiertarko – frezarki „SKODA typu WD200B oraz innych rozwiązań modernizacyjnych tej obrabiarki zrealizowanych w celu rozszerzenia jej parametrów obróbkowych i dokładności pozycjonowania. Wspomniano także o innych, scharakteryzowanych w rozprawie, dokonaniach Doktoranta, które przyczyniły się do poprawy funkcjonowania parku maszynowego firmy, gdzie z udziałem Autora rozprawy je wdrożono.

Po tym rozdziale zamieszczono streszczenia i zestawienie literatury stanowiącej bazę wiedzy z zakresu rozważanej w rozprawie tematyki.

## 2. Ocena rozprawy

W kontekście opisu przedstawionego w punkcie pierwszym niniejszej recenzji można stwierdzić, że tematyka rozprawy doktorskiej obejmuje zagadnienia konstrukcyjne podjęte w celach modernizacyjnych w odniesieniu do wybranych istniejących rozwiązań konstrukcyjnych maszyn i urządzeń. Zaproponowane i opisane w rozprawie rozwiązania konstrukcyjne zostały wdrożone, przy czym wykazano istotny i pozytywny wpływ zastosowanych zmian na właściwości użytkowe modernizowanych maszyn i urządzeń. Na uwagę zasługuje fakt, że dobór zadań modernizacyjnych i rodzaju modyfikowanych maszyn i urządzeń był ściśle powiązany z aktywnością zawodową Doktoranta oraz wynikał z konieczności ulepszenia parku maszynowego, który znajdował się w zakresie Jego zainteresowania, a nawet obowiązku zawodowego. Zatem wybór tematyki i zakres podejmowanych zadań konstrukcyjnych należy widzieć ściśle z wymienionymi okolicznościami. Opisane w rozprawie rozwiązania konstrukcyjne, przykłady ich zastosowania oraz wykazanie korzystnych skutków na jakość użytkowania maszyn i urządzeń, gdzie zostały zaproponowane rozwiązania konstrukcyjne należy uznać jako potwierdzenie użyteczności i poprawności takich rozwiązań. Ponadto w odniesieniu do wybranych przykładów zrealizowanych i wdrożonych rozwiązań konstrukcyjnych wykonano ukierunkowane procedury pomiarowe, których wyniki stanowią ilościowy dowód pozytywnego wpływu zaproponowanych rozwiązań na jakość maszyn np. w odniesieniu do oceny pozycjonowania wiertarko – frezarki typu „SKODA” typu WD200B.

**Wybór tak określonej tematyki badawczej, jako przedmiotu rozprawy doktorskiej, w kontekście aktywności zawodowej Autora i uzupełnionej także w cytowanej przez Autora literaturze, uważam za w pełni uzasadniony i ponadto stwierdzam, że Autor swoją rozprawą zrealizował w pełni sformułowane w pracy cele i zakres.**

Na podstawie zawartości ocenianej rozprawy doktorskiej można stwierdzić, że postawione i zrealizowane zadania opisane w rozprawie mają znaczenie zarówno poznawcze, jak i praktyczne. Do opracowania rozwiązań konstrukcyjnych zaproponowano autorskie elementy, a wdrożenie tych rozwiązań dały możliwość weryfikacji ich użyteczności i oceny efektywności działania maszyn, w odniesieniu do których je zastosowano. W kolejnych rozdziałach pracy zamieszczono opis realizowanych zadań, scharakteryzowano, poza prezentacją opracowanych rozwiązań konstrukcyjnych, także ich zastosowanie i uzyskane efekty eksploatacyjne. W odniesieniu do prezentowanych w pracy rozwiązań konstrukcyjnych stwierdzam, że wystarczająco ilustrują one te rozwiązania, szczególnie poprzez prezentację rysunków technicznych i stanowią podstawę oceny ich użyteczności i efektywności.

**Do najważniejszych osiągnięć zrealizowanej rozprawy doktorskiej należy zaliczyć:**

- **opracowanie koncepcji, wykonanie projektu i wdrożenie rozwiązania konstrukcyjnego zestawu napędowego z dwoma zębnikami zastosowanego w wiertarko – frezarce typu SKODA WD200B, przy czym w procesie modernizacji napędu wymienionej obrabiarki opracowano także rozwiązania konstrukcyjne innych elementów zespołu napędowego, w tym: rozwiązanie konstrukcyjne mocowania zębniaka w obrabiarce, napęd i korpus obudowy zębniaka oraz zespół hydraulicznego docisku zębów drugiego zębniaka do zębów listwy zębatej,**
- **w zastosowaniu do tej samej obrabiarki, opracowanie koncepcji, wykonanie projektu i wdrożenie rozwiązania konstrukcyjnego mechanizmu służącego do przemieszczania wrzeciennika obrabiarki po prowadnicach pionowej kolumny z nadstawką,**
- **opracowanie, poza wymienionymi już zmianami konstrukcyjnymi, dodatkowych zmian modernizacyjnych w wymienionej obrabiarce, co pozwoliło na rozszerzenie parametrów obróbkowych i dokładności wykonywania oraz „wynikiem tego wiertarko – frezarka rok budowy 1972 spełnia wymogi obrabiarki sterowanej numerycznie” jak stwierdził Autor w swojej rozprawie,**
- **opracowanie koncepcji, wykonanie projektów i wdrożenie kolejnych rozwiązań konstrukcyjnych w zastosowaniu do maszyn i urządzeń technicznych, w tym: hydraulicznej oczyszczarki rusztu laserowego, urządzenia do obcinania dennic, rusztu wodnego do wypalarki acetylenowo – tlenowej i plazmowej, poduszki olejowej stołu obrotowego tokarki karuzelowej, prasy do prostowania typu „BOXER”, obrotników spawalniczych do spawania zbiorników o masie 40 i 80 ton oraz podtrzymki zwijanych detali na walcach.**
- **realizację badań eksperymentalnych, których wyniki stanowią ilościowy dowód pozytywnego wpływu zaproponowanych rozwiązań na jakość maszyn np. w odniesieniu do oceny pozycjonowania wiertarko – frezarki typu „SKODA” typu WD200B,**
- **opracowanie metodyki obliczeniowej i realizację obliczeń w odniesieniu do elementów lub zespołów maszynowych zaproponowanych rozwiązań konstrukcyjnych.**

Oceniając formę pracy chciałbym stwierdzić, że praca jest napisana wystarczająco starannie i przejrzyście. Zawiera wiele ilustracji graficznych, w tym schematów i rysunków technicznych, które ułatwiają właściwą interpretację przedstawianych rozwiązań

konstrukcyjnych, ich funkcjonalności i zastosowania. Można zauważyć także pewne usterki, z których najbardziej istotne wymieniłem w dalszej części niniejszej recenzji, jako uwagi szczególne.

**Podsumowując oceniam rozprawę jednoznacznie pozytywnie, mimo uwag, które zawarte są w kolejnym rozdziale niniejszej recenzji.**

### 3. Uwagi szczególne, w tym krytyczne

Do najbardziej istotnych zastrzeżeń, przede wszystkim w odniesieniu do formy pracy, na które chciałbym zwrócić uwagę Autora zaliczam następujące:

- praca nosi tytuł: „*Metoda minimalizacji luzu międzyzębnego w napędach zębatkowych*”, co w kontekście sformułowanych w niej celów i zakresu, a także zawartej treści nie obejmuje wszystkich prezentowanych w niej zagadnień, głównie konstrukcyjnych,
- rysunki zamieszczone w pracy, szczególnie jako rysunki techniczne w obecnych możliwościach oprogramowania można wykonać w znacznie lepszej jakości, a ponadto można zauważyć brak konsekwencji w ich umieszczaniu w tekście w układzie poziomym, gdzie obrócone zostały w różnych kierunkach: np. porównać można sposób umieszczenia rysunku 7 (błędnie), a rys. 9 (poprawnie) itd.,
- rozdziały dziesiąty i jedenasty to streszczenia rozprawy w językach: polskim i angielskim, nie wynikają one z realizacji celów pracy i nie powinny zatem być numerowane jako rozdziały rozprawy,
- w pracy przy opisie elementów konstrukcyjnych prezentowanych na rysunkach przyjęto formę, którą charakteryzuje np. na str. 23 zdanie: „*Podstawa konstrukcji pozycja 14 przykręcona jest do korpusu przekładni pozycja 20*”, co nie jest, moim zdaniem, najlepszą formą i w związku z tym proponuję w przyszłości zastosować inną formę w cytowanym zdaniu np.: „*Podstawa konstrukcji (poz. 14) przykręcona jest do korpusu przekładni (poz. 20)*”,
- w pracy można zauważyć także wiele potocznych, nieprecyzyjnych lub dwuznacznych określeń czy tzw. skrótów myślowych, z których jako przykładowe można wymienić:
  - str. 30 – w zdaniu: „... *pozwole w dalszej części na obliczenia wytrzymałościowe zginające*”, obliczenia wytrzymałościowe nie mogą być zginające, ale, co zapewne należy rozumieć z zacytowanego zdania, można wykonać obliczenia wytrzymałościowe pod wpływem obciążeń zginających,
  - str. 34 – w zdaniu: „*Kontakt ten to siłowy, hydrauliczny docisk taki, który zapewni całkowicie wymagane parametry obrabiarki podczas pracy*”, sam kontakt nie jest „siłowym, hydraulicznym dociskiem”, ale jest realizowany w wymagany sposób poprzez zastosowanie siły docisku, która może być wywołana siłownikiem hydraulicznym w odpowiednim układzie hydraulicznym,
- w pracy zastosowano numerację ciągłą rysunków w całej jej treści, zastosowanie powiązania numeracji powiązanej z rozdziałami byłoby lepszym sposobem, który umożliwi łatwiejsze odnajdywanie poszczególnych rysunków w zawartości pracy np. zamiast: *Rysunek 1*, można zastosować: *Rys. 2.1*, co oznacza, że rysunek pierwszy jest w rozdziale drugim (także skrót *Rys.* zamiast całego wyrazu jest częściej stosowany),

- a ponadto tekst zawiera także błędy tzw. literówki lub inne (błędnie napisane fragmenty podkreśliłem) np.:
  - str. 13 – w zdaniu: „... *kół zębatach* wraz z wyszczególnieniem ich ilości zębów i modułów.” zamiast „... *kół zębatach* wraz z wyszczególnieniem ich liczby zębów i modułów.”,
  - str. 15 – w zdaniu: „ ... *zależnie od ilości* godzin pracy układu ... ” zamiast „... *zależnie od liczby* godzin pracy układu ... ”, itp. na kolejnych stronach pracy np.: str. 20 – w zdaniu: „ ilość zębów ... ”, str. 42 – w zdaniu: „z – ilość ostrzy głowicy frezarskiej”, itd.,
  - str. 27 – w zdaniu: „*poz. 6 kołom* łańcuchowe naciągu łańcucha szt. 2”,
  - str. 34 – w zdaniu: „*Jak już wykazano wcześniej* na rysunku 6 ...”,
  - str. 38 – w zdaniu: „Granica plastyczności  $R_e$  tej stali waha się w granicy około 900 MPa.”,
  - str. 39 – w podpisie rysunku: „... a tym samy długość zębów ...”,
  - str. 46 – w zdaniu: „Pomiary dokładności pozycjonowania osi „X” wykonany został ...”,
  - str. 60 – w zdaniu: „*Oprócz tego powstało dużo firm usługowych, które służą usługi* ...”,
- ponadto w wielu miejscach rozprawy, użyto strony czynnej zamiast biernej np. str. 13 – w zdaniu: „*Poglądowo rozwiązanie to obrazuje rysunek 1.*” zamiast „*Poglądowo rozwiązanie to zobrazowano na rysunku 1.*”, podobnie należałoby zmienić np.: str. 14 – w zdaniu: „*Rysunek 2 przedstawia ...*”, str. 15 – w zdaniu: „*Rysunek 3 przedstawia ...*”, str. 19 – w zdaniu: „... *obrazuje rysunek 4.*” itp. w dalszej części pracy,
- zwykle w publikacjach typu rozprawa doktorska kolejne rozdziały prezentowane są od nowych stron, co jest korzystne zarówno z powodów edycyjnych jak i odbioru przez czytelnika. W pracy nie zastosowano takiej formy.

W celu lepszego wyjaśnienia i uzupełnienia treści merytorycznej przedstawionej w ocenianej rozprawie chciałbym postawić Autorowi następujące pytania lub propozycje:

- w związku z uwagą pierwszą proszę o zaprezentowanie w czasie dyskusji propozycji zmodyfikowanego tytułu rozprawy, który lepiej obejmowałby zaprezentowaną w rozprawie treść,
- w pracy opisano wiele zrealizowanych prac projektowych i wdrożeniowych w odniesieniu do wielu maszyn i urządzeń. Proszę o zaprezentowanie, bardziej szczegółowe niż opisano w pracy, pełnego procesu realizacji jednego z zaprezentowanych przykładów modernizacji maszyny lub urządzenia: poczynając od motywacji po końcowy efekt wdrożeniowy i ocenę zastosowanego rozwiązania konstrukcyjnego,
- w pracy zaprezentowano rozwiązania konstrukcyjne, głównie polegające na modernizacji istniejących maszyn i urządzeń, co wynikało głównie z ich niedogodności eksploatacyjnych. Na bazie własnego doświadczenia i kompetencji Autora, proszę o sformułowanie, o ile to możliwe, rekomendacji jak najlepiej realizować podobne do opisanych w pracy zadania lub jakie podejmować działania, aby uniknąć konieczności modernizacji maszyn i urządzeń podobnego typu przed ich dopuszczeniem do użytkowania.

#### 4. Wniosek końcowy

Zaprojektowane i wykonane rozwiązania konstrukcyjne przedstawione w ocenianej rozprawie doktorskiej zrealizowane z twórczym udziałem jej Autora można uznać jako dowód szerokiej wiedzy i wartościowych osiągnięć jej Autora w zakresie dyscypliny inżynieria mechaniczna w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych. W szczególności dotyczy to wiedzy i innych kompetencji koniecznych do opracowania koncepcji, zaprojektowania i wykonania opisanych w rozprawie urządzeń, przy czym o jakości i przydatności powstałych z udziałem Autora rozwiązań konstrukcyjnych świadczą zaprezentowane w pracy przykłady praktycznego ich zastosowania i pozytywnego ich wpływu na efektywność działania maszyn i urządzeń, także aktualnie pracujących gdzie je zastosowano.

Stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska pt. „*Metoda minimalizacji luzu międzyzębnego w napędach zębatkowych*” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowo-inżynierskiego i spełnia w wystarczającym stopniu warunki stawiane rozprawom doktorskim. Stanowi zatem podstawę do dopuszczenia jej Autora do publicznej obrony tej rozprawy, a po pozytywnym zakończeniu obrony do nadania mgr. inż. Tadeuszowi Sawickiemu stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

Częstochowa, 6 września 2022 r.



