

Warszawa, dn. 5.07.2024 r.

prof. dr hab. inż. Andrzej Świdorski
Instytut Transportu Samochodowego
03-301 Warszawa
ul. Jagiellońska 80
Telefon: 22 43 85 430, 609 301 145
E-mail: andrzej.swiderski@its.waw.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Łukasza Mazurka
pt.: „Optymalizacja ilościowej i jakościowej analizy przekładni zębatach
dla wybranych silników elektrycznych”
Promotor: prof. dr hab. inż. Bogusław Łazarz
Opiekun pomocniczy ze strony przedsiębiorstwa: dr inż. Markus Kuester

Recenzja przygotowana została na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej dr. hab. inż. Marcina Stańka, prof. PŚ. (pismo RDILGT.512.62.2023z dnia 14.05.2024 r.).

1. INFORMACJE WSTĘPNE, WYBÓR TEMATU ROZPRAWY

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska powstała w wyniku realizacji jednego z zadań projektu pn. „Doktorat Wdrożeniowy”- II edycja, finansowanego ze środków budżetu Państwa. Poświęcona jest bardzo istotnym i interesującym, zarówno z poznawczego, jak i praktycznego punktu widzenia, problemom określania właściwości dynamicznych i akustycznych elementów układów napędowych środków transportu, w szczególności przekładni zębatach. Poszukiwanie bardziej skutecznych i efektywnych metod oceny przekładni zębatach, mających zastosowanie w układach napędowych środków transportu, jest niezwykle istotne. Jak pokazują badania, w zakresie oceny parametrów pracy przekładni zębatach, kluczowe znaczenie mają właściwości dynamiczne i akustyczne zarówno samej przekładni, jak i całego układu napędowego. Istotnym elementem oceny różnych parametrów maszyn i urządzeń nie jest już tylko eksperyment fizyczny, lecz numeryczne testowanie modelu. Możliwe jest zarówno doświadczalne wyznaczanie parametrów (w tym m.in.: mechanicznych, termicznych, przepływowych, czy dynamicznych i akustycznych), jak również budowanie komputerowych modeli numerycznych.

Mgr inż. Łukasz Mazurek, w swojej dysertacji bardzo słusznie zauważył (na podstawie analizy literaturowej i własnego doświadczenia), że *„istotnego znaczenia nabiera fakt odpowiednio szybkiego określenia właściwości dynamicznych oraz wibroakustycznych przekładni zębatej jeszcze na etapie jej projektowania. Budowa kompleksowego modelu numerycznego, który uwzględni wszystkie istotne parametry geometryczne, materiałowe, fizyczne, jak również zaplanowane z góry parametry pracy przekładni zębatej, pozwoli na uzyskanie odpowiedzi na temat wszelkich istotnych zagadnień dotyczących nowoprojektowanej przekładni. Przede wszystkim jednak pozwoli znacząco skrócić czas wejścia produktu na rynek, jak również ograniczy koszty prototypowania i testowania takiej przekładni.*

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa,
Geodezja i Transport

wpłynęło dnia *25.07.2024*

nr *1371* zat.

Zagadnienia powyższe, moim zdaniem, były główną inspiracją zajęcia się przez Doktoranta przedstawionym tematem. Mgr inż. Łukasz Mazurek, analizując ww. problemy, wypełnia lukę badawczą w tym zakresie.

Stwierdzam, że wybór tematu rozprawy należy uznać za trafny, w pełni uzasadniony aktualnym stanem wiedzy i potrzebami praktyki.

2. OCENA METODYCZNA

Podstawą opracowania głównych treści recenzowanej dysertacji było m.in.: rozpoznanie obszaru badań (przygotowanie jej genezy i przedstawienie charakterystyki studialnej obszaru badawczego), tym samym identyfikacja problemu, wskazanie celów oraz przyczyn i możliwych rozwiązań z wykorzystaniem określonych metod badawczych. W konsekwencji tych działań, Doktorant skutecznie dążył do osiągnięcia postawionych celów. Wykorzystał cenne metody i narzędzia badawcze.

Rozprawa obejmuje łącznie 135 stron wraz z wykazem literatury, spisem rysunków i tabel. Dzieli się na osiem zasadniczych rozdziałów, w tym wprowadzenie i podsumowanie oraz wnioski. Zawiera również streszczenie w języku polskim i angielskim.

Stwierdzam, że praca ma właściwy i przemyślany układ. Kolejność rozdziałów i ich podział są logiczne. Treść pracy zgodna jest z jej tytułem, a rozdziałów z ich nagłówkami (z uwagą krytyczną nr 2), które dają syntetyczny pogląd na przedstawioną w nich zawartość merytoryczną. Kolejne tytuły rozdziałów reprezentują logiczne powiązanie całości rozprawy. Wnioskowanie jest poprawne, a znajomość szczegółowych technik analityczno – ocenowych zadowolająca. Język rozprawy jest prosty i komunikatywny.

Niestety, jak to zwykle w tego typu pracach bywa, Autor w swoim opracowaniu nie ustrzegł się błędów natury językowej, zarówno stylistycznych, jak i literowych (a jest ich dużo). Nie zmniejszają one jednak mojej pozytywnej oceny pracy pod względem edycyjnym.

Dużą wartością pracy są liczne ilustracje, które obrazują i tłumaczą nierzadko skomplikowane zagadnienia (choć niektóre z nich nie zostały w tekście opisane, czy skomentowane, do niektórych nie przywołano źródeł ich pochodzenia).

Doktorant zredagował następujący główny cel naukowy rozprawy: *„kompleksowe określenie właściwości dynamicznych oraz akustycznych przemysłowej przekładni mechanicznej TDB 230, celem wirtualnej diagnostyki i ewentualnej redukcji niekorzystnych zjawisk wpływających na pracę i zdolności operacyjne przekładni. Dodatkowo naukowy aspekt rozprawy doktorskiej obejmuje swoim zakresem przeprowadzenie kompleksowych badań stanowiskowych obejmujących swoim zakresem zachowanie dynamiczne oraz akustyczne”.* Przedstawił też cel użyteczny rozprawy, którym jest *„oprócz budowy odpowiedniego modelu numerycznego układu napędowego wózka widłowego (przemysłowej przekładni zębatej), również optymalizacja procesu projektowania przekładni, który to proces swoim zakresem będzie obejmował również szczegółowe modelowanie numeryczne tego podzespołu oraz jego późniejszą walidację (celem określenia poprawności sposobu modelowania zachowania się przekładni)”*.

Do tak przedstawionych celów dysertacji uwag nie wnoszę. Są one zredagowane w sposób poprawny.

Uwaga krytyczna nr 1:

Treść celu rozprawy, przedstawiona we wprowadzeniu (rozdział 1., str. 7.) nie jest spójna z treścią wyżej przedstawioną w recenzji i zaprezentowaną przez Doktoranta w rozdziale 4. Chociaż obie wersje odnoszą się do tego samego problemu naukowego.

Sformułowanie przez Doktoranta tezy: „Przygotowanie dynamiczno - akustycznego modelu numerycznego badanej przemysłowej przekładni TDB 230 umożliwia określenie jej charakterystyk oraz parametrów pracy na etapie jej prototypowania. Kompleksowe podejście w zakresie budowy modelu numerycznego pozwala na skrócenie okresu wprowadzenia produktu na rynek poprzez redukcję testów fizycznych przekładni i ich zastąpienie odpowiednimi modelami numerycznymi: dynamicznymi oraz akustycznymi” oceniłem bez uwag.

Zakres pracy obejmuje:

- przygotowanie wstępnych modeli symulacyjnych (numerycznych) przemysłowej przekładni TDB 230, określających jej właściwości dynamiczne,
- przygotowanie końcowego modelu numerycznego analizowanej przekładni TDB 230 określającego właściwości wibroakustyczne,
- przeprowadzenie badań stanowiskowych przekładni mechanicznej z wyznaczeniem charakterystyk czasowych oraz częstotliwościowych wartości przyspieszeń określonych punktów obudowy przekładni TDB 230,
- przeprowadzenie badań stanowiskowych na zmodernizowanym stanowisku testowym z wyznaczeniem charakterystyk czasowych oraz częstotliwościowych wartości przyspieszeń określonych punktów obudowy przekładni TDB 230.

Uwaga krytyczna nr 2:

Zakres pracy opisano w rozdziale 5. pt. „Teza”. Powinien być zaprezentowany w rozdziale 4. pt. „Cel, założenia i zakres pracy” lub tytuły rozdziałów 4. i 5. powinny być inne, dostosowane do aktualnej treści.

Zaproponowane przez Doktoranta metody badawcze dobrane zostały prawidłowo. Do nich przede wszystkim zaliczyć należy modelowanie numeryczne z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi, obejmujących zarówno Metodę Układów Wieloczłonowych (MSC ADAMS wspólnie z dodatkami Gear Advanced Technology oraz Bearing Advanced Technology), jak i Metodę Elementów Skończonych (Ansys Mechanical oraz MSC Actran). Ich wybór podyktowany został głównie potrzebami firmy (ABM Greiffenberger), w ramach której realizowany jest doktorat wdrożeniowy.

Wykaz wykorzystanej w dysertacji literatury obejmuje łącznie 80 źródeł. Literatura zawiera zarówno pozycje polskie, jak i zagraniczne. Jest dobrana w sposób właściwy i wystarczający. Uważam, że cytowana literatura została należycie wykorzystana, choć można dostrzec i takie pozycje bibliograficzne, które można uznać za zbędne. Jednak uważam to za aspekt pozytywny – Doktorant dokonał bowiem analizy literatury w szerszym obszarze. Będzie to przydatne w realizacji dalszych badań i dociekań Autora w przyszłości.

Pomimo uwag krytycznych, z metodologicznego punktu widzenia rozprawa zasługuje na pozytywną ocenę.

3. OCENA MERYTORYCZNA

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. „Optymalizacja ilościowej i jakościowej analizy przekładni zębatych dla wybranych silników elektrycznych” mgr. inż. Łukasza Mazurka jest niewątpliwie konsekwencją dorobku naukowego, a przede wszystkim doświadczenia zawodowego Doktoranta. Dotyczy to zarówno studiów teoretycznych, jak również analiz praktycznych, głównie w zakresie numerycznego określania właściwości dynamicznych i akustycznych przekładni zębatych w zastosowaniu do napędów środków transportu.

Podejmując się oceny merytorycznej rozprawy, raz jeszcze mocno podkreślam uzasadnienie jej powstania. Modelowanie numeryczne zagadnień dynamicznych i akustycznych dla układu przekładni zębatych umożliwić może analizę ich wpływu na środowisko naturalne przy jednoczesnej redukcji kosztów. Wykorzystanie takiego rodzaju modelowania daje możliwość odwzorowania rzeczywistych warunków badań. Badania naukowe ukierunkowane są obecnie na identyfikowanie właściwości dynamicznych przekładni już na etapie budowy modelu cyfrowego, co pozwala na zdecydowaną redukcję kosztów, związanych z budową stanowiska badawczego i przygotowaniem modeli testowych. Model numeryczny pozwala w krótszym czasie uzyskać dane, dotyczące zachowania się układu pod kątem zjawisk dynamicznych i akustycznych. Ważnym też jest, według mojej oceny, główny argument zajęcia się przez Doktoranta tematem recenzowanej dysertacji, a mianowicie fakt, że firma ABM Greiffenberger, na bazie której Doktorant realizuje doktorat wdrożeniowy, nie dysponuje odpowiednio zaimplementowanym procesem obliczeniowym przekładni. Rozwijany jest produkt wirtualny (geometria CAD), określane są podstawowe właściwości wytrzymałościowe (obliczenia z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych w zakresie statyki liniowej). Określenie właściwości przekładni z grupy zjawisk NVH (Noise, Vibration and Harshness) odbywa się obecnie w firmie jedynie poprzez przygotowanie czasochłonnego i kosztocłonnego procesu badawczego/testowego. Powoduje to wydłużenie czasu wprowadzania produktu na rynek. W przypadku koniecznych zmian konstrukcyjnych, czas ten się jeszcze bardziej wydłuża. Słusznie zatem Doktorant stwierdził, że *„obecnie panujący proces w dziale badawczo – rozwojowym jest wysoce nieefektywny zarówno w ujęciu czasowym jak i kosztowym”*.

Zasadniczym etapem merytorycznym rozprawy było przygotowanie wstępnych modeli symulacyjnych (numerycznych) przekładni TDB 230, a następnie modelu końcowego, przeprowadzenie badań stanowiskowych z wyznaczeniem charakterystyk czasowych i częstotliwościowych wartości przyspieszeń określonych punktów obudowy przekładni oraz badań stanowiskowych na zmodernizowanym stanowisku testowym. Efektem tych działań są wyniki badań modelowych, których analiza niewątpliwie umożliwiła realizację i osiągnięcie postawionych przez Doktoranta celów rozprawy. W tym obszarze tematycznym uwag nie wnoszę, moja ocena jest pozytywna.

Analizę literatury przeprowadzono bardzo szczegółowo, w sposób należyty, poświęcając uwagę m.in.:

- aparatowi pojęciowemu, związanemu głównie z różnymi konstrukcjami i zastosowaniami przekładni zębatych,
- ogólnej charakterystyce przekładni zębatych,
- modelom dynamicznym przekładni,

- wibroaktywności przekładni zębatych,
- akustyce przekładni zębatych, w tym m.in. przyczynom powstawania hałasu w przekładniach,
- modelowaniu numerycznemu, dotyczącemu symulacji zagadnień dynamicznych i akustycznych,
- aktualnym trendom w zakresie modelowania zjawisk dynamicznych zachodzących w przekładniach mechanicznych.

Do najmocniejszych stron recenzowanej dysertacji zaliczam:

- dokonanie szczegółowej literaturowej analizy stanu zagadnienia,
- zastosowanie modelowania numerycznego z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi, obejmujących Metodę Układów Wielocłonowych (MSC ADAMS wspólnie z dodatkami Gear Advanced Technology oraz Bearing Advanced Technology) i Metodę Elementów Skończonych (Ansys Mechanical oraz MSC Actran) oraz badania stanowiskowe przekładni mechanicznej,
- modyfikacja istniejącego stanowiska badawczego w celu poprawy jakości uzyskiwanych wyników badań.

Wyniki badań symulacyjnych przedstawionych w dysertacji stanowią novum w firmie ABM Greiffenberger w zakresie doskonalenia obecnie funkcjonujących procesów projektowych. Do tej pory brak było bowiem numerycznego modelowania zagadnień dynamicznych i z obszaru wibroakustyki przekładni mechanicznych. Stwierdzam zatem, że recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie określenia właściwości dynamicznych i akustycznych przekładni mechanicznych (zębatych), z wykorzystaniem modelowania numerycznego. Zagadnienie badawcze, z którym zmierzył się Doktorant należy zaliczyć do trudnych, z uwagi na ciągły i intensywny rozwój rozwiązań technicznych i technologicznych, dotyczących przekładni zębatych w zastosowaniu do napędów, wykorzystywanych w środkach transportu.

Podczas publicznej obrony proszę Doktoranta o udzielenie odpowiedzi na następujące pytania:

- 1) Czy zaproponowany w rozprawie dynamiczno - akustyczny model numeryczny badanej przemysłowej przekładni TDB 230 może mieć zastosowanie w napędach elektrycznych innych środków transportu? Wg mojej oceny, w dalszych badaniach naukowych niezbędnym byłoby opracowanie narzędzia do badań modelowych/numerycznych o charakterze uniwersalnym. Biorąc pod uwagę przygotowanie innych danych można prowadzić badania dla innych typów przekładni zębatych w zastosowaniu do różnych napędów środków transportu.
- 2) Proszę krótko scharakteryzować „ilościową” i „jakościową” analizę przekładni zębatych. Jak Pan rozumie „optymalizację” w tym kontekście?

Z merytorycznego punktu widzenia rozprawa zasługuje na pozytywną ocenę.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Z pełnym przekonaniem stwierdzam, że mgr inż. Łukasz Mazurek wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy badawczej i naukowej. Jego warsztat pracy, jako naukowca, jest rozwinięty w sposób wystarczający do prowadzenia prac badawczych i naukowych w zakresie objętym tematem pracy.

Stwierdzam, że oceniana rozprawa spełnia wymagania formalne oraz kryteria merytoryczne stawiane rozprawom doktorskim oraz kandydatom do otrzymania stopnia doktora, a Pan mgr inż. Łukasz Mazurek zasługuje na stopień naukowy doktora w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych*, w dyscyplinie *inżynieria lądowa, geodezja i transport*.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska wnosi wyraźny wkład teoretyczny i praktyczny w rozwój *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie *inżynieria lądowa, geodezja i transport*.

Ze względu na wagę podjętego w rozprawie problemu badawczego i znaczenie dla praktyki, a przede wszystkim na pozytywną ocenę wartości merytorycznej i metodologicznej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że **rozprawa spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce** (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.). **Wnoszę o dopuszczenie mgr. inż. Łukasza Mazurka do publicznej obrony.**

W przypadku pozytywnego przebiegu obrony rozprawy doktorskiej będę głosował za nadaniem Panu mgr. inż. Łukaszowi Mazurkowi stopnia doktora *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie *inżynieria lądowa, geodezja i transport*.



.....
prof. dr hab. inż. Andrzej Świdorski