



Szczecin 17.11.2021 r.

dr hab. inż. Karol F. Abramek, prof. ZUT
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Katedra Eksploatacji Pojazdów
70-310 Szczecin
al. Piastów 19

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. **Łukasza Macyszyna**

pt. „Budowa i badania dwustopniowej magnetycznej przekładni precesyjnej”.

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej z dnia 29 marca 2021 r. (pismo dr hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej nr DIM.075.168.2021 z dnia 01.10.2021 r.).

2. Informacje ogólne o rozprawie

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Roman Staniek

Promotor pomocniczy: dr inż. Adam Myszkowski

Rozprawa składa się z 114 stron, w tym 7 stron bibliografii (123 pozycje literatury) oraz streszczenia (w języku polskim i angielskim). Zawiera 85 rysunków i 11 tabel. Pod względem formalnym i edytorskim rozprawa opracowana jest bardzo starannie. Ogólnie struktura rozprawy jest właściwa, a jej treść jest logicznie podzielona na rozdziały.

3. Ocena aktualności wybranego tematu

W budowie maszyn nie sposób wyobrazić sobie ich istnienie bez różnych rozwiązań przekładni: mechanicznych, hydraulicznych, pneumatycznych, elektrycznych, magnetycznych. Dzięki nim można przenosić energię, zmieniać np. kierunek obrotów, rodzaj ruchu (z ruchu obrotowego na liniowy), moment obrotowy, prędkość kątową. Obecnie rosnące wymagania stawiane napędom różnych maszyn skłaniają inżynierów i konstruktorów do poszukiwania nowych rozwiązań dotyczących zwiększenia sprawności, trwałości i sztywności przekładni. Tarcie występujące w przekładniach mechanicznych z reguły jest zjawiskiem niepożądanym ze względu na zmniejszenie ich sprawności, trwałości (zużycie elementów przekładni w wyniku tarcia) i konieczności smarowania współpracujących elementów. Niekiedy jednak, tarcie w przekładniach jest pożądane, dla spełnienia samohamowności przekładni, jak np. w mechanizmach naciągu strun fortepianu, napędów obrabiarek.

W recenzowanej rozprawie podjęto aktualny i ważny z praktycznego punktu widzenia problem dotyczący rozwoju konstrukcji przekładni dla napędów eliminujących negatywne oddziaływanie skutków tarcia między współpracującymi powierzchniami ruchomych elementów przekładni. Rozwój nowej generacji bezstykowych przekładni magnetycznych (przekładni beztarciovych) wydaje się spełniać te wymagania, dlatego prowadzonych jest coraz więcej prac badawczych na ten temat przez różne ośrodki naukowe, przede wszystkim zagraniczne.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że wybrany temat rozprawy doktorskiej „Budowa i badania dwustopniowej magnetycznej przekładni precesyjnej” jest aktualny, zarówno pod względem naukowym, jak i pod względem możliwości wykorzystania wyników w praktyce. Prezentowana tematyka pracy mieści się w zakresie dyscypliny naukowej **inżynieria mechaniczna**.

4. Przegląd treści i ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów podzielonych na podrozdziały i punkty oraz z Wprowadzenia i Streszczenia (w języku polskim i angielskim).

Wprowadzenie zawiera ogólne informacje dotyczące możliwości rozwoju bezstykowych przekładni magnetycznych, dzięki wynalezieniu magnesów neodymowych oraz wskazuje na ich zalety, ze względu na eliminację zjawiska tarcia, dużą trwałość i zwiększony resurs wykonywania przeglądów i konserwacji.

W rozdziale pierwszym zatytułowanym „Stan wiedzy z zakresu pracy” Autor przedstawił podstawowe parametry przekładni mechanicznych i magnetycznych (np. przełożenie kinematyczne, sprawność przekładni, gęstość przenoszonego momentu obrotowego). W podrozdziale 1.2 szerzej opisano sposób i zalety działania mechanicznej przekładni precesyjnej, a w podrozdziale 1.3 rozwój przekładni magnetycznych. Podrozdział 1.4 dotyczy przeglądu wybranych, stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych magnetycznych przekładni ruchu obrotowego (przekładnia walcowa, stożkowa, ślimakowa, planetarna, falowa, z modulatorem strumienia magnetycznego). Podrozdział 1.5 zawiera przykłady powszechnych możliwości zastosowania przekładni magnetycznych. Podrozdział 1.6 jest podsumowaniem stanu wiedzy i przeglądu literatury z zakresu tematyki pracy, gdzie Autor postanowił opracować konstrukcję bezstykowej, magnetycznej przekładni precesyjnej z wykorzystaniem magnesów trwałych. Właśnie modelowanie, budowa i badania takiej przekładni są przedmiotem niniejszej dysertacji.

W rozdziale drugim zatytułowanym „Koncepcja dwustopniowej magnetycznej przekładni precesyjnej” opisano założenia patentowe, schemat kinematyczny oraz uproszczony model CAD proponowanego rozwiązania magnetycznej przekładni. W rozdziale tym Autor przedstawił Cel pracy, którym było opracowanie zależności geometrycznych i kinematycznych, przeprowadzenie badań symulacyjnych oraz budowa i badania doświadczalne nowej, bezstykowej, silnie redukującej przekładni ruchu obrotowego. Celem badań symulacyjnych i eksploatacyjnych było określenie wpływu parametrów geometrycznych i magnetycznych przekładni na wartość przenoszonego momentu, sprawność oraz równomierność pracy. Autor przedstawił także zakres pracy, który obejmował:

- przegląd istniejących rozwiązań przekładni magnetycznych oraz mechanicznych przekładni precesyjnych,
- przedstawienie koncepcji dwustopniowej magnetycznej przekładni precesyjnej,
- analizę geometryczną oraz kinematyczną nowej przekładni,
- opracowanie modelu magnetycznego nowej przekładni precesyjnej, przeprowadzenie badań symulacyjnych i analizę ich wyników,

- opracowanie konstrukcji i budowę prototypu przekładni,
- opracowanie konstrukcji i budowę stanowiska do badań eksperymentalnych,
- opracowanie metodyki i programu badań doświadczalnych,
- wykonanie badań doświadczalnych prototypu przekładni i analizę ich wyników,
- wskazanie kierunków dalszych prac nad doskonaleniem konstrukcji przekładni.

Rozdział trzeci zatytułowany „Analiza geometryczna i kinematyczna” zawiera analizę parametrów mających największy wpływ na wymiary geometryczne analizowanej przekładni oraz wyznaczono funkcję odległości pomiędzy magnesami znajdującymi się na współpracujących ze sobą tarczach. Przeprowadzono także analizę kinematyczną nowej przekładni.

W rozdziale czwartym Autor opracował model numeryczny przekładni i przeprowadził badania symulacyjne. Szczegółowa analiza proponowanej magnetycznej przekładni precesyjnej została przeprowadzona z wykorzystaniem numerycznego modelu pola magnetycznego opracowanego w oprogramowaniu Ansys Maxwell 3D. Zastosowanie MES do wyznaczenia rozkładu pola magnetycznego pozwoliło na dokładną analizę procesu przenoszenia momentu obrotowego w badanej przekładni oczywiście przy wprowadzeniu pewnych uproszczeń. Przedstawione wyniki badań symulacyjnych dotyczyły badania wpływu kątów obciążenia wewnętrznego (β_1 , β_2), długości szczelin powietrznych, wymiarów magnesów, kształtu magnesów, kąta precesji.

Rozdział piąty dotyczy przeprowadzonych badań eksperymentalnych prototypu magnetycznej przekładni dwustopniowej, w której zastosowano 96 magnesów neodymowych typu N38. Zaletą przedstawionej prototypowej przekładni było to, że istniała możliwość zmiany długości obu szczelin powietrznych (szczeliny pomiędzy tarczą nieruchomą i pośrednią oraz niezależnie pomiędzy tarczą pośrednią a wyjściową). Przedstawione wyniki badań eksperymentalnych dotyczą badania maksymalnego obciążenia przenoszonego przez przekładnię, badania sprawności przekładni, badania równomierności przenoszenia momentu. Dokonano także eksperymentalnej weryfikacji wiarygodności opracowanego modelu numerycznego pola magnetycznego przekładni, co jak sam Autor zauważył jest zagadnieniem dość trudnym. We wszystkich analizowanych przypadkach błąd średniokwadratowy nie przekraczał 10% wartości maksymalnego przenoszonego momentu obrotowego.

Ogólnie stwierdzam, że przedstawiona analiza literaturowa została przeprowadzona prawidłowo, w sposób przejrzysty i zwięzły, na poziomie potwierdzającym dobre przygotowanie Doktoranta do podjęcia tego problemu naukowego. Rozprawa napisana jest poprawnym językiem, w sposób jasny, logiczny.

Pod względem poziomu naukowego pracę mgr. inż. Łukasza Macyszyna oceniam jako bardzo dobrą. Przedstawiony problem badawczy jest interesujący poznawczo i ważny ze względu na możliwości użyteczne. Główną wartością pracy jest to, że Doktorant przedstawił koncepcję dwustopniowej magnetycznej przekładni precesyjnej, opracował jej model numeryczny, przeprowadził badania symulacyjne i badania eksperymentalne na rzeczywistym prototypie przekładni. Opracował i zbudował stanowisko do badań eksperymentalnych. Poprawne przygotowanie takiego stanowiska badawczego wymagało konfiguracji oprogramowania rejestrującego mierzone wielkości (prędkość obrotową, moment obrotowy, pomiar położenia wału wyjściowego). Autor wykonał badania symulacyjne i doświadczalne. Wszystkie wymienione tutaj elementy pracy stanowią o jej walorach poznawczych i dużej wartości merytorycznej.

5. Uwagi krytyczne, dyskusyjne i redakcyjne

Pomimo dołożenia wszelkich starań Autor nie ustrzegł się pewnych błędów, które nasuwają częściowe komentarze i uwagi, które należy przedyskutować:

- W rozprawie doktorskiej spodziewałem się sformułowania jasno postawionej tezy naukowej, która powinna zostać udowodniona lub odrzucona. Niestety nie znalazłem jej w całej pracy. Autor przedstawił jedynie cel i zakres pracy.
- Autor nie przedstawił analitycznego opisu w jaki sposób i na jakiej podstawie wnioskuje, że największe przelobienie można uzyskać dla dwustopniowej magnetycznej przekładni precesyjnej dla zależności (23) przedstawionej na str. 44. Intuicyjne tak jest, ale można było udowodnić to matematycznie.
- Podobna uwaga (str. 44) dotyczy opisu warunku koniecznego dla liczby par biegunów na obwodach tarcz: $N_2 \geq N_1$ oraz $N_3 \geq N_4$. Brak analitycznego dowodu.

- Na rys. 35 (str. 45) przedstawiono zależność przełożenia kinematycznego dla dwustopniowej magnetycznej przekładni precesyjnej według zależności $i = N^2$ (24). Brakuje wyjaśnienia, jakie byłoby maksymalne przełożenie kinematyczne, gdyby był inny układ magnesów niż wyznaczony z zależności (23).
- W rozprawie brak jest analizy błędów pomiarów, wynikających z określonych niepewności pomiarowych, klasy dokładności użytych przyrządów pomiarowych, możliwości powtarzalności pomiarów, liczby pomiarów i itd.
- Brak analizy dotyczącej planowania eksperymentu naukowego.

Ogólnie całość treści rozprawy jest zredagowana poprawnie. Poniżej nieliczne, zauważone błędy redakcyjne:

1. Brak odnośników do literatury w tabeli 4 (str. 41).
2. Tabela 11 (str. 99) – brak wyjaśnienia, w jaki sposób dokonano analizy statystycznej wyników pomiarów momentów na wale wejściowym i wyjściowym.
3. (str. 106) Główny drugi wniosek – według mnie jest nieprawidłowo sformułowany. Maksymalna sprawność takiej przekładni wynosi około 30% i nie jest ograniczona maksymalnym momentem, tylko tyle wynosi dla maksymalnego momentu. Dla mniejszych wartości momentów sprawność jest jeszcze niższa niż 30% (rys. 77, str. 95 – zależność sprawności od momentu obciążenia). Należy zaznaczyć, że dla proponowanej przekładni wartość maksymalnego momentu nie przekracza 5 Nm. Nie są to więc duże wartości.
4. Brak informacji, gdzie tego typu przekładnie Autor proponuje zastosować lub gdzie można ją zastosować uwzględniając nierównomierność przenoszenia momentu (dla różnych wartości prędkości obrotowych i obciążeń).

6. Wniosek końcowy

Przedstawione wcześniej uwagi nie umniejszają wartości poznawczych i użytecznych pracy. W świetle dokonanej analizy i przedstawionej oceny rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Łukasza Macyszyna nt. „Budowa i badania dwustopniowej magnetycznej przekładni

precesyjnej”, której opiekunem naukowym i promotorem jest prof. dr hab. inż. Roman Staniek, a promotorem pomocniczym dr inż. Adam Myszkowski mogę stwierdzić, iż:

- cel i zakres pracy został zrealizowany w całości,
- w prawidłowy i metodyczny sposób Autor przeprowadził proces modelowania numerycznego przekładni, potrafi formułować problemy naukowe, oceniać wyniki badań, tworzyć modele matematyczne,
- wybrana tematyka rozprawy doktorskiej jest ważna i aktualna,
- wykonane badania eksperymentalne wykazują znamiona oryginalności rozwiązania problemu naukowego w ujęciu pomiarów wybranych parametrów – możliwość zmiany grubości szczelin powietrznych w przekładni pomiędzy tarczą nieruchomą i pośrednią oraz pomiędzy tarczą pośrednią i wyjściową,
- Autor opracował i wykonał stanowisko badawcze, wyposażone w zestaw czujników i aparaturę kontrolno-pomiarową oraz przygotował konfigurację oprogramowania do rejestracji analizowanych sygnałów, stąd widać, że jest przygotowany i posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia badań oraz prac naukowych,
- wykazał się umiejętnością przeprowadzenia badań eksperymentalnych, naukowych oraz obiektywnością naukową,
- przeprowadzona analiza literaturowa potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie **inżynieria mechaniczna**,
- uzyskał wyniki, które mogą być wykorzystane w innych pracach badawczych i rozwojowych, dzięki temu stworzył podstawy do dalszych badań i ewentualnych zastosowań.

Podsumowując, przedstawiona rozprawa doktorska należy do ważnego obszaru badawczego, związanego z budową i działaniem magnetycznych przekładni precesyjnych. Wykonaną pracę oceniam jako przydatną dla celów praktycznych.

Mgr inż. Łukasz Macyszyn opanował na wymaganym do doktoratu poziomie współczesne metody przeprowadzenia badań, umiał właściwie wykorzystać metody pomiarowe. Ogólnie koncepcję założoną do rozwiązania przedstawionego problemu

badawczego oceniam wysoko. Należy również podkreślić fakt, że uzyskane wyniki pomiarów mają dużą wartość naukową i użyteczną. Przeprowadzone badania modelowe i eksperymentalne oraz sposób ich realizacji świadczą o odpowiednim przygotowaniu Doktoranta do prowadzenia samodzielnej działalności naukowej i badawczej.

Podsumowując recenzję w świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że przedstawiona praca naukowa spełnia wymagania i obowiązujące w tym względzie przepisy stawiane rozprawom doktorskim (art. 13 ust. 1 Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z późniejszymi zmianami Dz. Ustaw z 2017 r., poz. 1789) i może stanowić podstawę do nadania Autorowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Biorąc powyższe pod uwagę **stawiam wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Łukasza Macyszyna do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.**

Dodatkowo, ze względu na bardzo wysokie walory naukowe i nowatorstwo rozprawy wnioskuję o wyróżnienie jej Autora mgr. inż. Łukasza Macyszyna.

