



Lublin 07.08.2022

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ MGR INŻ. ROBERTA GORAJA

zatytułowanej:

***Development of computational methods for improvement of
solenoid valves used in automotive industry***

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Łukasz JANKOWSKI, prof. IPPT

Podstawą do opracowania niniejszej oceny stanowi pismo Zastępcy Dyrektora ds. naukowych Instytutu Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk, dr hab. Marcina Lackowskiego, prof. IMP PAN z dnia 07.06.2022 roku.

1. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

W przedstawionej do oceny rozprawie doktorskiej mgr inż. Robert Goraj przedstawia analityczny model zaworu elektromagnetycznego, jego analizę oraz numeryczny sposób oszacowania wartości poprzecznej siły magnetycznej działającej na rdzeń zaworu ustawiony niesymetrycznie w tulei.

Oceniana rozprawa doktorska została napisana w języku angielskim. Praca składa się z ośmiu głównych rozdziałów stanowiących zasadniczą część merytoryczną. Dodatkowo w rozprawie uwzględniony został jeden załącznik (europejski patent elektromagnetycznego zaworu), spis literatury liczący 65 pozycji oraz streszczenia rozprawy w języku polskim i angielskim.

Bezpośrednio na początku rozprawy Autor formuje główną i pomocniczą tezę pracy doktorskiej oraz przedstawia streszczenia w języku angielskim i polskim omawianej rozprawy. Następnie umieszczony jest spis treści, wykaz rysunków, wykaz oznaczeń oraz przedmowa. Brak jest tytułu rozprawy w języku polskim.

W pierwszym rozdziale (12 stron) będącym wstępem do rozprawy Autor dokonał przeglądu rozwiązań konstrukcyjnych i przedstawia celowość modelowania zaworów elektromagnetycznych. W rozdziale tym zaprezentował również opis własnych pięciu publikacji naukowych, patent europejski zaworu elektromagnetycznego oraz wskazał, że był promotorem pracy licencjackiej dotyczącej tej tematyki. Co ciekawe, wymienione publikacje naukowe oraz patent są pracami indywidualnymi.

Rozdział drugi zatytułowany *"Overview of solenoid applications in the automotive systems"* (5 stron) przedstawia przykładowe zastosowanie zaworów elektromagnetycznych w pojazdach, m.in. w sterowaniu kołami zębatymi, sterowaniu wtryskiem paliwa i zaworami.

W rozdział trzecim *"Analytical method for the estimation of forces acting on the armature of a SV"* (17 stron), Autor przedstawił metodę oszacowania wartości sił magnetycznych działających na rdzeń zaworu, który jest nieosiowo umieszczony w cylindrycznej tulei zaworu. W tym celu na początku określa wartość magnetycznego oraz hydraulicznego lokalnego promieniowego luzu, rozkład prędkości oleju oraz definiuje wielkość siły tarcia. Opisuje również analityczną formułę dla oszacowania efektu ścinania bazując na prawie zachowania masy.

Kolejny rozdział *"Improvement potential due to geometrical modifications"* (9 stron) zawiera modyfikacje modeli matematycznych przedstawionych w poprzednim rozdziale. Autor przedstawia przykłady obliczeniowe pokazujące wpływ wybranych parametrów geometrycznych, między innymi ważnych z praktycznego punktu różnych pomienieni tulei oraz mimośrodowości na wartość sił magnetycznych.

Rozdział piąty *"Impact of the modified geometrical configuration on the temperature distribution in the armature due to the pulse width modulation"* (15 stron) przedstawia analizę temperatury pod wpływem zmian natężenia prądu. Jest to istotny problem, gdyż zmiana prądu w cewce powoduje zmianę pola magnetycznego co prowadzi do powstawania prądów wirowych. Często efekt ten jest upraszczany i strumień magnetyczny traktowany jest jako stały. Należy podkreślić, że prądy wirowe szkodliwie wpływają na sprawność urządzeń elektromagnetycznych.

W kolejnym rozdziale zatytułowanym *"Numerical method for computational of forces acting on the armature of a SV"* (22 strony) przedstawiono numeryczną metodę do wyznaczania sił działających w zaworze elektromagnetycznym dla skomplikowanych przekroi.

Rozdział siódmy *"Improvement potential regarding the armature circumferential geometry"* (8 stron) wykorzystuje numeryczne metody do modyfikacji i poprawy efektywności w geometrii zaworu. Przedstawiona metodologia modyfikacji geometrii zaworu poprzez optymalizację szczelin jest chroniona patentem europejskim EP1992855B1.

Ostatni rozdział rozprawy doktorskiej "*Summary and conclusions*" (3 strony) przedstawia zestawienie najważniejszych wniosków oraz zarysowane dalsze kierunki badań naukowych.

2. OCENA PRZEDŁOŻONEJ ROZPRAWY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Roberta Goraja zatytułowana: „*Development of computational methods for improvement of solenoid valves used in automotive industry*” jest ważna i interesująca, zarówno z naukowego jak i aplikacyjnego punktu widzenia oraz zawiera elementy nowości.

Autor rozprawy bazując na swoich dotychczasowych wynikach postawił tezę naukową, zdefiniował jasno problem do rozwiązania, uzasadnił konieczność prowadzonych badań analityczno-numerycznych oraz zaproponował sposób jego rozwiązania. Moim zdaniem, rozprawa doktorska mgr inż. Roberta Goraja stanowi oryginalne opracowanie Autora oraz zawiera wszystkie niezbędne elementy pracy naukowej. Układ rozprawy doktorskiej jest nietypowy, ale w większości zrozumiały i przejrzysty.

Do najważniejszych osiągnięć Autora zaliczam:

- opracowanie modelu oraz analiza poprzecznej magnetycznej siły działającej na rdzeń zaworu niesymetrycznie ustawiony w tulei. W większości prac naukowych efekt ten jest znacznie upraszczany,
- modyfikacja w geometrii i konstrukcji zaworu a szczególne analiza wpływu grubości ścianki tulei na poprawienie funkcjonalności zaworu,
- zmniejszenie efektu (siły) tarcia pomiędzy rdzeniem a tuleją w zaworze elektromagnetycznym dzięki odpowiedniemu rozmieszczaniu i geometrii kanałów co prowadzi do zmiany czasu przełączania zaworu,
- uwzględnienie w analizie siły hydraulicznej oraz powstającego ciepła w wyniku zastosowania sterowania modulacją szerokości impulsu,
- opracowanie numerycznych metod oraz weryfikację analitycznych wyników badaniami numerycznymi,
- uzyskanie europejskiego patentu EP1992855B1 elektromagnetycznego zaworu przełączającego potwierdzający wyniki wcześniejszych badań.

Przedstawione w rozprawie metody badań, rozwiązania oraz uzyskane wyniki stanowią istotny wkład Autora w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna. Oryginalność oraz nowość przedstawionych w rozprawie doktorskiej wyników i rozwiązań potwierdza europejski patent zaworu elektromechanicznego EP1992855B1 oraz opublikowanie

łącznie 5 artykułów w czasopismach będących na liście MNiSW, w tym również prace posiadające współczynnik wpływu IF: *Archives of Electrical Engineering*, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, *Advances in Science and Technology Research Journal*, *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*, *Engineering Transactions*.

Warto zaznaczyć, że mgr inż. Goraj opublikował 9 prac (wg bazy Scopus na dzień 05.08.2022), które były cytowane 25 razy (15 bez autocytowań) oraz posiada indeks Hirscha $H=3$. Jest to wyniki odpowiedni, dla kandydatów ubiegających się o stopień doktora.

Moim zdaniem mgr inż. Robert Goraj posiada pogłębioną wiedzę teoretyczną oraz praktyczną w zakresie inżynierii mechanicznej, elektrotechniki, modelowania metodą elementów skończonych, modelowania metodą różnic skończonych oraz projektowania układów elektromechanicznych z uwzględnieniem aspektów ich optymalizacji.

Mgr inż. Robert Goraj zdefiniował sobie jasny cel i samodzielnie go rozwiązał. Posiada więc umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

3. UWAGI KRYTYCZNE, PYTANIA MERYTORYCZNE ORAZ DYSKUSYJNE

Podczas recenzji przedstawionej rozprawy doktorskiej nasuwają się następujące wątpliwości, pytania oraz uwagi krytyczne:

1. Rozprawa doktorska opiera się na wynikach przedstawionych w publikacjach naukowych oraz na patencie europejskim w których Autor rozprawy jest jedynym twórcą. Moje zastrzeżenia budzi fakt braku udziału promotora we wspomnianych pracach. Rolą promotora powinno być nadzorowanie i ukierunkowanie doktoranta oraz udział w jego badaniach.

Jaki jest udział promotora w rozprawie i dlaczego brak jest choć jednej publikacji, w której promotor jest współautorem? Czy nie jest to umniejszanie roli promotora w powstałej rozprawie?

2. Autor rozprawy bezpośrednio na początku dysertacji definiuje tezy pracy. Moim zdaniem jest to niezbyt fortunne. Tezy pracy powinny znajdować się po wstępie pracy i przede wszystkim po analizie stanu dotychczasowej wiedzy. Bazując na przeglądzie literatury, możemy jednoznacznie stwierdzić co zostało zrobione, gdzie są luki w obszarach badawczych. Pozwala to na odpowiednie postawienie tez pracy doktorskiej oraz podkreśla ich słuszność. Ponadto taki sposób płynnie wprowadza

czytelnika w tematykę i pozwala na lepsze zrozumienie postawionych tez i celów.

3. Moim zdaniem streszczenia (polskie i angielskie) rozprawy powinny się raczej znaleźć na końcu rozprawy. Jest to bardziej czytelne dla odbiorcy.

4. W rozdziale 7.2 znajduje się tylko jeden podrozdział 7.2.1 (str. 88), dlatego takiego podrozdziału nie powinno się tworzyć. Podrozdziały występują zwykle przy ich większej liczbie. Moim zdaniem informacje w tym rozdziale powinny zostać przedstawione bezpośrednio w rozdziale 7.2.

5. Uważam, że przegląd literatury mógłby być bardziej rozbudowany i bazować na większej liczbie prac naukowych, szczególnie z ostatnich kilku lat. Analiza istniejących modeli zaworów elektromagnetycznych została wykonana na podstawie 12 prac, w tym tylko 3 prace były z ostatnich 10 lat (prace: 12, 16 i 17).

Proszę o odpowiedź doktoranta podczas publicznej obrony jaki jest aktualny stan wiedzy z ostatnich kilku lat na temat modelowania sił magnetycznych w zaworach elektromagnetycznych.

6. Moim zdaniem opis dokonań w pracach naukowych można było pominąć, ze względu na fakt, że są to prace samodzielne i wkład Autora jest oczywisty. Jednak rozumiem intencję Autora, że chciał pokazać co zrobił na poszczególnych etapach kariery.

7. Rysunek 2 (str. 15) ma bardzo dużą liczbę elementów (aż 59). Jednak tylko część z nich jest została opisana w tekście rozprawy. Rozumiem, że niektóre elementy są niezbyt istotne, ale powinny one zostać zdefiniowane w treści lub nie powinny być oznaczone na rysunku.

8. Na str. 21 Autor rozprawy rozwiązując równania 3.3 i 3.4 wyznacza lokalną szczelinę hydrauliczną (równanie 3.5). W równaniach 3.3 i 3.4 parametr r_1 nie występuje a pojawia się w równaniu 3.5. Skąd to wynika?

9. Co Autor rozprawy rozumie przez stwierdzenie "*nominal*" przy definiowaniu hydraulicznego luzu (str. 21) oraz "*complex*" temperatura (str. 53)?

10. Dlaczego Autor wybrał do opisu styku kontaktowego model Greenwooda-Williamsona? Jakie są korzyści z tego modelu? Czy Autor rozprawy zna inne modele do opisu styku kontaktowego?

11. Wydaje mi się, że brakuje jasnego porównanie wyników poprzez zestawienie na kilku rysunkach symetrycznego i niesymetrycznego ustawienia rdzenia w tulei.

12. Dlaczego badania indukowanego ciepła przeprowadzono w przypadku jednego poziomu częstotliwości wymuszenia 15Hz. Jak było kryterium wyboru tego poziomu. Czy Autor rozprawy może skomentować, jak wyglądają wyniki dla innych poziomów częstotliwości wymuszeń?

13. Niektóre pozycje w literaturze są dość wiekowe (np. 65, 55, 47, 21). Czy poziom wiedzy nie zmienił się w ostatnim czasie? Wymienione książki w wykazie literatury powinny mieć zdefiniowany numer wydania.

4. UWAGI EDYCYJNE I JĘZYKOWE

Pod względem językowym przedstawiona do oceny rozprawa doktorska nie budzi moich zastrzeżeń. Autor sprawnie posługuje się naukowym językiem angielskim. Zna pojęcia naukowe i umie je odpowiednio stosować. Pod względem edytorskim praca jest przygotowana prawidłowo. Autor na początku rozprawy umieścił spis oznaczeń zgodny z układem SI, co istotnie ułatwia lekturę rozprawy. Układ pracy pomimo nietypowej formy jest logiczny oraz w większości przejrzysty. Rysunki i oznaczenia na nich są czytelne.

Jednakże Autor nie uniknął pewnych błędów edycyjnych, które jednak nie wpływają na poziom merytoryczny rozprawy:

- mam zastrzeżenia do zastosowanego systemu oznaczeń numeracji wzorów. Wzory powinny być traktowane jako kontynuacja zdania, więc powinny występować w nich oddzielające i wyodrębniające znaki interpunkcyjne (przecinki, kropki). Zwiększa to przejrzystość i zrozumiałość tekstu. Autor rozprawy pomija powyższe znaki lub stosuje je na różne sposoby (np. str. 21, 22),
- brak jednolitego zapisu z wypunktowaniem tekstu (np. str. 9). Autor raz stawia kropkę na końcu a raz nie lub wstawia średniki (np. str. 22),
- w przeglądzie literatury początek zdania raczej nie powinien rozpoczynać się od numeru opisywanej pracy (np. str. 4, 5),
- brak spacji (np. str. 4 " ,,... [12]to ..."),

- brak niektórych parametrów w wykazie (np. p_1 , p_2 , H , F_{kz}),
- moim zdaniem wielkości występujące we wzorach powinny być opisane w tekście rozprawy szczególnie występują pierwszy raz (pomimo zawarcie w wykazie oznaczeń),
- niejednolity podpis rysunków. Autor rozprawy w przypadku dwóch rysunków obok siebie podpisuje je w większości "left" i "right". W niektórych miejscach istnieje nomenklatura (a) i (b) (np. str. 66),
- brak podpisu niektórych tabel (str. 67, 68),
- błąd w jednostce (Tabela 3, str. 78: powinno być Ns/m^2 – jest $Ns/m2$),
- jednostki w niektórych tabelach są pisane w nawiasach kwadratowych (np. str. 80), a w niektórych bez nawiasów (str. 78),
- podobnie z zapisem jednostek w tekście rozprawy. W niektórych miejscach jednostki są zapisywane w nawiasach kwadratowych (np. str. 43, 83), w innych miejscach bez nawiasów (np. str. 87, 89),
- różny rozmiar czcionki opisujących osie na rysunkach (np. Fig. 37, str. 86),
- w wykazie literatury dwa razy występuje ta sama pozycja (65 i 51),
- źródła internetowe w wykazie literatury powinny mieć zdefiniowaną datę dostępu),
- pozycje książkowe w wykazie literatury powinny zawierać numer wydania,
- mam zastrzeżenia do rysunków w rozdziale 7, które z nieznanых powodów są czarno-białe (Fig. 34, 35, 36, 39, 40, 41). Istotnie zmniejsza to ich czytelność.

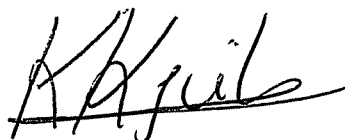
5. OCENA ROZPRAWY I WNIOSEK KOŃCOWY

Oceniając całość rozprawy doktorskiej uważam, że Doktorant wykazał się dobrą wiedzą teoretyczną w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych. Doktorant wykazał się także bardzo dobrą znajomością badanej problematyki. Udowodnił, że posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej. Całościowa ocena recenzowanej rozprawy doktorskiej jest pozytywna. Praca doktorska dotyczy ważnego problemu o istotnym znaczeniu praktycznym. Otrzymane wyniki pozwoliły wzbogacić istniejącą wiedzę oraz stanowią oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego.

Biorąc pod uwagę wartość naukową, poznawczą oraz wyraźny wkład własny Autora stwierdzam, że pomimo zawartych uwag, przedstawiona do oceny rozprawa doktorska „*Development of computational methods for improvement of solenoid valves used in*

automotive industry", spełnia wszystkie aktualnie obowiązujące ustawowe wymogi stawiane pracom doktorskim i stanowi podstawę merytoryczną do ubiegania się o stopień doktora nauk inżynieryjno-technicznych.

Wobec tego stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Roberta Goraja do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'K. Kęcik', with a horizontal line drawn through the middle of the signature.

dr hab. inż. Krzysztof Kęcik, prof. uczelni