

Prof. dr hab. inż. Wojciech Sumelka
Politechnika Poznańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu
Instytut Analizy Konstrukcji
ul. Piotrowo 5, 60-965 Poznań
wojciech.sumelka@put.poznan.pl

Poznań, 29.08.2022r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej
mgr inż. Roberta Goraja

1. Podstawa formalna recenzji

- Umowa o dzieło nr 29.06/D/1 z dnia 29.06.2022r. z Instytutem Maszyn Przepływowych PAN reprezentowanym przez dr. hab. Marcina Lackowskiego;
- Ustawa z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595, z póź. zm.);
- Ustawa z dnia 3 lipca 2018 Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669, z póź. zm.).

2. Sylwetka Doktoranta

Pan mgr inż. Robert Goraj uzyskał stopień magistra inżyniera (w specjalności mechanika) w 2003 roku na Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie oraz w 2004 roku uzyskał drugi dyplom (w specjalności elektrotechnika i automatyka) na Uniwersytecie Technicznym w Clausthal w Niemczech. W latach 2004-2007 pracował w INA-Schaeffler KG w Herzogenaurach w Niemczech, a w latach 2007-2019 pracował w Siemens Corporate Technology w Erlangen w Niemczech będąc zaangażowanym przy różnych projektach badawczo-rozwojowych dotyczących komponentów mechanicznych i elektromagnetycznych. Od 2019 roku Kandydat pracuje w Rolls Royce w Erlangen

w Niemczech. Doktorant jest autorem i współautorem 13 publikacji naukowych, w tym publikacji w prestiżowych czasopismach z listy JCR. Publikacje naukowe Kandydata, wg. bazy Scopus, uzyskały w chwili pisania recenzji 25 cytowań (h-index=3).

3. Charakterystyka i ocena rozprawy

3.1. Zawartość rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Roberta Goraja pt. „Development of computational methods for improvement of solenoid valves used in automotive industry” obejmuje 116 stron (w tym 10 stron początkowych: teza, streszczenie, spis treści, spis rysunków, spis oznaczeń), w tym: słowo wstępne, 8 rozdziałów, spis literatury o łącznej liczbie 65 pozycji (w tym 1 publikacja autorska Kandydata). W pracy postawiono tezę główną i dodatkową, wskazujące na możliwość poprawy konstrukcji zaworu elektromagnetycznego, w sensie redukcji sił tarcia wiskotycznego bez istotnego pogorszenia parametrów elektromagnetycznych. Rozprawa łączy aspekty oryginalnego rozwiązania problemu naukowego i konstrukcyjnego.

W rozdziale 1 Doktorant wprowadza do tematyki projektowania zaworów elektromagnetycznych. W kolejnych podrozdziałach omówione zostają: literatura tematu, wkład autora przez pryzmat publikacji autorskich i patentu autorskiego, oraz struktura rozprawy.

Rozdział 2 poświęcony jest krótkiemu przeglądowi zastosowania zaworów elektromagnetycznych w przemyśle samochodowym. Kandydat w przystępny sposób wskazuje na kluczowe elementy zaworów w danym rozwiązaniu oraz zasadę ich działania, co wskazuje na istotne doświadczenie konstruktorskie.

W rozdziale 3 Doktorant wyprowadza uproszczone analityczne oszacowanie kluczowych sił działających na zawór elektromagnetyczny w trakcie jego użytkowania (równowaga statyczna). Kolejno zostają omówione: najistotniejsze parametry geometryczne wpływające na pracę zaworu; rola oleju wypełniającego jego wnętrze; działanie sił wiskotycznych, działanie sił elektromagnetycznych, działanie sił kontaktowych i tarcia.

Rozdział 4, bazując na modelu opracowanym w Rozdziale 3, obejmuje przykłady możliwych modyfikacji geometrii zaworu. W konkluzji wykazuje się, iż zaproponowana metodologia umożliwia istotną poprawę kluczowych parametrów pracy zaworu elektromagnetycznego, np. kilkudziesięcioprocentową poprawę siły osiowej.

Rozdział 5 poświęcony jest analizie ciepła indukowanego w wyniku sterowania typu PWM. Opracowane zostaje uproszczone rozwiązanie analityczne postawionego problemu oraz omówiony zostaje wpływ geometrii na ciepło indukowane, a tym samym wpływ na sprawność zaworu.

W rozdziale 6 Kandydat omawia implementację numeryczną wykorzystując metodę różnic skończonych. Istotnym elementem rozważań jest transformacja rzeczywistej geometrii do układu ortogonalnego. Ponadto przedstawiono analizę zbieżności i walidację z rozwiązaniem analitycznym.

Rozdział 7 w całości poświęcony jest propozycji oryginalnej modyfikacji zaworu elektromagnetycznego z wykorzystaniem prototypowania numerycznego wg. algorytmu omówionego w Rozdziale 6. Zaproponowane rozwiązanie konstrukcyjne zmniejsza w szczególności zużycie zaworu oraz zmniejsza zużycie energii.

Rozprawę kończy rozdział 8, gdzie podsumowano oryginalne osiągnięcia i wyznaczono możliwe ścieżki dalszego rozwoju zaproponowanych metod obliczeniowych i rozwiązań konstrukcyjnych.

3.2. Ocena merytoryczna rozprawy

3.2.1. Uwagi ogólne

Przedmiotowa rozprawa traktuje o ważnych problemach w inżynierii mechanicznej o znaczeniu praktycznym, w tym prowadząc (potencjalnie) do rozwiązań bardziej trwałych oraz energooszczędnych. Można zatem stwierdzić, iż Doktorant trafnie zdefiniował tematykę rozprawy, w tym tezę. W tym miejscu warto dodać, iż w zakończeniu brakuje odniesienia do tezy głównej i dodatkowej.

Praca napisana jest na dobrym poziomie edytorskim, przystępnie i jednocześnie wykazuje na duże doświadczenie praktyczne Doktoranta. Należy dodać, iż wykorzystany w rozprawie język angielski nie budzi zastrzeżeń.

Strukturę rozprawy, choć jest ona logiczna, należałoby zmodyfikować. Rozprawa jest w wielu miejscach bardzo zwięzła i np. generowanie z 4 stron osobnego rozdziału (Rozdział 2) wprowadza niepotrzebne wydzielanie treści.

3.2.2. Uwagi główne

Rozdział 1 jest zbyt skrótowy. Dyskusja obejmuje zaledwie 65 prac, w tym tylko 10 z ostatniej dekady, zdecydowanie brakuje omówienia najnowszych osiągnięć nauki i techniki. Ponadto nie jest zrozumiałe dlaczego Kandydat nie włączył do spisu literatury własnych publikacji, które zestawiono na stronie 6 rozprawy. Odniesienie do istotnej pozycji [1] winno być bardziej szczegółowe, aby utwierdzić przekonanie o oryginalności opisywanych w tekście osiągnięć.

Rozdział 2 jest zbyt krótki, o czym wspomniałem powyżej. Przedstawione rysunki nie są w całości opisane w tekście. Ponadto winno się raczej omówić ew. 'braki' w prezentowanych w przeglądzie zaworach, aby tym bardziej docenić rozważania przedstawione w rozprawie.

Rozdział 3, nie budzi większych zastrzeżeń. Kolejne części rozważań wprowadzane są w sposób logiczny i umożliwiają powtórzenie przyjętego toku rozumowania. Niemniej rysunki 7, 8 i 10 należałoby uzupełnić o brakujące oznaczenia wprowadzane w tekście, np. h_b winno być zaznaczone na rys. 7. Ponadto, wprowadzając pewne uproszczenia np. (3.39), Kandydat mógłby dodać komentarz, jakie efekty nie będą objęte modelem (np. założenie (3.39) skutkuje błędem opisanym z rozdz. 6.6). Pominęto problematykę wpływu warstwy przysciennej – czy należy przez to rozumieć iż w analizowanej skali technicznej nie ma ona większego wpływu? Rozdział 3 winien być podsumowany liczbą parametrów modelu.

W Rozdziale 4, dotyczącym analizy parametrycznej modelu opisanego w rozdziale 3, winno się rozpocząć od podania wartości wszystkich parametrów modelu wraz z jednostkami. Kandydat, mógłby dodatkowo skomentować w jakim sensie przyjęte rozwiązanie jest optymalne, jakie są inne możliwe konfiguracje. Nie jest z lektury rozdziału wiadome, jaka była funkcja celu i czy nie lepsze byłoby podejście wielokryterialne przy tak dużej liczbie parametrów.

Rozdziały 5 nie budzi istotnych zastrzeżeń. Rozważania są logiczne i precyzyjnie określono założenia. Uzyskane rozwiązania analityczne są istotne z punktu widzenia praktycznych zastosowań i umożliwiają szybkie wirtualne prototypowanie bez konieczności wykonywania żmudnych obliczeń numerycznych. Niemniej, wydaje się zasadnym, aby dla pełniejszego obrazu porównać wyniki z obliczeniami numerycznymi w jednym z zaawansowanych programów komercyjnych, np. wspomniane przez Kandydata Comsol, Ansys czy Abaqus.

Rozdział 6, traktujący o aproksymacji MRS, stanowi jedno z ważniejszych osiągnięć Doktoranta. Rozważania nad kluczową transformacją analizowanego (skomplikowanego) obszaru w obszar o regularnej, prostokątnej geometrii są bardzo staranne i umożliwiają czytelnikowi zrozumienie każdego przekształcenia. Pewien niedosyt zostawia podrozdział 6.6, zbyt skrótowo potraktowano wpływ N_r oraz nie podano szczegółowej analizy wpływu stosowania gęstszej siatki w obszarach, które tego wymagają, to jest w pobliżu punktu kontaktu rdzenia z tuleją.

Rozdział 7, stanowiący niejako potwierdzenie postawionej na wstępie tezy, jest wyczerpującym studium przypadku zaworu chronionego patentem Kandydata. Przedstawiona analiza w pełni wykorzystuje opracowaną aproksymację z rozdziale 6 (z zachowaniem jakości siatki MRS), a prezentowane wykresy i mapy umożliwią czytelnikowi zrozumienie wpływu zastosowania optymalnej grubości tulei i średnicy rdzenia oraz konsekwencji wprowadzenia wzdłużnych wyłobień zewnętrznej powierzchni rdzenia.

Podsumowanie pracy jest zgodne z uzyskanymi rezultatami, niemniej brakuje odniesienia do zdefiniowanych na wstępie rozprawy tez. Wyznaczone kierunki dalszego rozwoju pozwalają stwierdzić, iż tematyka badawcza omawiana w rozprawie może być kontynuowana i rozwijana.

3.2.3. Uwagi szczegółowe

- brakuje ujednolicenia rysunków;
- wzory są częścią zdania i winny być zakańczane stosownymi znakami interpunkcji.

3.3. Podsumowanie

Jako najważniejsze wartościowe, nietypowe i oryginalne elementy przedstawionej rozprawy należy wymienić:

1) Opracowanie analitycznego modelu zaworu elektromagnetycznego umożliwiającego w szczególności:

- (i) uwzględnienie niecentrycznego położenia rdzenia zaworu w tulei oraz
- (ii) analizę sił magnetycznych, hydraulicznych, tarcia i ciepła indukowanego podczas pracy zaworu.

2) Numeryczna implementacja opracowanego modelu analitycznego z wykorzystaniem:

(i) analitycznej transformacji analizowanego obszaru w obszar o regularnej, prostokątnej geometrii,

(ii) metody różnic skończonych i

(iii) iteracyjnej metody Gaussa–Seidela.

3) Propozycja konstrukcyjnych i geometrycznych modyfikacji zaworu elektromagnetycznego oraz ocena ich wpływu na funkcjonalność zaworu (zwiększenie wypadkowej siły osiowej działającej na rdzeń podczas procesu przełączania), w szczególności optymalizacja grubości tulei i średnicy rdzenia oraz wprowadzenie wzdłużnych wyźłobień zewnętrznej powierzchni rdzenia.

Ponadto, praktyczne znaczenie aplikacyjne wyników podkreśla fakt, że jedna z zaproponowanych modyfikacji jest chroniona europejskim patentem (EP 1992855 B1), którego wyłącznym autorem jest autor rozprawy.

W konkluzji, opiniowana rozprawa doktorska w pełni zasługuje na pozytywną ocenę. Sformułowane w recenzji uwagi krytyczne/pytania mają na celu wyłącznie podniesienie szczegółowości wypowiedzi. Osiągane w rozprawie oryginalne rezultaty, mogą ponadto stanowić bazę do dalszego rozwoju naukowego oraz bezpośrednie zastosowanie w przemyśle. Pewnym istotnym mankamentem jest brak jakiegokolwiek odniesienia do eksperymentu.

4. Wniosek końcowy

Stwierdzam, iż rozprawa doktorska mgr. inż. Roberta Goraja pt. „Development of computational methods for improvement of solenoid valves used in automotive industry” stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego oraz rozwiązanie problemu konstrukcyjnego, a Kandydat wykazał ogólną wiedzę teoretyczną z zakresu analizy zagadnień modelowania problemów wielopolowych na przykładzie zaworów elektromagnetycznych oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Roberta Goraja pt. „Development of computational methods for improvement of solenoid valves used in automotive industry” spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595, z póź. zm.). Wnioskuje o jej przyjęcie i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Wyrażeń

