

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mohanada Al-Karawi

pt.: „Carbon Nanotubes Applications for Friction Reduction in Transport Engineering”

1. WSTĘP

Podstawa opracowania recenzji: pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej nr RD/d/42/02/2024 z dnia 29.10. 2024 r. Pana prof. dr. hab. inż. Jacka Pielechy.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Mohanada Al-Karawi pt. „Carbon Nanotubes Applications for Friction Reduction in Transport Engineering”, wykonana pod kierunkiem dr. hab. inż. Jarosława Kałużnego, prof. PP z Wydziału Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki (promotor pomocniczy: dr inż. Marek Nowicki zatrudniony na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej.).

Rozprawa doktorska mgr. inż. Mohanada Al-Karawi została przygotowana w **dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w zakresie dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport.**

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Tarcie jako zjawisko fizyczne towarzyszące przemieszczaniu się względem siebie dwóch ciał fizycznych stykających się ze sobą towarzyszy nam powszechnie. W związku z tym, że efektem tego zjawiska są straty energii (rozpraszanie energii podczas ruchu), człowiek od zarania dziejów starał się zmniejszać wartość tej siły, a co za tym idzie zmniejszać ilość

energii doprowadzanej w celu wykonania pracy oraz ograniczać zużycie współpracujących ze sobą powierzchni par trących.

W naukach technicznych nie można oczywiście zapominać o pozytywnym aspekcie występowania siły tarcia, na przykład w połączeniach rozłącznych bezpośrednich kształtowych czy w układach opona - nawierzchnia drogi lub okładzina cierna - element hamulca, lecz nie tej części problematyki związanej ze zjawiskiem tarcia dotyczy niniejsza praca.

W celu zminimalizowania siły tarcia i zużycia elementów maszyn i urządzeń stosuje się różne środki smarne, a zastosowanie różnych dodatków do konwencjonalnych środków smarnych, takich jak tlenek miedzi, tlenek żelaza czy tlenek grafenu, stanowi duże zainteresowanie zarówno ze strony nauki jak i przemysłu.

Na tym tle, zastosowanie nanocząstek ma swoje unikalne zalety i stanowi stosunkowo nową grupę dodatków do środków smarnych, a dotychczasowe badania wykazały, że włączenie nanostrukturyzowanego węgla, w szczególności nanorurek węglowych (CNT), do oleju smarowego może zmniejszyć straty tarcia. Nanocząstki charakteryzują się takimi właściwościami, jak niska reaktywność z innymi dodatkami smarnymi, dużym prawdopodobieństwem tworzenia filmu na różnych typach powierzchni oraz nieznaczną lotnością, a co za tym idzie - wytrzymałością na wysokie temperatury i zwiększoną trwałością.

Dodatkowo należy zauważyć, że zrealizowane w ramach pracy doktorskiej badania dotyczyły w znaczącej części tłokowego silnika spalinowego, a eksperyment dotyczył badania wpływu pokrycia powierzchni bocznej (prowadzącej) tłoka prowadzenia nanorurkami węglowymi oraz wprowadzenia ich do oleju smarowego, na wartość współczynnika tarcia w układach ruchowych silnika (tłok-pierścienie-cylinder oraz łożyska główne i korbowe) oraz drgań w układzie korbowo-tłokowym.

Pozytywne wyniki pozwalają nie tylko na ocenę zastosowania nanorurek w aspekcie tribologicznym, ale również energetycznym i ekologicznym, ponieważ wpływają pośrednio na zmniejszenie zużycia paliwa oraz emisję związków szkodliwych w spalinach.

Rozprawa liczy 123 strony tekstu w języku angielskim, obejmującego 6 rozdziałów (w tym wprowadzenie), podsumowanie, streszczenia w języku angielskim i polskim, spis rysunków i tabel oraz spis oznaczeń. Literatura zestawiona na str. 113 – 123 stanowi 178 dobrze dobranych pozycji literaturowych i opracowań. Bibliografia obejmuje prawie w całości zagraniczne pozycje literaturowych, spośród nich większość została napisana w języku angielskim, z wyjątkiem czterech publikacji w języku niemieckim. Tylko dwie cytowane prace zostały napisane w języku polskim.

Autor rozprawy jest współautorem dwóch cytowanych pozycji literaturowych.

Tematyka podjęta przez Autora jest aktualna i spełnia warunki znamion oryginalnego problemu naukowego, do którego rozwiązania jest niezbędna ogólna wiedza teoretyczna i praktyczna Kandydata w dyscyplinie naukowej „Inżynieria lądowa, geodezja i transport” i wymaga umiejętności samodzielnego prowadzenia przez Autora pracy naukowej.

Zaproponowany przez Autora zakres pracy obejmował:

- przegląd literaturowy dotyczący nanomateriałów, ze szczególnym uwzględnieniem nanorurek węglowych (CNT), oraz ich zastosowania w technice;
- badania symulacyjne, oparte na symulacji dynamiki molekularnej z wykorzystaniem oprogramowania LAMMPS;
- badania wpływu pokrycia tłoka nanorurkami węglowymi oraz dodawania nanostrukturyzowanego węgla do oleju smarowego na parametry pracy silnika w warunkach dynamicznych.

Przedstawiono również hipotezę naukową, sformułowaną następująco:

Nanorurki węglowe wprowadzone do łożyska ślizgowego pozwalają na skuteczne zmniejszenie wartości tarcia ślizgowego i drgań wywołanych tarciem

(w oryginale: *Carbon nanotubes introduced to the journal bearing allow for efficient reduction of sliding friction and friction-induced vibrations*)

Rozprawę zamykają syntetycznie ujęte wnioski oraz podsumowanie, które korespondują bezpośrednio z celem przeprowadzonych analiz i badań.

Układ pracy uważam za właściwy dla rozpraw doktorskich. W pracy wyraźnie wyodrębniono elementy opisu stanu wiedzy związanej z tematem rozprawy oraz elementy własnego wkładu Autora w rozwiązanie postawionego sobie zadania naukowego.

W pracy został sprecyzowany cel naukowy, przedstawiona hipoteza naukowa, metodyka badań, ich wyniki, analiza tych wyników a także sformułowano oryginalne wnioski.

3. OCENA ROZPRAWY

Pod względem merytorycznym i metodycznym oceniam recenzowaną pracę wysoko, co nie oznacza, że praca nie posiada błędów i usterek, które jednak nie rzutują na ogólną ocenę pracy.

Układ logiczny treści rozprawy, odpowiadający tokowi prowadzonych analiz i badań, jest prawidłowym metodycznie ciągiem czynności badawczych, powodującym, że układ treści jest przejrzysty, bez powtórzeń i luk.

Uważam, że cele pracy zostały osiągnięte, a uzyskane wyniki mają dużą wartość zarówno poznawczą, jak i praktyczną.

Na szczególne wyróżnienie, upoważniające mnie do takiej oceny rozprawy, zasługują następujące elementy:

1. Praca ma charakter interdyscyplinarny, ponieważ dotyczy zastosowania nanorurek węglowych w silnikach spalinowych, zarówno w postaci naniesionej powłoki na tłok, jak i dodatku do oleju smarowego, a tym samym obejmuje zagadnienia właściwe dla dyscyplin naukowych związanych z transportem, inżynierią mechaniczną, inżynierią materiałową i technologią chemiczną. Interdyscyplinarność pracy jest jej bardzo dużym atutem i pozwala na uzyskanie wartościowych wyników.
2. Praca dotyczy aktualnie istotnych zagadnień naukowych i inżynierskich, które można zastosować w celu poprawy ekologiczności transportu przez zmniejszenie tarcia i energochłonności poprzez zastosowanie nanorurek węglowych, a co za tym idzie zmniejszenie zużycia tribologicznego elementów silnika oraz emisji związków szkodliwych w spalinach (zwłaszcza dwutlenku węgla, który przekłada się wprost na zmniejszenie zużycia paliwa).
3. W pracy opisano wiele innowacyjnych eksperymentów z zastosowaniem nanorurek węglowych. Część badawcza pracy jest obszerna, co stanowi niewątpliwie zaletę pracy, a wynik głównego eksperymentu, polegający na dodaniu nanorurek węglowych do oleju silnikowego przy zachowaniu zaledwie śladowego stężenia nanorurek przyniósł doskonały rezultat w postaci znacząco zmniejszonego tarcia i drgań kadłuba silnika.
4. Autor rozprawy jest współautorem publikacji w czasopiśmie *Tribology International*, gdzie opisany został wspomniany wcześniej eksperyment z nanorurkami dodanymi do oleju silnikowego. Praca ta jest szeroko cytowana w czasopismach z dziedziny tribologii i inżynierii materiałowej.

5. Uzyskane w pracy wyniki mogą mieć duże znaczenie aplikacyjne.

Mam również uwagi krytyczne, niekiedy o charakterze dyskusyjnym, a także zapytania w sprawach nie do końca dla mnie jasnych:

1. Praca jest niekiedy zbyt szczegółowa w kwestiach wiedzy podstawowej, a wiele informacji zawartych w rozdziałach wprowadzających ma charakter na tyle ogólny, że być może mogłaby zostać pominięta. Przykładem jest tutaj budowa tłokowego silnika spalinowego. Możliwe jednak, że inni odbiorcy tej interdyscyplinarnej pracy, zajmujący się inżynierią materiałową, uznają, że nie te, lecz inne fragmenty wprowadzenia są oczywiste i mogłyby zostać pominięte. Jest to zatem uwaga dyskusyjna.
2. Język pracy jest w zasadzie poprawny, jednak cechuje się charakterem bardzo opisowym, niekiedy zbyt rozwlekłym, z powtórzeniami. W niektórych miejscach opis z kolei jest zbyt lakoniczny i brakuje mu jednoznaczności.
3. Najsłabszą częścią pracy jest rozdział dotyczący symulacji komputerowych z wykorzystaniem modeli dynamiki molekularnej. W zamyśle Autora pracy ten rozdział miał pozwolić na zrozumienie mechanizmów tribologicznych, indukowanych przez nanomateriały zawieszane w oleju znajdującym się w szczelinie smarnej, jednak w rzeczywistości symulacje są bardzo uproszczone, z abstrakcyjnymi warunkami początkowymi, w których zakłada się, że w szczelinie smarnej znajduje się nanomateriał węglowy, ale nie ma w ogóle oleju. Uzyskane wyniki symulacji mają zatem wątpliwą wartość praktyczną. Autor w ogóle nie odnosi tych wyników do części eksperymentalnej, co pozwala wprost na konkluzję, że rozdział dotyczący symulacji komputerowych można by z recenzowanej rozprawy usunąć.
4. W pracy są liczne błędy edytorskie, formatowanie tekstu nie jest spójne. Przykładowo bibliografia od początku do pozycji 28 sformatowana jest inaczej niż jej pozostała część.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej stwierdzam, że:

- Autor dokonał trafego wyboru tematyki swojej pracy;
- Cele pracy i hipoteza naukowa zostały osiągnięte oraz potwierdzone badaniami;

- Formalno-redakcyjny układ rozprawy jest dobry;
- Rozprawa spełnia kryterium logicznej poprawności.

W moim przekonaniu fakty te świadczą o wystarczających kompetencjach Autora w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

W związku z powyższym uważam, że rozprawa mgr. inż. Mohanada Al-Karawi pt. „Carbon Nanotubes Applications for Friction Reduction in Transport Engineering” (dr. hab. inż. Jarosława Kałużnego, prof. PP), **spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim** zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn.zm.), **a mgr inż. Mohanad AL-KARAWI może być dopuszczony do jej publicznej obrony.**



dr hab. inż. Tomasz Kniżewicz