

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Mohanada Al-Karawi

pt. Carbon Nanotubes Applications for Friction Reduction in Transport Engineering

w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora

w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa,
geodezja i transport.

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej, Pana prof. dr. hab. inż. Jacka Pielechy nr RD/d/42/01/2024 z dnia 29.10.2024 r.

Niniejsza recenzja została opracowana zgodnie z wymaganiami określonymi w art. 219 Ustawa Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.) oraz Regulaminem nadawania stopnia doktora na Politechnice Poznańskiej, który stanowi załącznik do Uchwały Nr 143/2020-2024 Senatu Akademickiego Politechniki Poznańskiej z dnia 5 lipca 2023 r.

Dokumentację merytoryczną do sporządzenia recenzji stanowił egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mohanada Al-Karawi pt. *Carbon Nanotubes Applications for Friction Reduction in Transport Engineering*.

2. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy

Rozprawa doktorska autorstwa mgr. inż. Mohanada Al-Karawi dotyczy problematyki wykorzystania wielościennych nanorurek węglowych w transporcie. Ze względu na unikalne cechy nanorurek węglowych prezentowane w pracy badania dotyczą zagadnień tarcia i smarowania. Wstęp do pracy stanowi prezentacja nanotechnologii i nanorurek węglowych, ze

szczególnym uwzględnieniem metod wytwarzania nanorurek węglowych, ich własności oraz opisywanych w literaturze zastosowań. W dalszej części Autor przedstawia metodologię, cel oraz tezy pracy i przechodzi do części zasadniczej. Oryginalne osiągnięcie Autora stanowi oparta na modelach dynamiki molekularnej symulacja mechanizmów tribologicznych związanych z obecnością nanorurek węglowych w węzłach tarcia oraz przede wszystkim wyniki eksperymentów z zastosowaniem nanorurek węglowych do zmniejszenia strat tarcia oraz drgań tłokowego silnika spalinowego. Te badania uzupełnione są testami smarów z dodatkiem nanomateriałów węglowych prowadzonych w tribometrze. Całokształt pracy ma spójną, przemyślaną strukturę i składa się z 6 zasadniczych, ponumerowanych rozdziałów o rozbudowanej strukturze składającej się z wielu podrozdziałów (w strukturze pracy znajduje się także krótki rozdział 7 – Summary, który nie został uwzględniony w spisie treści jako rozdział, natomiast w treści rozprawy ma taką nazwę). Ponadto w pracy zawarte jest 86 rysunków i 24 tabel, a także spis bibliografii zawierający 180 pozycji literaturowych i opracowań, w tym 178 pozycji literaturowych zagranicznych. Spośród nich znaczna większość została napisana w języku angielskim. Wyjątek stanowią cztery publikacje w języku niemieckim. Dwie cytowane prace, które zostały napisane w języku polskim, to rozprawa doktorska i habilitacyjna Promotora pracy. Bibliografia zawiera także 2 artykuły naukowe, w których Doktorant jest współautorem (pozycja 3 i 6 w spisie literatury). Jeden z tych artykułów ukazał się w czasopiśmie *Tribology International*, które - zgodnie z aktualną listą MEiN - ma najwyższą możliwą punktację i jest cytowany przez wielu naukowców. Całość pracy zawarta jest na 123 ponumerowanych stronach. Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr. hab. inż. Jarosław Kałużny, prof. PP, natomiast promotorem pomocniczym jest dr. inż. Marek Nowicki.

3. Ocena doboru tematu rozprawy

Prowadzenie badań nad technologiami silników spalinowych nabiera szczególnego znaczenia w kontekście globalnych trendów związanych z elektryfikacją transportu. Mimo, że pojazdy elektryczne są promowane jako kluczowy element strategii zrównoważonego rozwoju, ich zastosowanie w wielu sytuacjach wiąże się z istotnymi ograniczeniami. Pojazdy elektryczne wykazują niższą efektywność operacyjną w warunkach ekstremalnych temperatur, dysponują krótszym zasięgiem operacyjnym. Wymagają przy tym długiego czasu ładowania. Co więcej, w wielu regionach infrastruktura ładowania jest nadal niewystarczająca, co również stanowi istotne ograniczenie.

Wobec tych wyzwań, badania nad rozwojem i doskonaleniem technologii silników spalinowych są nie tylko zasadne, ale także niezbędne. Poprawa sprawności silników spalinowych, redukcja emisji i zmniejszenie zużycia paliwa przyczyniają się do ograniczenia

negatywnego wpływu transportu na środowisko, jednocześnie umożliwiając zachowanie wysokiej funkcjonalności pojazdów w szerokim zakresie warunków użytkowania.

Straty energii w procesie tarcia są nieuniknione dla wszystkich koncepcji pojazdów. Szczególnie w przypadku silników spalinowych, charakteryzujących się wieloma parami kinematycznymi, straty tarcia odgrywają kluczową rolę w sprawności ogólnej i zużyciu paliwa oraz w rezultacie w emisji dwutlenku węgla. Pozytywne wyniki badań dotyczących możliwości zmniejszenia tarcia wewnętrznego w silnikach i obniżenia zużycia paliwa, mogą przełożyć się na redukcję emisji spalin i niższe zużycie zasobów energetycznych. Dzięki temu transport staje się bardziej ekologiczny i efektywny energetycznie, co jest kluczowe dla realizacji globalnych celów środowiskowych, takich jak ograniczenie emisji gazów cieplarnianych i ochrona zasobów naturalnych.

Dodatki redukujące tarcie mogą również przyczynić się do zwiększenia trwałości i niezawodności silników, co wpływa na zmniejszenie zapotrzebowania na surowce do produkcji nowych części oraz zmniejsza ilość odpadów powstających w wyniku serwisowania i wymiany komponentów. W kontekście zrównoważonego rozwoju transportu badania nad takimi dodatkami wspierają dążenia do ograniczenia negatywnego wpływu transportu na środowisko oraz promują bardziej oszczędne i przyjazne środowisku technologie napędowe, wpisując się w cele neutralności klimatycznej.

Powyższe niewątpliwie stało się genezą recenzowanej rozprawy. Doktorant w swojej pracy, a także w publikacji zamieszczonej w piśmie *Tribology International* wykazuje, że nanorurki węglowe, dodane w śladowych zaledwie ilościach do oleju silnikowego, mogą znacząco zmniejszyć straty tarcia silnika, a w jeszcze większym stopniu ograniczyć jego drgania. Wprawdzie praktyczne zastosowanie tego odkrycia nie jest wcale łatwe i istnieje szereg ograniczeń, związanych przede wszystkim ze stabilnością zawiesiny nanorurek węglowych w oleju, jednak już sama koncepcja stanowi niewątpliwie kluczowe osiągnięcie recenzowanej pracy.

Należy również podkreślić uniwersalność proponowanego rozwiązania. Tarcie i związane z nim straty energii nie dotyczą wyłącznie tłokowych silników spalinowych, ale również innych mechanizmów w pojazdach – jak chociażby przekładni, przegubów czy łożyskowania silników elektrycznych. Dlatego badania wykonane na silniku spalinowym, polegające na dodawaniu nanorurek węglowych do oleju oraz nanoszeniu warstw nanorurek na powierzchnię boczną tłoka mają dużą wartość poznawczą. Wyniki tych badań mogą być odniesione także do węzłów tarcia niezwiązanych z tłokowymi silnikami spalinowymi. Nanorurki węglowe mogą ograniczać nie tylko tarcie w łożyskach ślizgowych tłokowych silników spalinowych, ale prawdopodobnie także mogą zostać użyte jako dodatek do smaru plastycznego przeznaczonego do łożysk tocznych ogólnego przeznaczenia.

Praca Doktoranta łączy wiedzę z zakresu transportu, szczególnie budowy i eksploatacji tłokowych silników spalinowych z inżynierią materiałową. Wybór nanorurek węglowych jako dodatku do olejów i smarów, jest uzasadniony i dobrze wpisuje się w najnowsze trendy badań. Nanorurki węglowe są materiałem o wyjątkowych właściwościach mechanicznych, elektrycznych i cieplnych, co czyni je bardzo atrakcyjnymi dla wielu zaawansowanych zastosowań. Wytwarzane są masowo od początku lat 2000, jednak przez długi okres wysoka cena produkcji ograniczała ich szerokie wykorzystanie. Dopiero w ostatnich latach, dzięki postępowi w technologiach produkcyjnych, udało się znacznie obniżyć koszty ich wytwarzania. Dalsze doskonalenie procesów produkcyjnych, w tym wykorzystanie bardziej efektywnych katalizatorów i zoptymalizowanych warunków syntezy sprawiają, że cena nanorurek węglowych spadła, co otworzyło je na rynek masowy i różnorodne zastosowania. Niemniej jednak - pomimo tego, że nanomateriały węglowe wykazują unikalne, bardzo pożądane właściwości mechaniczne - ich zastosowanie przemysłowe jest nadal bardzo ograniczone. Tę rozbieżność wytłumaczyć można przede wszystkim brakiem wystarczającej wiedzy o nanomateriałach węglowych, co czyni pracę Doktoranta jeszcze bardziej wartościową. Wyniki badań prezentowanych w rozprawie przedstawiają duży potencjał do ich dalszego wykorzystania w celach wdrożeniowych. Zatem realizacja rozprawy doktorskiej stanowi przykład dobrze rozumianych badań stosowanych.

Reasumując stwierdzam, że temat recenzowanej rozprawy doktorskiej jest aktualny i odpowiadający na zapotrzebowanie w dziedzinie transportu oraz bardzo dobrze wpisujący się w obecne trendy związane z jego zrównoważonym rozwojem. Podjęty przez Doktoranta problem badawczy jest jak najbardziej uzasadniony, a sformułowanie tematu właściwe.

4. Ogólna charakterystyka rozprawy

Treść rozprawy została przedstawiona w sześciu zasadniczych i ponumerowanych rozdziałach, poprzedzonych spisem treści, streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz wykazem ważniejszych skrótów i symboli, rysunków i tabel.

We wprowadzeniu – **rozdział pierwszy**, Autor rozprawy przedstawił genezę tematu. Przedstawione zostały unikalne cechy nanorurek węglowych i możliwości ich zastosowania, co stanowiło motywację do podjęcia badań w celu zmniejszenia strat tarcia. W tym rozdziale Autor zwięźle przedstawił obszar pracy, założone cele badawcze oraz zakres planowanych eksperymentów. Deklaracja przedstawienia ograniczeń badania raczej sprowadza się do opisu algorytmu, a szkoda, bo takie ograniczenia byłyby pożądaną w rozprawie informacją.

W rozdziale drugim Autor przedstawia ogólną charakterystykę nanomateriałów, ich historię, metody wytwarzania oraz możliwe zastosowania. Skupia się szczególnie na nanorurkach grafenu, jako głównym obiekcie swoich badań, prezentując ich budowę i właściwości oraz metody syntezy. Następnie przedstawione zostały podstawowe zagadnienia dotyczące tarcia.

W rozdziale tym dokonano również przeglądu wyników badań dotyczących dodawania węgla nanostrukturalnego do oleju smarowego wykazując, że zabieg ten może znacznie zmniejszyć straty tarcia. Doktorant zauważa przy tym, że większość tego typu eksperymentów przeprowadzono w idealnych warunkach tribometru, co uzasadnia potrzebę prowadzenia dalszych badań, szczególnie w warunkach rzeczywistej pracy silnika. Następnie zdefiniowane zostaje pojęcie zużycia oraz scharakteryzowany jest silnik Diesla, jego budowa i zasada działania. Doktorant omawia także obciążenia jakim poddawane są łożyska w silniku oraz uszkodzenia jakie może spowodować nadmierne obciążenie.

Trzeci rozdział dotyczy metodologii pracy. Doktorant charakteryzuje w nim pojęcie symulacji, prezentuje wykorzystane w badaniu materiały, a także opisuje proces przygotowania próbek. Szeroko opisany jest sposób przeprowadzenia badania i warunki pomiarów, wykorzystane stanowisko badawcze i pozostały sprzęt laboratoryjny. Część ta zakończona jest sformułowaniem tezy pracy.

Rozdział czwarty poświęcony jest dynamice molekularnej i symulacji w modelu LAMMPS w odniesieniu do procesu tarcia z udziałem nanorurek węglowych. Przedstawiono wyidealizowane symulacje dla par trących wykonanych z miedzi, pomiędzy które wprowadzone zostały warstwy grafenowe.

Zasadniczy rozdział pracy to **rozdział piąty**. Autor przedstawił w nim wyniki wielu eksperymentów, w których wykazany został przede wszystkim pozytywny wpływ nanorurek węglowych na ograniczenie tarcia i drgań kadłuba tłokowego silnika spalinowego. Ograniczenie tarcia uzyskane zostało przez pokrycie powierzchni nośnej tłoka lakierem zawierającym nanorurki węglowe oraz - w drugim przypadku - przez dodanie nanorurek do oleju. Warto zauważyć, że znaczące zmniejszenie tarcia i drgań silnika uzyskano przez dodanie nanorurek do oleju smarującego w śladowym stężeniu masowym równym 0,03%. Przedstawione badania homogenizacji smarów plastycznych z nanorurkami węglowymi oraz testy nanorurek w smarowaniu powierzchni niemetalowych stanowią uzupełnienie tego rozdziału. W ostatnim, **szóstym rozdziale** pracy Autor przedstawia końcowe wnioski wynikające z przeprowadzonych badań, potwierdzające słuszność tezy pracy. **Siódmy rozdział** syntetycznie, w punktach podkreśla osiągnięcia pracy i wieńczy prezentowane rozważania naukowe.

Biorąc pod uwagę całość rozprawy oraz strukturę podziału treści na poszczególne rozdziały i podrozdziały uważam, że metodycznie jest to układ poprawny i odpowiada wymaganiom prac doktorskich o profilu technicznym.

5. Ocena merytoryczna rozprawy

Całościowa analiza recenzowanej rozprawy doktorskiej pozwala stwierdzić, że Autor przedstawił dojrzałe opracowanie naukowe, wykazując się przy tym zarówno ugruntowaną wiedzą teoretyczną, jak i kompetencjami w zakresie odpowiednio dobranych metod badawczych. Praca świadczy o umiejętności stosowania zaawansowanych narzędzi analitycznych oraz o zdolności do krytycznej oceny uzyskanych wyników. Pozwoliło to zweryfikować przyjętą jako punkt wyjścia do prowadzonych przez Doktoranta i przedstawionych w dysertacji badań tezę naukową:

Carbon nanotubes introduced to the journal bearing allow for efficient reduction of sliding friction and friction-induced vibrations.

Przyjęty przez Doktoranta cel i zakres pracy jest prawidłowy i odpowiada założeniom określonym na etapie formułowania tezy naukowej, chociaż warto było uporządkować całą metodologię i zarówno cel, tezę jak i stosowane w pracy metody zawrzeć w jednym rozdziale - jako syntetyczny opis przyjętych założeń badawczych. Opracowana w celu weryfikacji tezy metodyka obejmuje badania z użyciem tribometrów, pomiar topografii powierzchni, badania silnikowe, charakteryzowanie użytych nanomateriałów, przygotowanie środków smarnych oraz symulacje numeryczne. Rozpatrywany w recenzowanej rozprawie doktorskiej problem dotyczy zagadnienia wykorzystania nanorurek węglowych w transporcie do zmniejszenia strat tarcia tłokowych silników spalinowych. Jak już wspomniano, nanomateriały węglowe do tej pory nie znalazły szerokich zastosowań przemysłowych, pomimo niewątpliwych zalet, takich jak wysoka wytrzymałość mechaniczna, doskonała przewodność elektryczna i termiczna, a także duża powierzchnia właściwa. Ograniczenia te wynikają między innymi z wyzwań związanych z integracją nanomateriałów węglowych w istniejących procesach technologicznych. Dlatego prowadzone są liczne badania aplikacyjne, szczególnie nanorurek węglowych, cechujących się niskim kosztem wytwarzania wielu ich odmian. Wyniki takich badań, w przypadku pomyślnej aplikacji, mogą dać efekt przełomowy dla wybranych konstrukcji mechanicznych. W ten trend wpisuje się również recenzowana dysertacja.

Zakres pracy obejmuje część teoretyczną oraz badawczą. W części teoretycznej Autor dokonuje interdyscyplinarnego przeglądu literatury, uwzględniając 180 dobrze dobranych pozycji literaturowych, obejmujących zagadnienia budowy, właściwości i metod wytwarzania nanomateriałów węglowych, ich oddziaływań środowiskowych, a także tendencji w budowie silników, ze szczególnym uwzględnieniem tarcia i smarowania. Warto podkreślić staranność Doktoranta, który nie ograniczył się jedynie do przeglądu literatury dotyczącej materiałów stosowanych w węzłach tarcia nowoczesnych silników samochodowych, lecz przeprowadził również własne badania w tym zakresie. Wykorzystał przy tym zaawansowane techniki, takie jak mikroskopia optyczna, elektronowa, mikroskopia sił atomowych (AFM) oraz spektroskopia Ramana, co pozwoliło na szczegółową analizę badanych materiałów i ich właściwości. Praca

zawiera też dobrze opracowane sygnały drganiowe oraz trójwymiarowe pomiary topografii powierzchni trących. Przegląd literatury oraz dodatkowe, uzupełniające badania wstępne przedstawiają przekonujący dowód na przemyślaną strategię działania Autora i jego staranność.

Zasadniczą część pracy podzielić można na dwa główne wątki, związane z symulacją oraz z badaniami eksperymentalnymi. Symulacje tarcia dwóch płaskich powierzchni metalowych oddalonych o 0,5 nm., z rozdzielającą je warstwą grafenu przeprowadzone zostały z wykorzystaniem oprogramowania do symulacji dynamiki molekularnej LAMMPS. Takie podejście wydaje się niewystarczające dlatego, że nie odwzorowuje rzeczywistych warunków tarcia w tłokowym silniku spalinowym lub w łożysku tocznym. W szczególności nie uwzględniono obecności fazy ciekłej – to jest oleju smarującego. Uzyskane wyniki symulacji nie mogą zatem być użyte w celu opracowania optymalnych środków smarnych zawierających ciekłą fazę olejową oraz zawieszoną w niej fazę stałą w formie nanorurek węglowych. Autor nie przedstawił żadnych wniosków końcowych z symulacji, które mogłyby stanowić dalsze wytyczne do opracowania środków smarnych. Nasuwa się zatem pytanie o celowość prezentowania wyników symulacji w tej pracy. Symulacje dynamiki molekularnej złożonych układów wielu atomów tworzących dwie powierzchnie metalowe, warstwę węglowodorów oraz zawieszone w nich nanorurki węglowe są niewątpliwie zadaniem bardzo trudnym i może dlatego stanowiły dla Autora zbyt duże wyzwanie.

Najbardziej wartościowa jest moim zdaniem część eksperymentalna pracy, którą stanowią badania przeprowadzone na współczesnym silniku Volkswagen TDI, gdzie do oleju wprowadzone zostały śladowe ilości nanorurek węglowych. Badania te zostały metodycznie bardzo dobrze opisane zarówno w recenzowanej pracy, jak i w opublikowanym przez Doktoranta artykule naukowym. Publikacja ukazała się w cenionym piśmie tribologicznym i jest szeroko cytowana. Na przykład Autorzy artykułu pod tytułem *Insights into robust carbon nanotubes in tribology: From nano to macro* opublikowanego w maju 2024 w czasopiśmie *Materials Today* (IF 21,1) w następujący sposób odnoszą się do pracy Doktoranta: *To address the problem that CNTs are prone to agglomeration in oils [257,258], the proper use for trace amounts of CNTs [259], short CNTs (obtained by ball milling) [260], and the adjustment of oil temperatures [261], provide key strategies in improving the CNT dispersion and enhancing the tribological performances of lubricating oils.*

Pokazuje to ważność i potencjał prezentowanych przez Doktoranta badań. Wprawdzie istnieje wiele niezależnych publikacji, które dowodzą, że nanorurki węglowe lub inne nanocząstki węglowe mogą w określonych warunkach powodować zmniejszenie tarcia, jednak większość z nich dotyczy badań przeprowadzonych na tribometrze. Dlatego uzyskane przez Doktoranta wyniki badań, które zostały przeprowadzone na pracującym silniku, można uznać za unikalne i szczególnie wartościowe ze względu na złożoność mechaniczną silnika, w którym całkowite zmierzone opory ruchu są sumą tarcia występującego w węzłach kinematycznych o bardzo zróżnicowanych warunkach pracy.

W przypadku badania wpływu nanorurek węglowych na drgania powstające w mechanizmach wskutek tarcia rezultaty uzyskane przez Autora mają charakter bezprecedensowy. Aspekt drganiowy obecności nanorurek w oleju smarującym jest praktycznie nieobecny w literaturze, chociaż ma bardzo duże znaczenie praktyczne. Obecnie w budowie samochodów o napędach elektrycznych i hybrydowych istnieje pilna potrzeba ograniczenia drgań i hałasu z różnych mechanizmów. Dotychczas, w klasycznych układach napędowych, wiele źródeł hałasu, takich jak mechanizm różnicowy, przeguby napędowe czy też łożyska kół było maskowanych dominującym hałasem pochodzącym z silnika spalinowego. W samochodach elektrycznych te pozasilnikowe źródła hałasu wysuwają się na pierwszy plan i są odbierane jako uciążliwe. W tym kontekście rezultaty badań prezentowane w recenzowanej rozprawie mają dużą wartość praktyczną. Praca wnosi zatem oryginalny wkład w rozwój nauki w obszarze silników spalinowych i transportu. Problematyka rozprawy i uzyskane efekty końcowe posiadają wartość praktyczną w aspekcie wykorzystania nanorurek węglowych do zmniejszenia tarcia i drgań w łożyskach stosowanych w środkach transportu. Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych, w tym dokumentowania otrzymanych wyników i wyciągania konstruktywnych wniosków. Zaproponowanie i przedstawienie naukowego rozwiązania postawionego problemu badawczego pozwoliło na zrealizowanie założonego celu rozprawy i zweryfikowanie tezy badawczej

6. Uwagi szczegółowe

1. W pracy mowa jest o znaczeniu symulacji komputerowych dla optymalnego zastosowania nanorurek węglowych w środkach smarnych. W rzeczywistości jednak brak jest odniesień prezentowanych wyników symulacji do przeprowadzonych eksperymentów, prezentowane są wyłącznie ogólne stwierdzenia. Proszę o wyjaśnienie tej sprzeczności.
2. W pracy badania modelowe z wykorzystaniem tribometru, umiejscowione zostały na końcu, po badaniach silnikowych. Zwyczajowo przyjmuje się odwrotną kolejność i badania prezentowane są w kolejności od obliczeń, symulacji, poprzez badania modelowe do badań rzeczywistego obiektu technicznego – w tym przypadku silnika. Proszę uzasadnić przyjętą kolejność prezentacji wyników badań.
3. W pracy nie oszacowano błędów pomiarowych w kluczowym eksperymencie przeprowadzonym na silniku Volkswagen TDI. Przeprowadzenie analizy niepewności pomiarowej w odniesieniu do uzyskanych przez Autora wielkości podniosłoby wartość merytoryczną ocenianej pracy.
4. Praca zawiera liczne błędy stylistyczne i językowe, które nie wypaczają jednak jej treści i nie utrudniają zrozumienia prezentowanych rozważań.

5. Doktorant w przeglądzie literaturowym w zdecydowanej większości skupił się na badaniach prowadzonych w ośrodkach naukowych zagranicznych, pomijając badania w polskich ośrodkach naukowych. Czy zatem badania w zakresie problematyki podjętej w dysertacji nie są prowadzone przez polskich naukowców? Jeżeli są, to dlaczego nie odniesiono się do takich wyników w przeglądzie literaturowym dysertacji?
6. Praca podzielona została na zbyt dużą liczbę podrozdziałów, co utrudnia orientację i zaburza płynność wyводу. Niektóre podrozdziały składają się zaledwie z kilku wierszy tekstu np. podrozdziały 1.4. *Research Objectives*, 2.6.2 *Field-Emission Sources*, 2.6.3 *Batteries (Lithium Ions Batteries)* i kolejne.
7. Część informacji – szczególnie takich na dużym poziomie uogólnienia – jest wielokrotnie powtarzana w treści rozprawy, a niektóre z nich dotyczą trywialnych i oczywistych kwestii (na przykład definicja mikroskopii: *Microscopy is the technical field of using microscopes to view objects and areas of objects that cannot be seen with the naked eye*).
8. W pracy występują błędy redakcyjne i liczne niedopatrzenia w tym zakresie jak na przykład wspomniana numeracja rozdziału 7, nieuwzględniona w spisie treści, błędna numeracja spisu rysunków. Ponadto Autor nie zawsze prawidłowo odwołuje się do zawartych w treści tabel i rysunków (na przykład strona 88).
9. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska napisana jest w języku angielskim. Pod względem językowym praca nie jest wolna od drobnych uchybień i błędów językowych. W pewnych fragmentach styl językowy nie odpowiada naukowemu charakterowi pracy. Uchybienia językowe oraz redakcyjne nie pogarszają jednak czytelności pracy, a powyższe uwagi nie wpływają na pozytywną ocenę wartości merytorycznej. Stanowi ona cenny dorobek naukowy Autora w reprezentowanej dyscyplinie naukowej, a jej wyniki są ważne i interesujące zarówno z poznawczego jak i praktycznego punktu widzenia.

Pomimo pewnych niedoskonałości nie budzi wątpliwości fakt, że Autor rozprawy wykazał się wiedzą teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie naukowej oraz dobrą znajomością przedmiotu badań. Niepodważalna jest również umiejętność analitycznego spojrzenia na rozpatrywany problem oraz samodzielnego prowadzenia badań. Niewątpliwie zaprezentowane w rozprawie badania stanowią wyraźny akcent w rozwoju wiedzy naukowej oraz technicznej dotyczącej wykorzystania nanomateriałów węglowych w pojazdach samochodowych i cenne uzupełnienie prowadzonych dotychczas przez inne ośrodki naukowe badań. Praca z oczywistych względów nie wyczerpuje całości tematyki zagadnień badawczych dotyczących wykorzystania nanocząstek węglowych w pojazdach samochodowych, co stanowi podstawę do dalszych badań w tym zakresie i rozwoju naukowego Doktoranta.

7. Ocena końcowa

Sformułowane uwagi nie umniejszają wartości naukowej pracy, którą oceniam bardzo pozytywnie. Włożony wysiłek i zaprezentowane badania mają znaczny wkład w rozwój nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport. Stanowią przy tym osiągnięcie warte rozwijania w kolejnych badaniach naukowych. Warto przy tym, w dalszych pracach badawczych i publikacjach, uwzględnić wniesione przeze mnie uwagi.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska Pana mgr inż. Mohanada Al-Karawi zatytułowana *Carbon Nanotubes Applications for Friction Reduction in Transport Engineering* stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a Doktorant posiada wiedzę teoretyczną oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Pozwala to uznać, że zostały spełnione wszystkie wymogi Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.). W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Pana mgr. inż. Mohanada Al-Karawi do dalszych etapów postępowania doktorskiego, w tym publicznej obrony przedstawionej rozprawy doktorskiej.