

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgra inż. Oleksandra Stepanenko**

**pt.: „INNOWACYJNE ZASTOSOWANIA NANOMATERIAŁÓW WĘGLOWYCH  
W TŁOKOWYCH SILNIKACH SPALINOWYCH”**

Podstawę opracowania recenzji stanowi Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej z dnia 23 kwietnia 2024 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej oraz pismo nr RD/d/39/03/2024 z dnia 24.04.2024 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej Pana prof. dr hab. inż. Jacka Pielechy.

Dokumentację merytoryczną do sporządzenia recenzji stanowił egzemplarz rozprawy doktorskiej mgra inż. Oleksandra Stepanenko pt. „*Innowacyjne zastosowania nanomateriałów węglowych w tłokowych silnikach spalinowych*”.

### **1. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy**

Rozprawa doktorska autorstwa mgra inż. Oleksandra Stepanenko dotyczy problematyki wykorzystania nanomateriałów węglowych, w tym szczególnie wielościennych nanorurek węglowych w tłokowych silnikach spalinowych. W pracy omówiono stosunkowo nową grupę materiałów jaką stanowią nanorurki węglowe oraz przedstawiono wyniki ich badań w zastosowaniach silnikowych. Zastosowania te można podzielić na takie, które związane są z tribologią silnikową oraz ze spalaniem paliw. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem tribometrów, łożysk tocznych oraz komór do kontrolowanego spalania eksperymentalnych paliw z dostępem optycznym. Wyniki własnych badań Autor rozprawy analizuje proponując na ich podstawie również pozasilnikowe zastosowania nanomateriałów oraz uzupełnia analizą aspektów ekologicznych oraz bezpieczeństwa zdrowotnego. Całokształt pracy ma spójną, przemyślaną strukturę i składa się z:

- 10 zasadniczych, ponumerowanych rozdziałów, w większości rozbudowanych o kilka podrozdziałów,
- 72 rysunków i 18 tabel zawartych w tekście,
- spisu bibliograficznego zawierającego 195 pozycji literaturowych i opracowań, w tym: 142 pozycji literaturowych zagranicznych (73%), 53 pozycji literaturowych polskich (27%). Bibliografia zawiera 2 artykuły naukowe w których Doktorant jest współautorem.

Całość pracy, zawarta jest na 98 ponumerowanych stronach.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr. hab. inż. Jarosław Kałużny, prof. PP, promotorem pomocniczym jest dr. inż. Adam Marek.

## 2. Ocena doboru tematu rozprawy

Polityka Unii Europejskiej (UE) w zakresie ograniczania emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, wyrażana w wielu aktach normatywnych, w sposób istotny wpływa na kształtowanie współczesnych systemów transportowych, w tym również w obszarze środków transportu. Szczególnie istotna w tym zakresie jest nowa unijna strategia wzrostu, która ma przekształcić Europę w neutralne klimatycznie, sprawiedliwe i dostatnie społeczeństwo o nowoczesnej, zasobooszczędnej i konkurencyjnej gospodarce. Strategia ta została wyrażona w dokumencie *Europejski Zielony Ład* (2019, grudzień): komunikat Komisji Europejskiej (COM(2019) 640 final), w myśl której zakłada się przekształcenia UE w pierwszy kontynent neutralny dla klimatu do roku 2050. Osiągnięcie powyższego celu wymaga w myśl przyjętej strategii m. in. ograniczenia emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 55% do roku 2030 w stosunku do poziomów z roku 1990 oraz ograniczenia emisji zanieczyszczeń w sektorze transportu o 90 % do roku 2050.

W światowej motoryzacji obserwuje się intensywne prace w zakresie poprawy efektywności energetycznej i ekologicznej silników spalinowych. Jest to całkowicie uzasadnione, ponieważ pomimo planowanego w przyszłości przejścia na samochody napędzane silnikami elektrycznymi bez wątpienia przez długi jeszcze czas silniki spalinowe będą miały znaczący udział w napędzie pojazdów drogowych. Warto też zauważyć, że część badań Doktoranta ma charakter uniwersalny i o ile badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem tłokowych silników spalinowych lub ich modeli, to wnioski płynące z tych badań mogą być wykorzystane w całkowicie odmiennych zastosowaniach. Autor słusznie wskazuje tutaj przykład szczególnie korzystnej interakcji polimeru wykorzystywanego w budowie elementów trących silników oraz nanorurek węglowych. Taki sam polimer wykorzystywany jest powszechnie w protezach stawowych, zatem uzasadniona jest propozycja zbadania nanorurek węglowych jako składnika kompozytu do budowy protez stawowych. Bardziej oczywiste jest jeszcze wykorzystanie wszelkich wyników badań Doktoranta dotyczących tarcia w elementach maszyn niezwiązanych z tłokowymi silnikami spalinowymi.

Temat rozprawy definiuje jej interdyscyplinarność, która w sama w sobie jest nowoczesną tendencją obserwowaną we wszelkich dziedzinach badań. Praca Doktoranta łączy wiedzę z zakresu tłokowych silników spalinowych z inżynierią materiałową. Wybór nanomateriałów węglowych jako dodatku do olejów, smarów oraz paliw jest uzasadniony i dobrze wpisuje się w najnowsze trendy badań. Nanorurki węglowe są produkowane na skalę masową od około dwudziestu lat, przy czym dopiero w ostatnich latach obserwuje się gwałtowny spadek kosztów ich produkcji. Obecnie ich cena nie stanowi istotnej bariery w zastosowaniach mechanicznych proponowanych przez Doktoranta. Pomimo że nanomateriały węglowe wykazują unikalne, bardzo pożądane właściwości mechaniczne, ich zastosowania przemysłowe są nadal bardzo ograniczone. Tę rozbieżność wytłumaczyć można przede wszystkim brakiem wystarczającej wiedzy o nanomateriałach węglowych wynikającej z badań aplikacyjnych, dlatego pracę Doktoranta uważam za wartościową. Wyniki badań prezentowanych w rozprawie przedstawiają duży potencjał do ich 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. Tak więc podjęty przez

Doktoranta problem badawczy jest jak najbardziej uzasadniony, a sformułowanie tematu właściwe.

### 3. Ogólna charakterystyka rozprawy

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

We wstępie – **rozdział pierwszy**, Autor rozprawy przedstawił genezę tematu wskazując na najnowsze wyniki badań nanomateriałów węglowych, które wskazują na możliwość ich wykorzystania w tłokowych silnikach spalinowych do redukcji tarcia i zużycia oraz jako dodatek do paliwa.

**W rozdziale drugim oraz trzecim** Autor przedstawia tło pracy, odpowiednio dotyczące wpływu tłokowych silników spalinowych na środowisko oraz zagadnień tribologicznych związanych z silnikami. **Rozdział czwarty** dotyczy nanomateriałów węglowych i obejmuje przedstawienie odmian alotropowych węgla, ich własności, metody otrzymywania oraz wpływ na środowisko i człowieka.

Tezy, cel i zakres pracy przedstawione są w **rozdziale piątym**. Kolejne rozdziały stanowią oryginalne osiągnięcie Autora rozprawy. **Rozdział szósty** stanowi przy tym wprowadzenie do badań zasadniczych i dotyczy dyspergowania nanorurek węglowych w węglowodorach i etanolu. Autor przedstawił własne osiągnięcia w dziedzinie opracowania stabilnych zawiesin nanorurek węglowych w olejach i paliwach przeznaczonych do badań silnikowych. **W rozdziale siódmym** przedstawione zostały oryginalne badania Autora dotyczące materiałów wykorzystywanych w głównych węzłach tarcia najnowocześniejszego samochodowego silnika o zapłonie samoczynnym oraz koncepcje związane z zapłonem plazmowym paliw zawierających nanowęgiel.

Zasadniczą część pracy stanowi **rozdział ósmy**, obejmujący badania tribologiczne stanowiące trzon pracy. W pięciu podrozdziałach przedstawione zostały serie badań przeprowadzonych na tribometrze HFRR oraz tribometrze Amslera a także badania łożysk tocznych na specjalnym stanowisku zbudowanym przez Autora. Na uwagę i wyróżnienie zasługuje zakres badanych zjawisk obejmujący problematykę chemicznych interakcji nanorurek węglowych z dodatkami stosowanymi powszechnie w komercyjnych olejach silnikowych, zmniejszenie tarcia w skojarzeniu polimer-metal na skutek wprowadzenia nanorurek węglowych do smarów oraz redukcja drgań łożysk uzyskana dzięki śladowym ilościom nanorurek dodanych do smarów. Uzyskane wyniki przedstawiają wybitny potencjał aplikacyjny.

Analogiczną rolę do dotyczącego olejów rozdziału ósmego stanowi **rozdział dziewiąty**, poświęcony paliwom z nanododatkami. Przedstawione zostały tutaj wstępne badania, które negatywnie zweryfikowały koncepcję zapłonu plazmowego, oraz badania zasadnicze w których porównano przebieg spalania konwencjonalnej benzyny, etanolu, oraz etanolu z dodatkiem nanozłota i nanorurek węglowych. Wykazano, że stosunkowo niewielki dodatek nanorurek węglowych do etanolu pozwala na sterowanie opóźnieniem zapłonu i przebiegiem procesu spalania.

W ostatnim **dziesiątym rozdziale** Doktorant odniósł się do hipotez i dokonał krytycznej oceny zgromadzonego materiału badawczego.

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.

#### **4. Ocena merytoryczna rozprawy**

Analiza rozprawy pozwala na stwierdzenie, że zakres pracy przedstawiony w dysertacji jest obszerny i prezentuje obszar badawczy Doktoranta.

Jako punkt wyjścia do badań prowadzonych przez Doktoranta i przedstawionych w dysertacji przyjęto tezy naukowe w następującym brzmieniu:

- *wprowadzenie nanomateriałów węglowych do środków smarnych może znacząco poprawić ich własności, w szczególności prowadząc do zmniejszenia tarcia, zużycia i drgań smarowanych mechanizmów,*
- *nanorurki węglowe dodane do etanolu pozwalają na modyfikowanie przebiegu procesu spalania.*

Przyjęcie powyższych tez umożliwiło Doktorantowi sformułowanie celu naukowego rozprawy oraz zakresu pracy w brzmieniu przytoczonym poniżej.

Celem pracy jest *wskazanie i przetestowanie takich zastosowań CNTs w silnikach spalinowych, które w świetle aktualnie dostępnych informacji mogą efektywnie przyczynić się do poprawy parametrów silników, ze szczególnym uwzględnieniem aspektu ekologicznego.* Dodatkowym kryterium wyboru zastosowań badawczych CNTs w tłokowym silniku spalinowym jest zapewnienie możliwie dużego potencjału do transferu uzyskanych wyników badań na inne, pozasilnikowe konstrukcje inżynierskie.

Przedstawione w pracy zastosowania CNTs dzielą się funkcjonalnie na dwie części – dotyczące smarowania i paliw. Działania prowadzone w obu tych kierunkach charakteryzują się podobną strukturą, składającą się z następujących kroków:

- opracowanie składu stabilnych zawiesin CNTs w środkach smarnych i w paliwie,
- opracowanie metod oceny stabilności zawiesin w całym okresie eksploatacji,
- szczegółowe studia aktualnych rozwiązań technicznych i badań w dziedzinie tribologii silnikowej oraz paliw,
- opracowanie eksperymentalnych smarów i paliw z dodatkiem CNTs,
- modelowe badania eksperymentalnych smarów i paliw, z wykorzystaniem tribometrów i komór spalania z dostępem optycznym,
- charakteryzowanie eksperymentalnych próbek smarów, produktów zużycia, oraz paliw z wykorzystaniem metod fizycznych, takich jak mikroskopia optyczna, SEM i AFM, spektroskopia Ramana oraz badanie topografii powierzchni,
- weryfikacja przydatności eksperymentalnych smarów i paliw do przyszłościowych zastosowań w tłokowych silnikach spalinowych,
- wskazanie aplikacji niezwiązanych z tłokowymi silnikami spalinowymi, dla których uzyskane wyniki eksperymentalne otwierają duży potencjał rozwojowy.

Cel i zakres pracy, przyjęty przez Doktoranta jest prawidłowy i odpowiada założeniom określonym na etapie formułowania tez naukowych.

Rozpatrywany w recenzowanej rozprawie doktorskiej problem dotyczy zagadnień wykorzystania nanomateriałów węglowych w tłokowych silnikach spalinowych. Na wstępie należy podkreślić, że nanomateriały węglowe do tej pory nie znalazły szerokich zastosowań przemysłowych. Wynika to zapewne z faktu stosunkowo niedawnego odkrycia nanomateriałów węglowych i jeszcze późniejszego opracowania opłacalnych technik wytwarzania tych materiałów w skali masowej. Prowadzone są liczne badania aplikacyjne, szczególnie nanorurek węglowych, cechujących się niskim kosztem wytwarzania wielu ich odmian. Badania te słusznie motywowane są unikalnymi właściwościami mechanicznymi nanorurek węglowych, które w przypadku pomysłnej aplikacji mogą mieć charakter przełomowy dla wybranych konstrukcji mechanicznych. Tematyka pracy jest zatem ciekawa i doskonale wpisuje się w aktualne światowe trendy badawcze.

Zakres pracy obejmuje część teoretyczną oraz badawczą. W części teoretycznej Autor dokonuje interdyscyplinarnego przeglądu literatury, uwzględniając 195 dobrze dobranych pozycji literaturowych obejmujących zagadnienia budowy, właściwości i metod wytwarzania nanomateriałów węglowych, ich oddziaływań środowiskowych oraz wpływu na zdrowie człowieka a także tendencji w budowie silników, ze szczególnym uwzględnieniem tarcia i smarowania. Warto podkreślić staranność Doktoranta, który nie ograniczył się do przeglądu literatury w zakresie materiałów użytych w węzłach tarcia najnowocześniejszych silników samochodowych lecz przeprowadził własne badania z wykorzystaniem mikroskopu elektronowego i spektroskopii EDS. Podobnie Autor nie poprzestał na ograniczonych danych literaturowych dotyczących zapłonu laserowego paliw z dodatkiem nanorurek węglowych lecz przeprowadził własne eksperymenty w tym zakresie, nazywając je badaniami wstępnymi. Wstępny w pewnym sensie charakter mają również udokumentowane wysiłki Doktoranta zmierzające do uzyskania zadowalającego stopnia zdyspergowania nanocząstek w olejach i paliwach. Ostatecznie przegląd literatury oraz dodatkowe, uzupełniające badania wstępne przedstawiają przekonujący dowód na przemyślaną strategię działania Autora i jego staranność.

Zasadniczą część pracy (część badawcza) podzielić można na dwie główne części, związane ze smarowaniem oraz z modyfikowaniem paliw, części te należy omówić osobno.

W odniesieniu do części tribologicznej autor przedstawił duży zakres badań własnych z wykorzystaniem różnych tribometrów oraz własnego stanowiska do badań łożysk tocznych. W badaniach dominuje skojarzenie polimer-stal, smarowane smarem plastycznym referencyjnym lub eksperymentalnym. Smary eksperymentalne cechują się szerokim spektrum badanych stężeń nanorurek węglowych o zróżnicowanej budowie. Ponadto smary te wytwarzane były dwiema różnymi metodami – przez dodanie nanorurek węglowych w niewielkim stężeniu do komercyjnego smaru plastycznego lub przez zagęszczenie oleju nanorurkami węglowymi z pominięciem standardowych zagęszczaczy. Ponadto opisany został ciekawy eksperyment wskazujący na złożoność mechanizmów tribologicznych wymuszonych przez nanorurki węglowe a polegający na synergicznym wzmacnianiu działania dodatku przeciwzużyciowego ZDDP. W końcowej części dotyczącej tribologii Autor opisał własne stanowisko do badań łożysk i przedstawił unikalne w literaturze światowej wyniki wskazujące na zdolność nanorurek węglowych do zmniejszania drgań łożysk. Niewątpliwą zaletą tej części pracy są uzyskane wyniki o dużym potencjale aplikacyjnym, jeszcze bardziej zasługuje na

podkreślenie metodyczne działanie Autora od przeglądu literatury, przez badania tribometryczne do badania gotowych komponentów – łożysk.

W drugiej części tego obszaru badań opisane zostały eksperymenty związane z wtryskiem i spalaniem paliw z dodatkiem nanocząstek. Faktycznie w pracy ta część oryginalnych badań Doktoranta podzielona została na badania wstępne opisane w rozdziale 7.2, oraz część zasadniczą w rozdziale 9, niepodzielonym na podrozdziały. W rzeczywistości ten podział wydaje się nieco sztuczny i nie ułatwia śledzenia toku myślowego. W badaniach wstępnych Autor pisze że: „*Użyto lasera Laser Continuum Surelite SL II-10. W badaniu tym do uzyskania zapłonu konieczne było zogniskowanie światła lasera o efektywnej energii około 250 mJ wyzwolanej w impulsie o czasie trwania 8 ns. W badanych warunkach nie udało się potwierdzić korzystnego wpływu CNTs na zapłon, wprost przeciwnie, paliwo bez CNTs zapalało się przy mniejszej energii lasera.*” Jest to wynik zaskakujący, chociaż istotnie wprowadzenie nanorurek węglowych do paliwa wymusza cały szereg różnych zjawisk, o potencjalnie przeciwnym wpływie na podatność paliwa na zapłon. W zasadniczej części przedstawiono kontynuację badań potwierdzającą działanie nanorurek węglowych jako inhibitora zapłonu w eksperymencie prowadzonym w maszynie pojedynczego sprężu, z klasycznym zapłonem iskrowym.

Reasumując, **oryginalnymi osiągnięciami Doktoranta są:**

- opracowanie własnej metodyki wytwarzania stabilnych zawiesin nanorurek węglowych w oleju oraz w mniejszym stopniu w etanolu,
- odkrycie synergizmu nanorurek węglowych i powszechnie stosowanego dodatku do olejów – ZDDP,
- opracowanie smarów z dodatkiem nanorurek węglowych przewyższających właściwościami funkcjonalnymi klasyczny smar litowy w odniesieniu do skojarzenia polimer – stal,
- odkrycie korzystnego wpływu nanorurek węglowych dodanych do smaru na zmniejszenie drgań towarzyszących pracy łożysk tocznych,
- Określenie wpływu dodatku nanorurek węglowych na przebieg spalania etanolu w warunkach maszyny pojedynczego sprężu.

**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 nanomateriałów węglowych w olejach i paliwach w środkach transportu. Biorąc pod uwagę wartość merytoryczną rozprawy oraz aspekty praktyczne, za istotne walory rozprawy należy uznać:

- trafny wybór tematyki i przedmiotu badań,
- właściwy dobór badań i metodyki badawczej,
- wykazanie umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych,
- zbudowanie autorskiego stanowiska do badania smarów z nanododatkami w łożyskach tocznych,
- wykazanie umiejętności analizowania i dokumentowania wyników badań, a także posiadania znajomości aparatu matematycznego (bardzo liczne wykresy i ich szczegółowa i trafna interpretacja),

- zaproponowanie naukowego rozwiązania postawionego problemu badawczego i zrealizowanie założonego celu rozprawy.

### **Uwagi szczegółowe i pytania w dyskusji:**

1. W tytule pracy mowa jest o nanomateriałach węglowych, w rzeczywistości badania ograniczone są do nanorurek węglowych. Czy nie byłoby zasadne zatem sprecyzowanie w tytule że rozprawa dotyczy nanorurek węglowych a nie innych odmian nanomateriałów węglowych.
2. W badanych paliwach użyto jako jeden z wariantów dodatek nanozłota, czym podyktowany był ten wybór? Dodawanie nanocząstek metalicznych do paliw budzi obawy ekologiczne a złoto jest kosztownym pierwiastkiem.
3. Rozdział 7.2. zawierający oryginalne badania wstępne Autora mógłby zostać połączony z rozdziałem 9.
4. W tytule pracy jest jasna informacja, że dotyczy ona silników spalinowych. Jak można zatem wytłumaczyć badanie smarów plastycznych, które nie są zwykle stosowane w smarowaniu silników.
5. Jakimi błędami obarczone są wyniki pomiarów. Przeprowadzenie analizy niepewności pomiarowej w odniesieniu do uzyskanych przez Autora wielkości podniosłoby wartość merytoryczną ocenianej pracy.
6. Doktorant w przeglądzie literaturowym w większości skupił się na badaniach prowadzonych w ośrodkach naukowych zagranicznych, zatem moje pytanie brzmi, czy w polskich ośrodkach naukowych prowadzone są badania w zakresie problematyki podjętej w dysertacji. Jeżeli tak, to dlaczego nie odniesiono się do wyników badań prezentowanych przez te ośrodki w przeglądzie literaturowym dysertacji?
7. Na niektórych rysunkach, między innymi 4.3 i 4.4 użyto opisu w języku angielskim, który ze względu na charakter pracy powinien zostać zastąpiony językiem polskim.
8. Rys. 8.13 jest złożony z 30 zdjęć z mikroskopu SEM i obejmuje dwie strony rozprawy. W tym przypadku podpisy pod rysunkiem powinny być umieszczone na obu stronach, a nie tylko na drugiej stronie.
9. Praca zawiera błędy stylistyczne i językowe które nie wypaczają jednak jej treści. Liczba tych błędów nie jest większa niż w przeciętnie w pracach o podobnym charakterze, zatem docenić należy wysiłki Doktoranta biorąc pod uwagę to, że język polski nie jest Jego językiem ojczystym.
10. Brak spisu rysunków i tabel – wykaz pozwoliłby Autorowi pracy na uporządkowanie numeracji.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska napisana jest poprawnym językiem, na dobrym poziomie edytorskim. Niemniej jednak w kilku miejscach wystąpiły drobne błędy językowe, stylistyczne i redakcyjne. Uchybienia językowe nie pogarszają czytelności pracy i są tym bardziej wybacalne, że język polski nie jest ojczystym językiem Doktoranta. Powyższe drobne uwagi nie wpływają na pozytywną ocenę wartości merytorycznej pracy. 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.

Problemy, do których prosiłbym o ustosunkowanie się Pana mgra inż. Oleksandra Stepanenko podczas publicznej obrony to udzielenie odpowiedzi na pytanie nr 1.

Autor rozprawy wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie naukowej, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz umiejętnością analitycznego spojrzenia na rozpatrywany problem. Wprowadził nowe elementy wiedzy w obszarze podjętych badań posługując się przy tym nowoczesnymi narzędziami służącymi realizacji pracy naukowej oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia tego typu badań przez znajomość metodyki badań oraz uzasadniania i doboru narzędzi naukowych.

Niniejsza praca stanowi wkład w rozszerzenie wiedzy naukowej oraz technicznej dotyczącej wykorzystania nanomateriałów węglowych w pojazdach samochodowych i stanowi uzupełnienie prowadzonych dotychczas badań przez różne inne ośrodki naukowe.

Praca z oczywistych względów nie wyczerpuje całości tematyki zagadnień badawczych dotyczących wykorzystania nanocząstek węglowych w pojazdach samochodowych, tym samym Autor będzie mógł prowadzić dalsze badania w tym zakresie.

## **5. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Praca doktorska mgra inż. Oleksandra Stepanenko pt. *„Innowacyjne zastosowania nanomateriałów węglowych w tłokowych silnikach spalinowych”* jest wartościowa zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym.

Na podstawie przeprowadzonej analizy treści pracy uważam, że Doktorant dokonał trafnego wyboru tematyki swoich badań, a praca stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego. Tak przedstawiona dysertacja nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, wnosząc do niej nowe treści.

Cel rozprawy został sformułowany poprawnie, osiągnięty i potwierdzony wynikami badań. Przedstawione przez Doktoranta rezultaty badań mają walory wdrożeniowe, co wpisuje się w ogólną tendencję prowadzonych badań naukowych, związaną z zastosowaniami aplikacyjnymi i wdrożeniowymi.

Opiniowana rozprawa jest opracowaniem o znacznych walorach poznawczych i ma charakter opracowania naukowego. Przygotowana została starannie i wyczerpująco, omawia zastosowany aparat badawczy, przeprowadzone badania i analizy oraz prawidłowo formułuje ciekawe i istotne dla dalszych prac wnioski.

Zaprezentowane w pracy wyniki badań są cenne zarówno z naukowego punktu widzenia, jak i zastosowań praktycznych oraz wnoszą elementy nowej wiedzy w dyscyplinie naukowej: Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Zgromadzony w ramach realizacji pracy obszerny materiał badawczy, może zostać wykorzystany do dalszej analizy naukowej. Autor pracy – mgr inż. Oleksandr Stepanenko wykazał się umiejętnością samodzielnego formułowania i rozwiązywania zadań naukowych na poziomie prac doktorskich i reprezentuje wysoki poziom wiedzy w dziedzinie tematyki rozprawy.

W trakcie czytania pracy nasunęły mi się pewne wątpliwości i pytania wymagające wyjaśnienia, które zawarłem w niniejszej recenzji, ale które w moim przekonaniu nie obniżają jednoznacznie pozytywnej oceny pracy. Sformułowane przeze mnie uwagi mogą w części

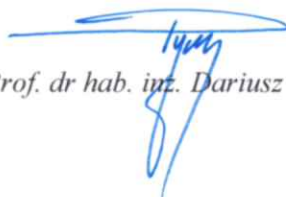


wynikać z odmienności poglądów i różnych ocen omawianych zagadnień, a w części są zachętą do dyskusji w zakresie poruszanych kwestii.

Biorąc pod uwagę, sformułowane powyżej opinie wyrażam jednoznaczne stanowisko, że rozprawa Pana **mgra inż. Oleksandra Stepanenko pt.: „Innowacyjne zastosowania nanomateriałów węglowych w tłokowych silnikach spalinowych”** spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim oraz mieści się w dyscyplinie naukowej **Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport**. Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Wnioskuje o wyróżnienie pracy ze względu na następujące jej cechy:

- interdyscyplinarność, wymagającą od Autora pozyskania wiedzy znacznie wykraczającej poza zakres mechaniki, budowy silników i transportu,
- obszerność badań własnych przeprowadzonych przez Doktoranta,
- wartość aplikacyjną uzyskanych rezultatów.

  
Prof. dr hab. inż. Dariusz Pyza