

dr hab. inż. Kazimierz Paprocki
Wydział Fizyki
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

Recenzja rozprawy doktorskiej p.t. „Innowacyjne zastosowania nanomateriałów węglowych w tłokowych silnikach spalinowych ” mgr. inż. Oleksandra Stepanenko.

Praca doktorska mgr. inż. Oleksandra Stepanenko, wykonana pod kierunkiem dr. hab. inż. Jarosława Kałużnego, Profesora Politechniki Poznańskiej, przy współpracy z promotorem pomocniczym dr. inż. Adamem Markiem, Politechnika Śląska, stawia sobie za cel wskazanie i przetestowanie nanomateriałów węglowych które mogą efektywnie przyczynić się do poprawy parametrów pracy tłokowych silników spalinowych. Celami pobocznymi, choć dla autora równie ważnymi, były aspekty ekologiczne wprowadzanych zmian oraz możliwości wykorzystania ewentualnych ulepszeń do innych rozwiązań inżynierskich czyli aspekt uniwersalności prowadzonych badań.

1. Ocena oryginalności problematyki i poprawności założeń badawczych pracy.

Współczesna motoryzacja, czy ogólniej transport osób i towarów, to zagadnienie bardzo złożone logistycznie i technologicznie. Pomijając szerszy kontekst wydaje się słusznym zauważyć, że nawet w najdoskonalszym samochodzie elektrycznym, czy też napędzanym dowolną energią, problem spadków wydajności i wzrostu zużycia materiałów, powiązany z szeroko rozumianym zjawiskiem tarcia, będzie nadal istniał.

Oceniana dysertacja jest próbą odpowiedzi na pytanie w jaki sposób minimalizować ujemnie skutki tarcia. Doktorant do badań wybrał trudny technologicznie przykład tłokowego silnika spalinowego i oprócz tarcia badał zużycie materiałów oraz wielkość drgań współpracujących mechanizmów. Poprawna ocena przyjętych przez Doktoranta tez o pozytywnym wpływie na wspomniane procesy nanorurek węglowych, byłaby trudna do obrony bez uwzględnienia aspektu ekologicznego oraz odniesień do innych możliwych zastosowań otrzymanych

wyników. Taka filozofia prowadzenia badań jest pewną nowością i może przesądzać o interdyscyplinarności ocenianej pracy doktorskiej.

Wymiernym wkładem pracy doktorskiej Doktoranta są osiągnięte cele, w tym najważniejsze to, moim zdaniem, **udowodnienie, że morfologia nanorurek węglowych dodanych do środków smarnych ma duże znaczenie w obniżaniu tarcia materiałów konstrukcyjnych. Równie istotnym są spostrzeżenia dotyczące modyfikacji procesu spalania poprzez dodanie do paliwa CNTs, co może ograniczyć ilość wydalanych zanieczyszczeń (NO_x).**

2. Ocena merytoryczna pracy.

Oceniana praca obejmuje 98 stron maszynopisu, w tym 73 ryciny i 18 tabel, zawiera przegląd literatury dotyczący omawianego tematu oraz badania własne. Literatura cytowana przez Doktoranta to w większości prace z ostatniego dziesięciolecia, w sumie 195 recenzowanych pozycji.

Rozprawę rozpoczyna spis treści oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Wykaz skrótów i oznaczeń stosowanych w pracy, to bardzo przydatna, porządkująca opracowanie pozycja.

We wstępie Doktorant wyjaśnia genezę tematu pracy, traktując tłokowy silnik spalinowy jako swoisty poligon doświadczalny dla modyfikacji środków zmniejszających tarcie i generalnie zużycie materiałów w różnego typu układach mechanicznych. Wybór taki uważam za bardzo trafiony.

Rozdział drugi to omówienie wpływu rozwoju motoryzacji opartej na silnikach spalinowych na zanieczyszczenie środowiska naturalnego. Niezwykle interesujący i ważny powód uzasadniający badania zaplanowane przez Doktoranta.

W kolejnym rozdziale Autor wprowadza czytelnika w zagadnienia związane z tarciami i w konsekwencji zużyciem materiałów podczas eksploatacji urządzeń mechanicznych. Odniosłem wrażenie pewnej dbałości przez Doktoranta o taki sposób przekazu by podawane informacje były zrozumiałe i logiczne dla czytelnika. To cecha w mojej opinii niezwykle cenna w piśmiennictwie naukowo technicznym i współcześnie dość rzadko spotykana. W dalszej części rozdziału Autor pisze o metodach ograniczających zjawiska niepożądane, wyjaśnia czym są oleje i smary, jaka jest ich budowa i rola oraz czym jest zjawisko tarcia bezzużyciowego.

Ostatni rozdział tej części pracy to siedem stron maszynopisu dotyczące nanomateriałów węglowych. Dla Doktoranta nanorurki węglowe są interesującym materiałem który wykorzystuje w swoich czysto aplikacyjnych badaniach, domniemam że to powód skromnej informacji o CNTs.

Wartością bardzo pozytywną recenzowanej pracy jest omówienie zagrożeń związanych z obecnością nanorurek węglowych w naszym otoczeniu, środowisku. To kolejne nawiązanie do wpływu człowieka na środowisko naturalne.

W tym miejscu pracy kończy się część którą umownie można nazwać teoretyczną. Zanim przejdę do omówienia części doświadczalnej chciałbym zapytać o pewne niejasności, w tym edytorskie, które zauważyłem:

- Dlaczego właściwie tytuł pracy nie dotyczy wprost nanorurek węglowych? Przekornie można zasugerować, że pisząc o nanomateriałach węglowych pominięto nanodiamenty? Ja rozumiem dlaczego ale nie zostało to wyjaśnione.
- Pewien niedosyt budzi posiłkowanie się stwierdzeniami które powinny być poparte odniesieniami literaturowymi których nie ma. Podam tylko dwa przykłady, jeden w całości a drugi tylko zaznaczając: strona 25: *„Lepkość smarów plastycznych zależy nie tylko od wartości temperatury i ciśnienia, ale również od gradientu prędkości i od czasu ich odkształcania. Tym samym smary wykazują cechy charakterystyczne dla płynu nienewtonowskiego. Jednocześnie wykazują właściwości ciał stałych i cieczy, a mianowicie: ulegają odwracalnym odkształceniom pod wpływem małych naprężeń, a gdy przyłożone naprężenia ścinające przekroczą zakres płynności, zaczynają płynąć jak ciecz.”*, i drugi strona 26: *„Obecnie ponad 65% ... na duże naciski.”* Podobnie jest na stronach: 28,29,30.

Część druga, doświadczalna, od części pierwszej dysertacji, poprzedzona została informacją (Rozdział 5) o tezach i celach oraz zakresie pracy. Autor w sposób logiczny i zrozumiały pisze o dwóch założonych kierunkach badań nad wykorzystaniem nanorurek węglowych w celu poprawy parametrów silników spalinowych: pierwszy to zmniejszenie oporów tarcia (poprawa smarowania), drugi to badania nad możliwościami modyfikacji procesów spalania. Proponowany plan pracy nad powyższymi tematami oceniam pozytywnie, jest logiczny i spójny.

Autor dążąc do uzyskania eksperymentalnych smarów i paliw poszukuje wstępnie metod pozyskiwania stabilnych zawiesin w długich przedziałach czasowych, opracowuje metody oceny tej stabilności równocześnie studiując zagadnienia dotyczące najnowszych rozwiązań w dziedzinie trybologii silnikowej oraz paliw. Po uzyskaniu zadawalających wyników Doktorant planuje prace eksperymentalne polegające na wykorzystaniu trybometrów i komór spalania z dostępem optycznym. Dopełnieniem opisu uzyskanych materiałów będą badania z wykorzystaniem metod fizyki doświadczalnej: Skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), Mikroskopii sił atomowych (AFM) oraz spektroskopii Ramana. Prace Doktorant założył zakończyć weryfikacją przydatności uzyskanych eksperymentalnie smarów i paliw do zastosowań w silnikach spalinowych oraz innych nie powiązanych z motoryzacją rozwiązaniach inżynierskich.

Analiza części doświadczalnej pozwala stwierdzić zgodną z założonym wcześniej planem realizację zadań. Do najważniejszych osiągnięć Autora wynikających z realizacji tej części pracy należy zaliczyć:

- opracowanie metod stabilizacji zawiesin nanorurek węglowych w olejach i paliwach oraz smarach plastycznych,
- wykazanie, że morfologia nanorurek ma zasadnicze znaczenie dla uzyskiwanych efektów trybologicznych,
- pokazanie, że nawet śladowe ilości nanorurek węglowych dodane do typowego smaru plastycznego znacznie zmniejszają tarcie dla powierzchni z tworzyw sztucznych,
- zbadanie zależności drgań pracujących łożysk od morfologii nanorurek dodanych do użytych smarów,
- wykazanie, że nanorurki węglowe dodane do paliwa, mogą być używane do modyfikacji procesu spalania, co w perspektywie pozwoli ograniczyć emisję zanieczyszczeń.

Tę część pracy oceniam bardzo dobrze. Autor korzystał z typowych dla przedmiotu badań metod badawczych (np. trybometr Amslera), gdy musiał tworzył własne stanowiska badawcze (badanie smarów w łożyskach tocznych), sięgał również, gdy była potrzeba po SEM, AFM, spektroskopię Ramana czy EDS. Dobrze to rokuje na przyszłość.

Więszych błędów czy nieścisłości w tej części pracy nie zauważyłem, no może za wyjątkiem trochę karkołomnego tłumaczenia skrótu EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) w okolicach stron 61 i 62 oraz braku źródła w podpisie rysunku 8.11.

3. Wniosek końcowy

Doktorant w przedstawionej do oceny pracy doktorskiej w sposób nie budzący wątpliwości wykazał się dobrą znajomością omawianego tematu i umiejętnością formułowania tez naukowych. Część teoretyczna pracy oraz przeprowadzone badania naukowe nie budzą zasadniczych wątpliwości, zaś ich interpretacja pozwala domniemywać u Doktoranta cech dojrzałości naukowej.

Przedstawiona do oceny praca jest napisana w sposób zrozumiały i logiczny, posiada cechy oryginalności oraz wnosi nowe wartości poznawcze w stosunku do dotychczasowego stanu wiedzy w tematyce której dotyczy.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Oleksandra Stepanenko pt. „Innowacyjne zastosowania nanomateriałów węglowych w tłokowych silnikach spalinowych” spełnia wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim i zgodnie z przepisami określonymi w Prawie o Szkolnictwie Wyższym i Nauce, z 20 lipca 2018, art. 187 (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 ze zm.) wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Oleksandra Stepanenko do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

