

Warszawa, 25.08.2020 r.

dr hab. inż. Joanna Ryszkowska, prof. uczelni  
Wydział Inżynierii Materiałowej  
Politechnika Warszawska  
02-507 Warszawa  
ul. Wołoska 141

## Recenzja

pracy doktorskiej pana mgr inż. Jacka Fala  
pt. „Wpływ nanocząstek węgla, krzemianów i bentonitów na właściwości elektryczne  
kompozytów polimerowych”  
przygotowanej na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im.  
Ignacego Łukasiewicza  
pod kierunkiem Pana Profesora Mariusza Oleksego i Pana Profesora Gawła Żyły.

Podstawą do wykonania recenzji była uchwała Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Rzeszowskiej z dnia 8.07.2020r i wynikające stąd Pismo Pana Dziekana tego Wydziału Prof Aleksandra Mazurkow z dnia 15.07.2020r.

### **Wartość naukowa rozprawy**

Rozprawa doktorska mgr inż. Jacka Fala dotyczy właściwości elektrycznych kompozytów polimerowych wytwarzanych z dodatkiem nanocząstek węgla, krzemianów i bentonitów.

Przedmiotem badań w rozprawie są nanokompozyty polimerowe, które w ostatnich kilkudziesięciu latach są intensywnie badane przez wielu naukowców. Są to materiały polimerowe zawierające wypełniacze o nanometrycznych rozmiarach cząstek wprowadzonych w małej ilości do osnowy polimerowej. Przy dobrej dyspersji nanonapełniaczy w osnowie nanokompozyty polimerowe uzyskują korzystne właściwości chemiczne, wytrzymałościowe czy cieplne. Cechy uzyskiwanych nanokompozytów zależą od rodzaju i zawartości materiału napełniacza oraz kształtu jego cząstek. Do wytwarzania takich kompozytów stosowane są różnego rodzaju nanonapełniacze, najczęściej są to glinokrzemiany, a w ostatnich latach również struktury węglowe. Największym problemem w procesach wdrażania do produkcji wyrobów z nanokompozytów jest uzyskanie dobrej dyspersji napełniacza w osnowie polimerowej. Do realizacji tego zadania stosowane jest wiele rodzajów procesów: polimeryzacja in-situ, mieszanie w polimerze w stanie uplastycznionym, mieszanie w stanie ciekłym w rozpuszczonym polimerze.

Nanokompozyty wytwarzane są z różnych grup materiałów polimerowych termoplastów i duroplastów. Spośród termoplastów w ostatnich latach duże zainteresowanie budzi zastosowanie jako osnowy polimerów biodegradowalnych. Badania zaproponowane w rozprawie dotyczą wytwarzania nanokompozytów o osnowie z polimerów biodegradowalnych, mieszczą się w aktualnych trendach rozwoju materiałów polimerowych.

### **Oryginalność rozprawy**

Wytwarzanie nanokompozytów polimerowych metodą mieszania nanocząstek w stanie ciekłym w rozpuszczonym polimerze jest metodą znaną i stosowaną. Jednakże w dotychczasowych pracach opisanych w literaturze niewielka ilość publikacji była poświęcona ocenie właściwości nanocieczy używanych do wytwarzania nanokompozytów polimerowych. Właściwości tych nanocieczy zależą od rodzaju zastosowanych nanocząstek, ich rozmiarów, kształtów i ilości.

W ramach pracy zaproponowano, aby właściwości nanocieczy polimerowych były podstawą do doboru rodzaju napelniaczy do wytwarzania nanokompozytów o określonych właściwościach. Jest to oryginalny kierunek badań istotny dla rozwoju wiedzy o możliwościach prognozowania właściwości nanokompozytów polimerowych o oczekiwanych powtarzalnych właściwościach.

### **Wartość merytoryczna rozprawy**

Przedmiotem badań przedstawionych w rozprawie są nanociecze i nanokompozyty polimerowe. Doktorant umiejętnie wprowadził w tematykę badawczą związaną z tymi materiałami. W części opisującej nanokompozyty polimerowe została przedstawiona charakterystyka tych materiałów, metody wytwarzania i wybrane właściwości. Szerzej opisano właściwości cieplne, elektryczne i mechaniczne nanokompozytów o osnowie z polilaktydu. Część opisująca nanociecze zawiera ogólną charakterystykę nanocieczy i opis sposobów ich wytwarzania. Kolejne rozdziały zawierają opis właściwości cieplnych i fizycznych nanocieczy, w tym właściwości reologiczne, elektryczne i dielektryczne oraz ocenę stabilności nanocieczy. Przedstawiono także kierunki zastosowań nanocieczy. Wprowadzenie w tematykę badawczą jej Autor zamknął podsumowaniem i sformułowaniem celu rozprawy. Zamieścił też zakres badań. Jasno została sformułowana hipoteza badawcza określająca możliwość zastosowania współczynnika konduktywności prądu elektrycznego nanocieczy jako wstępnego kryterium doboru nanocząstek do wytwarzania nanokompozytów polimerowych o korzystnych właściwościach elektrycznych.

W ramach pracy zbadano 3 grupy materiałów proszki, nanociecze i nanokompozyty. Do realizacji pracy wykorzystano 19 rodzajów nanoproszków, były to tlenki, azotki, krzemiany, bentonity i różne odmiany węgla. W ramach pracy bentonit zmodyfikowano dwiema czwartorzędowymi solami amoniowymi. Z użyciem nanocząstek wytworzono nanociecze z glikolem etylenowym zawierające od 1 do 5% masy nanocząstek. Z wytypowanymi nanocząstkami wytworzono serie nanokompozytów. Przeprowadzono badania morfologii nanoproszków z zastosowaniem skaningowej mikroskopii elektronowej. W pracy przedstawiono badania konduktywności prądu stałego i prądu zmiennego dla nanocieczy. W charakterystyce nanokompozytów polimerowych wykonano badania morfologii, wśród nich oceniono przeświecalność, przeprowadzono obserwacje kruchych przełomów z zastosowaniem mikroskopu świetlnego oraz skaningowego mikroskopu elektronowego. Wykonano też badania właściwości elektrycznych nanokompozytów

Aby zrealizować cel pracy do analizy materiałów zastosowano właściwe metody badawcze, chociaż ilość zastosowanych metod badawczych jest ograniczona. We właściwy sposób przedstawiono i przeanalizowano wyniki badań. W analizie wyników posłużono się wynikami badań podobnych grup materiałów dostępnych w literaturze.

Wnioski z przeprowadzonych badań sformułowano poprawnie. W podsumowaniu Autor rozprawy mgr inż. Jacek Fal wskazał wytypowane do wytwarzania nanokompozytów nanonapełniacze. Podstawą do ich wyboru były właściwości elektryczne nanocieczy wykonanych z zastosowaniem tych nanocząstek oraz dodatkowo względy ekonomiczne i ekologiczne. Nanokompozyty z nanocząstkami węglowymi cechowała wysoka konduktywność. Tym samym autor rozprawy potwierdził postawioną hipotezę badawczą wskazującą, że współczynnik konduktywności prądu elektrycznego nanocieczy może być podstawą do wstępnego doboru nanocząstek do wytwarzania nanokompozytów polimerowych o korzystnych właściwościach elektrycznych.

W ramach rozprawy poszerzono charakterystykę właściwości elektrycznych nanocieczy wykonanych z glikolu etylenowego z dodatkiem 19-tu różnych rodzajów nanocząstek.

Wytworzone w ramach pracy nanokompozyty PLA cechowała konduktywność elektryczna o osiem rzędów wielkości większa w porównaniu do nienapełnionej osnowy.

W ramach pracy potwierdzono, że możliwe jest projektowanie właściwości elektrycznych nanokompozytów polimerowych dzięki badaniom właściwości elektrycznych nanocieczy.

Przeprowadzone w ramach pracy badania pozwoliły jej autorowi na potwierdzenie hipotezy pracy i zrealizowanie jej celów. Wartość merytoryczną pracy jest wysoka.

### **Poprawność redakcyjna rozprawy**

Recenzowana praca doktorska liczy 83 strony. Jej pierwsza część to studium literatury dotyczącej nanokompozytów polimerowych i nanocieczy. W drugiej części autor rozprawy przedstawił badania własne. W tej części opisane zostały badane materiały: nanocząstki, nanociecze i nanokompozyty oraz metodyka badań. W kolejnej części pracy przedstawiono wyniki badań i ich analizę. Całość pracy zamknięto podsumowaniem. W spisie literatury przedstawiono 278 pozycji, w tym 15 pozycji, których współautorem jest autor rozprawy. Po spisie literatury autor zamieścił dodatek z wynikami badań konduktywności prądu elektrycznego nanocieczy w funkcji zawartości nanocząstek i temperatury.

Szata graficzna pracy nie budzi zastrzeżeń, ale znaleziono wiele błędów stylistycznych i literowych. Spis literatury nie powinien być numerowanym rozdziałem. W pracy zabrakło streszczenia po polsku i angielsku.

W pracy zabrakło konsekwencji w prezentowaniu wyników badań. Część związana z wynikami badań konduktywności stałego prądu elektrycznego nanocieczy jest zamknięta podsumowaniem, a część związana z wynikami badań konduktywności prądu zmiennego takiego podsumowania nie zawiera. Część wyników badań konduktywności nanocieczy zamieszczono w rozdziale zawierającym wyniki badań nanocieczy a część w dodatku A.

### **Uwagi krytyczne**

1. Do opisu struktury nanocząstek, nanocieczy i nanokompozytów autor rozprawy użył ograniczonej ilości technik badawczych. Interesujące jest jakie inne techniki badawcze Autor rozprawy zaproponowałby do analizy rozmiarów nanocząstek, do badań nanocieczy oraz do badań struktury nanokompozytów.
2. Interesujące jest jak zastosowane nanocząstki wpłynęły na inne właściwości nanokompozytów polimerowych, czy Autor rozprawy prowadził takie badania.
3. Budzi wątpliwość możliwość oceny konduktywności z precyzją przedstawioną przez Autora rozprawy ( do dwóch miejsc po przecinku).

### Ocena końcowa:

Uważam, że przedstawiona do oceny praca doktorska dotyczy bardzo interesującego tematu modyfikacji PLA w celu zmiany jego właściwości elektrycznych. Autor rozprawy zaproponował interesującą metodę projektowania składu nanokompozytów PLA i ich właściwości elektrycznych na podstawie badań właściwości elektrycznych nanocieczy.

Badania wykonane w ramach recenzowanej pracy pozwoliły uzyskać wiele wartościowych rezultatów. Fakt ten potwierdzają liczne publikacje, których współautorem jest autor rozprawy, przedstawione w czasopismach o wysokim IF.

Niezależnie od drobnych uchybień mgr inż. Jacek Fał właściwie zrealizował szeroki program badawczy umiejętnie prowadząc eksperymenty. Wyniki uzyskane przez Doktoranta mogą mieć istotne znaczenie w procesie projektowania właściwości elektrycznych nanokompozytów polimerowych.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska prezentuje wysoki poziom merytoryczny. Autor przedstawił szeroki materiał, w którym wykorzystał dane eksperymentalnie, które przeanalizował w oparciu o dostępną wiedzę literaturową. Uwagi krytyczne wyrażone w niniejszej recenzji nie wpływają na wysoką ocenę rezultatów przedstawionych w rozprawie mgr inż. Jacka Fała.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Jacka Fała spełnia warunki określone w art. 13.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65 poz. 595 z późn. zmianami) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza o dopuszczenie mgr. inż. Jacka Fała do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Joanna Ryszkowska

