

Gliwice, 06.09.202

dr hab. inż. Małgorzata Szymiczek, prof. PŚ
Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny Masiewicz
pt.: **“Ocena właściwości mechanicznych polimerowych
kompozytów warstwowych do wytwarzania struktur ochronnych
w samochodach elektrycznych”**

promotor: dr hab. inż. Marcin Kostrzewa, prof. URad

Podstawa opracowania recenzji:

Niniejszą recenzję opracowano zgodnie z Uchwałą nr 000-9/3/2024 Senatu Uniwersytetu Radomskiego im. Kazimierza Pułaskiego z dnia 24.06.2024, na podstawie pisma o nr PK-042/37/43-2/dr-r/2024 z dnia 08.07.2024 r., które zostało podpisane przez JM Rektora Uniwersytetu Radomskiego im. Kazimierza Pułaskiego, Pana prof. dr hab. Sławomira Bukowskiego.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Joanny Masiewicz pt.: “Ocena właściwości mechanicznych polimerowych kompozytów warstwowych do wytwarzania struktur ochronnych w samochodach elektrycznych” została zredagowana w języku polskim jako monografia licząca 142 strony. Zawiera ona streszczenie w języku polskim i angielskim, spis

treści, wykaz skrótów, wstęp, sześć merytorycznych rozdziałów, spis literatury, a także katalog rysunków i tabel.

Przedłożona do recenzji praca doktorska ma typową strukturę dla pracy naukowej. Autorka po krótkim wprowadzeniu i zdefiniowaniu problemu, dokonuje zwięzłego opisu stanu wiedzy w oparciu o najnowsze doniesienia literaturowe. Podjęta w pracy tematyka, dotycząca projektowania i wytwarzania kompozytowych struktur ochronnych potencjalnie montowanych w samochodach elektrycznych, a także identyfikacja ich własności mechanicznych oraz uszkodzeń jest niezwykle istotna dla aplikacji w proponowanym obszarze, szczególnie, że jest to obszar dynamicznego rozwoju. Tak postawiony problem wymagał od Autorki interdyscyplinarnego podejścia, wiążącego inżynierię mechaniczną z materiałową.

Pierwsze dwa rozdziały zawierają przegląd literaturowy dotyczący energochłonnych kompozytów konstrukcyjnych, a także analizę metod badawczych pozwalających na weryfikację materiałów przekładkowych w aspekcie założonej aplikacji. W ramach analizy źródłowej Autorka scharakteryzowała mechanizmy pochłaniania energii uderzenia oraz uszkodzeń kompozytów z uwzględnieniem prędkości uderzenia. Dokonała również przeglądu materiałów i technik wytwarzania kompozytów warstwowych, ale w sposób pobieżny. Wskazała kierunki zastosowań kompozytów polimerowych wraz z ich ograniczeniami i metodami modyfikacji własności eksploatacyjnych. W drugim rozdziale Doktorantka omówiła metody badań właściwości mechanicznych kompozytów wielowarstwowych ograniczając się jednak do metodologii badań udarności, odporności na przebicie, dynamicznej analizy mechanicznej czy testu ściskania. Autorka nie podaje dlaczego opisuje tylko te wybrane metody badawcze. Biorąc pod uwagę przedmiot badań (materiał badawczy) przedstawiony zakres prac nie uwzględnia wielu parametrów m.in. analizy mikroskopowej warstwy adhezyjnej czy struktury.

Na podstawie przeprowadzonego studium literaturowego został sformułowany główny problem badawczy, który wskazuje na potrzebę uzupełniania wiedzy w zakresie projektowania kompozytów energochłonnych, co pozwoliło na zdefiniowanie głównego celu pracy, który brzmi:

„Głównym celem pracy było zaprojektowanie i wytworzenie oraz analiza mechanizmów uszkodzeń, charakterystyka wytrzymałościowa epoksydowo – szklanego kompozytu warstwowego ze zmodyfikowaną osnową i cienkim, porowatym rdzeniem oraz zaproponowanie bazy do stworzenia procedury badawczej służącej kompleksowej

charakterystyce wytrzymałościowej i mechanicznej kompozytu do zastosowania go jako struktura ochronna w samochodach elektrycznych”

oraz 4 celów cząstkowych, które zdefiniowano następująco :

- *”Analiza i opracowanie literaturowe na temat kompozytów energochłonnych, materiałów stosowanych do ich wytworzenia, badań wytrzymałościowych oraz kierunków ich zastosowania.*
- *Otrzymanie materiału warstwowego z modyfikowaną chemicznie osnową stanowiącą element nowości jako czynnik kształtujący właściwości pochłaniania energii uderzenia.*
- *Charakterystyka ilościowego i jakościowego wpływu doboru materiałów i modyfikacji osnowy na właściwości kompozytu w zaproponowanym zestawie badań eksperymentalnych, na które składały się udarność, trójpunktowe zginanie, ściskanie, tolerancja na uszkodzenia, odporność na przebicie i wytrzymałość reszkowa oraz dynamiczna analiza mechaniczna warstwy kompozytowej w zakresie ujemnych i wysokich temperatur.*
- *Analiza mechanizmów uszkodzeń epoksydowo - szklanych kompozytów warstwowych z lekkim porowatym rdzeniem oraz wzajemnego oddziaływania komponentów pod wpływem obciążeń występujących podczas zaproponowanych testów eksperymentalnych.*

Tak postawione cele pracy wymagały od Autorki:

- Przeprowadzenia studium literaturowego w obszarze doboru materiałów i wytwarzania kompozytów polimerowych również z rdzeniem piankowym, metodologii badań oraz mechanizmów uszkodzeń w aspekcie aplikacji w samochodach elektrycznych.
- Opracowania struktury i składu, a także wyselekcjonowania odpowiednich materiałów na osnowę (w tym jej modyfikacji), wzmocnienie oraz rdzeń spełniających zdefiniowane w pracy kryteria eksploatacyjne.
- Przeprowadzenia badań zarówno własności technologicznych oraz fizycznych jak i eksploatacyjnych wraz z analizą uszkodzeń opracowanych paneli kompozytowych.

Pani mgr inż. Joanna Masiewicz w rozdziale 4 opisuje w sposób bardzo pobieżny założenia i warunki badań oraz dobór materiałów, przy czym Autorka nie tłumaczy dlaczego

akurat taki system wybrała do wytwarzania kompozytów. W podrozdziale 4.1.1 została omówiona modyfikacja wybranej żywicy jako materiału na osnowę, a w kolejnym technologia wytwarzania opracowanych struktur kompozytowych. Próbki zostały przygotowane w dwóch wersjach:

1. Okładzina epoksydowo-szklana, jedna warstwa piany polistyrenowej XPS, okładzina epoksydowo-szklana,
2. Dwie zewnętrzne warstwy okładziny epoksydowo-szklanej, 3 warstwy piany polistyrenowej XPS, pomiędzy które wprowadzono dwie warstwy przekładek wzmacniających.

Do przygotowania przedmiotowych paneli kompozytowych zastosowano żywicę epoksydową, która została poddana modyfikacji poliuretanem, handlowo dostępnym Desmocap 12 firmy Bayer. Wprowadzono 5 i 10 % g modyfikatora na 100 g systemu epoksydowego.

Oceny wpływu proponowanych modyfikacji materiału osnowy przy uwzględnieniu struktury przygotowanych paneli dokonano na podstawie analiz krzywych DMA, udarności metodą Charpy'ego w dwóch kierunkach tzn. przy uderzeniu powierzchniowym i krawędziowym, wyników badań własności wytrzymałościowych określonych w statycznej próbie zginania, wytrzymałości na ścinanie międzywarstwowe oraz ściskanie realizowane na płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni okładzin, a także energii zaabsorbowanej przez kompozyt i wytrzymałości resztkowej określonej metodą BAI (ang. Bending After Impact). Autorka również przeprowadziła analizę wizualną uszkodzeń okiem nieuzbrojonym.

W rozdziale 6 pracy, Doktorantka dokonała podsumowania prac, przedstawiła główne osiągnięcia oraz sformułowała wnioski.

Bibliografia dysertacji mgr inż. Joanny Masiewicz obejmuje 157 pozycji, łącznie z powołanymi normami, kartami technicznymi oraz źródłami internetowymi, ale brak jednoznacznej zasady ich powoływania i cytowania. Większość cytowanych prac jest z czasopism, które mają, wysoki współczynnik impact factor, a także posiadają uznaną pozycję w międzynarodowym środowisku naukowym. W bibliografii nie wykazano ani jednej pozycji autorskiej lub współautorskiej Doktorantki.

2. Tematyka rozprawy i problem badawczy

Podjęta w niniejszej rozprawie tematyka jest związana z szeroko pojętymi kompozytami energochłonnymi, które znajdują zastosowanie w wielu obszarach gospodarki, pełniąc funkcję zabezpieczającą konstrukcje, środki transportu również w aspekcie militarnym, a przede wszystkim ludzi w sytuacjach zagrożenia zdrowia i życia. Autorka jako obszar aplikacji wyników swojej pracy proponuje samochody elektryczne. Jest to uzasadnione pod względem zmniejszenia masy pojazdów, ale także wymaga szczególnego podejścia do szeroko rozumianych charakterystyk eksploatacyjnych, nie tylko wytrzymałościowych, ale również cieplnych i elektrycznych. Znanych jest wiele rozwiązań wykorzystujących różne materiały na osnowę, wzmocnienie, ale także rozwiązania modyfikujące charakterystyki eksploatacyjne. Najczęściej stosuje się żywice epoksydowe (tak jak proponuje Autorka pracy), włókna aramidowe łączone z węglowymi i/lub szklanymi, ale także różne dodatki lub powłoki ceramiczne.

Proponowane w pracy rozwiązanie, zastosowania do modyfikacji osnowy poliuretanu jest nowatorskie i niespotykane w takim ujęciu. W niniejszej rozprawie postawiony przez Doktorantkę problem badawczy dotyczył właśnie wpływu modyfikacji poliuretanem żywicy epoksydowej na własności mechaniczne kompozytów energochłonnych. Należy też podkreślić, że proponowana struktura trójwarstwowego kompozytu jest ciekawa szczególnie pod względem uzyskanych charakterystyk eksploatacyjnych.

Zatem z punktu widzenia walorów naukowych oraz użytkowych należy jednoznacznie uznać, że tematyka przedłożonej do recenzji dysertacja jest ważna oraz aktualna. Spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim, które są realizowane w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

3. Analiza i ocena merytoryczna rozprawy

Na podstawie merytorycznej analizy zakresu jak i treści przedłożonej rozprawy należy jednoznacznie stwierdzić, że wpisuje się ona w dyscyplinę naukową Inżynieria Mechaniczna. Przedłożona do recenzji dysertacja Pani mgr inż. Joanny Masiewicz jest interesująca i wartościowa zarówno pod względem naukowym, jak również uтилитарnym. Chociaż w mojej ocenie Doktorantka zawężyła znacznie studium literaturowe do czasami bardzo podstawowych informacji np. dotyczących stosowanych modyfikacji, materiałów czy

technik wytwarzania tego typu paneli. Myślę też, że Pani mgr inż. Joanna Masiewicz zbyt duży nacisk położyła na badania charakterystyk mechanicznych, minimalizując analizę wpływu proponowanej modyfikacji na własności fizyko-chemiczne i technologiczne.

Doktorantka prawidłowo zrealizowała założone zadania badawcze, zaplanowała i przeprowadziła szeroko zakrojone eksperymenty, które pozwoliły osiągnięcie założonych celów głównego i szczegółowych. Autorka w ramach pracy opracowała zarówno strukturę kompozytu przekładkowego jak i technologię wytwarzania. Można było oczywiście rozszerzyć obszar badań np. na większą liczbę warstw, czy zbadać także wpływ innych modyfikatorów na badane charakterystyki, szczególnie w ujęciu własności elektrycznych, które w proponowanej potencjalnej aplikacji są niezwykle istotne, ale cel pracy został osiągnięty. Autorka swoje kompozyty przekładkowe wytwarzała najprostszą metodą i uzyskała zadawalające wyniki, więc zaproponowanie innej, bardziej zaawansowanej technologii dałoby pewnie jeszcze lepsze rezultaty.

Warto zaznaczyć, że założony zakres pracy wymagał od Autorki znajomości szeregu metod badawczych, a przede wszystkim, co świadczy o jej dojrzałości naukowej, potrafiła uzyskane wyniki właściwie zinterpretować i sformułować wnioski, które jednak mogły być bardziej konkretne i doprecyzowane. W mojej ocenie bardziej przejrzyste byłoby wprowadzenie jeszcze jednego rozdziału jako podsumowanie. Wydaje się też, że dokładniej mogła być opisana metodyka badań, albo uzupełniona o schematy, zdjęcia itd.

Za najważniejsze osiągnięcie Pani mgr inż. Joanny Masiewicz uważam logiczne i wewnętrznie spójne powiązanie wyników badań eksperymentalnych na każdym etapie pracy, których efektem była weryfikacja opracowanych energochłonnych paneli kompozytowych spełniających założone kryteria.

Warto podkreślić, że praca ma charakter interdyscyplinarny i obejmuje obszar inżynierii mechanicznej z elementami inżynierii materiałowej. Autorka wykazała się umiejętnością interpretacji i analizy uzyskanych wyników, co pozwoliło jej na osiągnięcie założonych celów dysertacji.

Recenzowana rozprawa została przygotowana starannie oraz poprawnie pod względem merytorycznym jak i językowym. Niemniej jednak kilka kwestii poruszonych w dysertacji budzi pewne zastrzeżenia:

- Autorka na stronie 44, w tabeli 1.6 przedstawia wybrane metody wytwarzania kompozytów, natomiast w tabeli 1.7 przywołuje jeszcze infuzję, które wcześniej nie omawia. Jest to dla mnie nie zrozumiałe.

- Dlaczego do badań wytypowano żywicę epoksydową EPIDIAN 5? Dlaczego zastosowano utwardzacz Z1? Na rynku można znaleźć żywice epoksydowe bardziej elastyczne, albo można było zastosować inny uelastyczniający system sieciowania.
- Czy analizowano inny system modyfikacji żywicy?
- Na jakiej podstawie stwierdzono, że proponowana modyfikacja wpływa siłą adhezji pomiędzy wzmocnieniem a osnową i dalej pomiędzy poszczególnymi warstwami.
- Zastanawiające jest dla mnie dlaczego w pracy nie podjęto badań elektrycznych (oporności powierzchniowej i skrośnej) oraz cieplnych (szczególnie przewodności cieplnej), które są niezmiernie ważne dla proponowanej potencjalnej aplikacji.
- Wydaje się też zasadne doprecyzowanie warunków badań tj. np. temperatury prowadzenia badań, wilgotności, wymiarów próbek, rozstawu podpór dla statycznej próby zginania i ścinania międzywarstwowego itd.
- Autorka w sposób pobieżny opisała mechanizm zniszczenia, a dla dalszych prac i badań byłaby to cenna wskazówka. Uważam, że dla dokładniejszej analizy obserwowanych uszkodzeń warto było przeprowadzić badania mikroskopowe powierzchni, ale również, tam gdzie było to możliwe, przekroju. Należy podkreślić, że przedstawiony w pracy materiał badawczy pozwoliłby na przeprowadzenie takich analiz.
- Doktorantka w opisie metod badawczych nie zawsze podaje normy, zresztą nie wszystkie normy powołane w tekście występują w spisie literatury i odwrotnie. Normy w spisie literatury są podane bez tytułów. Na stronie 84 podana jest norma PN-EN ISO 14125:2001- Kompozyty tworzywowe wzmocnione włóknem -- Oznaczanie właściwości przy zginaniu; pozycja 146, a w spisie literatury pod pozycją 146 występuje norma PN-EN ISO 14130:2001 - Kompozyty tworzywowe wzmocnione włóknem - Oznaczanie umownej wytrzymałości na ścinanie międzywarstwowe metodą krótkiej belki.

Poza tym Autorka nie ustrzegła się błędów w spisie literatury, w wykazie oznaczeń nie zawarła wszystkich symboli, a także drobnych błędów interpunkcyjnych, „literówek”, powtórzeń, czy potocznego słownictwa.

Wniosek końcowy

Należy podkreślić, że zawarte w mojej recenzji uwagi oraz sugestie nie wpływają na holistyczną ocenę rozprawy doktorskiej, która jest jednoznacznie pozytywna. Autorka wykazała się wiedzą, umiejętnością planowania eksperymentu, realizacją badań naukowych, oraz rzetelną

oceną i interpretacją uzyskanych wyników, co świadczy o predyspozycjach do prowadzenia prac naukowych przy jednoczesnym bardzo praktycznym podejściu do rozwiązywania problemów i zadań naukowych.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Joanny Masiewicz pt. „Ocena właściwości mechanicznych polimerowych kompozytów warstwowych do wytwarzania struktur ochronnych w samochodach elektrycznych”, spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy prawa i może być dopuszczona do publicznej obrony.

Małgorzata Gajda