

Puławy, dnia 09.09.2024 r.

Dr hab. inż. Artur Olszak

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Nowych Syntez Chemicznych

Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 13A

24-110 Puławy

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Martyny Roszowskiej-Jarosz**

Tytuł rozprawy: „Wpływ modyfikacji osnowy na wybrane właściwości mechaniczne polimerowych kompozytów warstwowych przeznaczonych do budowy elementów bezzałogowych statków powietrznych”

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

Promotor pomocniczy: dr inż. Wojciech Kucharczyk

Recenzja została przygotowana na podstawie zlecenia JM Rektora Uniwersytetu Radomskiego, prof. dra hab. Sławomira Bukowskiego z dnia 08.07.2024 r.

1. Ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa liczy 189 stron i została podzielona na 10 rozdziałów, w których wyodrębniono zwarte tematycznie podrozdziały, za wyjątkiem rozdziałów: 1-ego, 3-ego oraz 6-ego. Rozdziały główne poprzedzono Spisem treści, Wykazem skrótów oraz Wstępem. Na początku Autorka zamieściła także Dedykację, Podziękowania oraz Streszczenie w języku polskim i angielskim. Pracę zakończono Wnioskami końcowymi, Spisem literatury, Spisem tabel, rysunków oraz wykresów. Zacytowano 299 pozycji literaturowych.

2. Ocena podjętego tematu

Podjęcie problematyki, którą zajęła się Autorka recenzowanej pracy, jest w pełni uzasadnione z technicznego i naukowego punktu widzenia. Kompozyty warstwowe należą do nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych stosowanych w przemyśle morskim, lotniczym, motoryzacyjnym, obronnym, sporcie oraz w życiu codziennym. Jedną z wielu zalet materiałów kompozytowych jest możliwość zaprojektowania materiału o pożądanym właściwościach mechanicznych i wytrzymałościowych, przy zachowaniu mniejszej masy elementów oraz całej konstrukcji. Duża elastyczność w projektowaniu, możliwość dostosowania do różnych kształtów elementów, dobra chłonność energii uderzenia, odporność na korozję, dobra izolacja akustyczna i termiczna, dają szeroki wachlarz zastosowań i możliwości aplikacyjnych kompozytów warstwowych.

Kompozyty warstwowe, dzięki swoim unikalnym właściwościom, znajdują zastosowanie w budowie bezałogowych statków powietrznych, które są obecnie bardzo szeroko wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu, nauce oraz technice.

W ramach pracy Autorka opisała problem badawczy, dotyczący wpływu modyfikacji osnowy na wybrane właściwości mechaniczne polimerowych kompozytów warstwowych. Zaprojektowała, wytworzyła oraz scharakteryzowała wybrane właściwości nowego kompozytu warstwowego, który będzie mógł stanowić alternatywę dla obecnie stosowanych materiałów w produkcji bezałogowych statków powietrznych.

Podjęta w rozprawie tematyka jest istotna i aktualna, w szczególności w obszarze badań nad uzyskaniem nowych materiałów konstrukcyjnych o znacznie wyższej trwałości i lepszych właściwościach użytkowych od stosowanych dotychczas.

3. Tytuł pracy

Tytuł rozprawy: „Wpływ modyfikacji osnowy na wybrane właściwości mechaniczne polimerowych kompozytów warstwowych przeznaczonych do budowy elementów bezałogowych statków powietrznych” został sformułowany poprawnie i jednoznacznie oddaje tematykę rozprawy, która jest aktualna, a materiał w niej przedstawiony stanowi wartościowy i oryginalny wkład do dyscypliny *Inżynieria Mechaniczna*.

4. Cel i zakres pracy

Na podstawie przeglądu literatury Autorka sformułowała Cel pracy oraz cele cząstkowe.

Głównym celem pracy jest zaprojektowanie, wytworzenie oraz scharakteryzowanie wybranych właściwości mechanicznych nowego, polimerowego kompozytu warstwowego, który będzie mógł stanowić alternatywę dla obecnie stosowanych materiałów w produkcji bezałogowych statków powietrznych (BSP). Cel pracy został sformułowany prawidłowo, zrozumiale i precyzyjnie.

Z uwagi na charakter projektowy oraz badawczy pracy, postawiony cel posiada nie tylko walory poznawcze, ale również praktyczne, związane z aktualnymi wyzwaniami dotyczącymi nowych materiałów stosowanych do budowy elementów BSP.

W celu osiągnięcia celu głównego Autorka przedstawiła cele cząstkowe, które dotyczą poszczególnych etapów prac:

1. Dokonanie przeglądu literaturowego rodzajów, właściwości i wymogów stawianych materiałom obecnie stosowanych w produkcji elementów BSP;
2. Innowacyjne wprowadzenie układu grafted-IPN jako modyfikacja żywicy epoksydowej do zastosowań w kompozytach warstwowych;
3. Dobór komponentów materiałowych i metody wytwarzania polimerowego kompozytu warstwowego;
4. Dobór normowych i nienormatywnych metod badań materiałów warstwowych do oceny ich właściwości mechanicznych;
5. Analiza ilościowego i jakościowego wpływu komponentów, na wybrane właściwości mechaniczne polimerowych kompozytów warstwowych składających się z warstw spienionego polichlorku winylu (PVC), ze wzmocnieniem z tkaniny aramidowej

połączonych lepiszczem międzywarstwowym z żywicy epoksydowej zmodyfikowanej poliuretanem (PU);

6. Innowacyjne zastosowanie analizy profilometrycznej do obrazowania zniszczeń po badaniu odporności na przebicie;
7. Opracowanie planu badań doświadczalnych do oceny wpływu lepiszcz międzywarstwowego na właściwości mechaniczne otrzymanych kompozytów.

Do osiągnięcia celu pracy Autorka przyjęła właściwy zakres prac, oparty na studium literaturowym oraz badaniach eksperymentalnych, co jest typową metodą dla prac naukowych.

5. Układ pracy, redakcja

Przedłożona do recenzji rozprawa ma układ klasyczny, napisana została w języku polskim. Całość liczy 189 stron i jest podzielona na 10 rozdziałów.

We *Wprowadzeniu*, stanowiącym rozdział 1, Doktorantka przedstawiła rys historyczny zastosowania kompozytów, podstawowe pojęcia oraz budowę i zalety kompozytów. W rozdziale drugim, zatytułowanym *Kompozyty warstwowe*, Autorka kontynuuje analizę budowy kompozytów warstwowych, ze szczególną uwagą opisując ich wady i zalety oraz możliwości aplikacyjne. W podsumowaniu tego rozdziału Autorka podaje założenia, jakie powinien spełniać kompozyt, który jest dedykowany do produkcji elementów bezzałogowych statków powietrznych. Kolejny, trzeci rozdział, poświęcony został bezzałogowym statkom powietrznym. Wskazano na możliwości wykorzystania materiałów kompozytowych do budowy ich elementów oraz na potencjał rozwoju tej dziedziny lotnictwa. Rozdział 4 zawiera przegląd literatury dotyczącej charakterystyki komponentów składowych używanych do budowy kompozytów oraz opis metody wytwarzania kompozytów warstwowych. W rozdziale 5 opisano metody badawcze stosowane w badaniach właściwości wytrzymałościowych kompozytów warstwowych. Rozdział 6 zawiera cele pracy. W rozdziale 7 Autorka przedstawiła program badań doświadczalnych oraz charakterystyki składników badanych kompozytów, a w rozdziale 8 opis planowanych badań kompozytów. Rozdział 9 opisuje część doświadczalną zawierającą opis materiałów użytych do wytworzenia kompozytu, opis przygotowania próbek, opis badań właściwości wytrzymałościowych kompozytów oraz wyniki badań doświadczalnych wraz z ich analizą. W rozdziale 10 Autorka przedstawiła analizę statystyczną wyników badań, mającą na celu ocenę, który z wybranych składników kompozytu ma największy wpływ na jego właściwości wytrzymałościowe.

Pacę zakończono wnioskami końcowymi.

Układ, treść i zakres recenzowanej rozprawy doktorskiej uważam w większości za prawidłowy, zgodny z przyjętymi zasadami twórczości naukowej. Rozprawa pod względem edytorskim i graficznym została przygotowana starannie. Układ pracy jest przejrzysty i logiczny.

Stronę redakcyjną rozprawy doktorskiej oceniam pozytywnie. Mimo to, w ramach opracowanej recenzji, zobowiązany jestem do wskazania drobnych błędów redakcyjnych i edytorskich, stanowiących wskazówkę do przygotowania przyszłych prac naukowo-badawczych z udziałem Doktorantki:

- Str. 7 Streszczenie – W pracy przedstawiono zaprojektowanie, wytwarzanie i ocenę właściwości ... - powinno być: W ramach pracy zaprojektowano.
- Niektóre rysunki i tabele nie mają odniesienia w tekście rozprawy, np. rys. 5, 6, 8, 10, 11, 19, 20; tabela 1, 10.
- Str. 18 „Pomimo grubości rdzenia kompozyty wielowarstwowe są lekkie..” – Pomimo większej grubości rdzenia...
- Str. 19 „Gotowy kompozyt na bazie żywicy epoksydowej odznacza się ..., wysokim modułem, ... - nie podano o jaki moduł chodzi.
- Str. 22 powtórzono sformułowanie „ mogą wykazywać zalety obu składników, przy zminimalizowanych wadach”.
- Str. 27. „... przy zastosowaniu konstrukcji sandwiczowej ...” – warstwowej.
- Str. 32. „ Jedną z zalet struktur kompozytowych w porównaniu z metalami jest to, że zużywają mniejsze ilości paliwa podczas eksploatacji...” – wpływają na mniejsze zużycie paliwa.
- Niektóre rysunki oraz wykresy zamieszczone w rozprawie są słabej jakości, a przedstawione na nich dane są nieczytelne: rysunki 29, 30, 31, 42, wykres 11.
- Część opisu badań zawartych w rozdziale 8 powtórzono w rozdziale 9, ponadto niektóre rysunki także powtórzono w tekście rozprawy: rysunek 56 i 69; rysunek 58 i 71; rysunek 60 i 64; rysunek 62 i 65.

6. Uwagi merytoryczne i pytania

Lektura rozprawy skłania do refleksji nad poniżej sformułowanymi kwestiami:

1. W rozdziale 4.1. *Metody wytwarzania* opisano, na podstawie jednej cytowanej publikacji, metody wytwarzania kompozytów warstwowych: laminowanie ręczne, formowanie metodą prasowania oraz z wykorzystaniem autoklawu.
Czy są to jedyne znane metody wytwarzania kompozytów warstwowych stosowane w praktyce? Uważam, że przytoczono zbyt mało literatury, aby szczegółowo przeanalizować metody wytwarzania kompozytów warstwowych. Ponadto, ze względu na obecność wad powierzchniowych, w przypadku zastosowania metody laminowania ręcznego, uzyskuje się dużą zmienność wyników badań wytrzymałościowych. Wybór metody laminowania ręcznego do wykonania kompozytu, uzasadniono czynnikami ekonomicznymi oraz projektowym charakterem pracy, nie mniej jednak sposób wytworzenia kompozytu ma znaczący wpływ na jego właściwości wytrzymałościowe i jest jednym z głównym celów tej rozprawy.
2. W rozdziale 5.1, na podstawie przeglądu literatury, podano, że próbę zginania płyt warstwowych można przeprowadzić w oparciu o normy ASTM C 393-00 lub PN-EN ISO 14125:2001. W opisie badań, w podrozdziale 8.5 przytoczono normę PN-EN ISO 7438, która opisuje metodą określania właściwości metali. Natomiast w części doświadczalnej, odporność na trójpunktowe zginanie, oznaczono wg normy PN-EN ISO 178. Nasuwa się pytanie, która metoda jest właściwa do badania kompozytów warstwowych.

3. Z cytowanej literatury w rozdziale 5.3, wynika, że badanie udarności metodą Charpy'ego nie jest właściwą metodą badawczą do wyznaczenia udarności ze względu na brak przełomu próbek. Zestawienie wyników przedstawione na wykresie 6 umożliwia tylko porównanie wartości pochłoniętej energii przez poszczególne próbki kompozytu, przy zadanej energii wahadła 15 J.
4. W rozdziale 7 Autorka przedstawiła plan badań na początku, którego wskazała na określenie warunków brzegowych. W dalszej części rozprawy nie podano szczegółowych warunków brzegowych.
5. W podrozdziale 9.1.2 Autorka przedstawiła badanie czasu żelowania kompozycji z poliuretanem. W poprzednich rozdziałach nie opisano metody badawczej ani nie podano normy wg, której wykonano te badania.
6. Wykorzystanie do zobrazowania i analizy uszkodzeń podczas badania próbek na młocie spadowym uważam za bardzo ciekawe i oryginalne. Jednak ze względu na różnorodność materiałów składowych kompozytu oraz ich proces przygotowania uzyskane wyniki mogą znacznie różnić się od siebie, co utrudnia właściwą ich interpretację.
7. Porównanie właściwości wytworzonych kompozytów z materiałami stosowanymi w produkcji BSP zamieszczone w Tabeli 23, wskazuje na niewątpliwe zalety nowych kompozytów. Należy jednak zwrócić uwagę, że Autorka porównuje materiały o różnych właściwościach i budowie, które są stosowane na różne elementy BSP.
8. W rozdziale 10 Autorka przedstawiła metodę oraz wyniki analizy statystycznej wyników mającej na celu ocenę, który ze składników budowy kompozytu ma największy wpływ na poprawę właściwości wytrzymałościowych. Pominęto w analizie wyniki badań kompozytu z zawartością 5% PU, proszę o wyjaśnienie.

7. Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska pt.: „*Wpływ modyfikacji osnowy na wybrane właściwości mechaniczne polimerowych kompozytów warstwowych przeznaczonych do budowy elementów bezzałogowych statków powietrznych*” jest aktualnym oraz wartościowym opracowaniem, dotyczącym zagadnień projektowania, wytwarzania i badania właściwości kompozytów warstwowych. Przedstawiony materiał projektowo-badawczy jest oryginalnym dorobkiem **Pani mgr inż. Martyny Roszowskiej-Jarosz**, opracowanym na wysokim poziomie merytorycznym, który wpisuje się w zakres dziedziny nauk *Inżynierijno-technicznych* w dyscyplinie *Inżynieria mechaniczna*.

Na podstawie szczegółowej analizy źródeł, Doktorantka prawidłowo sformułowała problem naukowo-badawczy i określiła cel naukowy. Zaplanowała i zrealizowała badania, stosując nowoczesne narzędzia naukowe, wg przyjętego algorytmu badań. Logicznie zinterpretowała wyniki badań i na ich podstawie sformułowała trafne wnioski. Stopień rozwiązania zagadnienia oceniam jako bardzo dobry. Doktorantka osiągnęła postawiony w rozprawie cel.

Zastosowane metody badawcze oceniam pozytywnie, Autorka zaplanowała i przeprowadziła szereg prac właściwych dla rozwiązania postawionego problemu. W szczególności w zakresie wyboru do badań reprezentatywnych materiałów oraz przeprowadzeniu badań wytrzymałościowych, umożliwiającym sformułowanie wniosków

ukierunkowanych na praktyczne zastosowanie. Autorka wykazała umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Zawarte w tekście recenzji uwagi mają charakter polemiczny i nie umniejszają merytorycznej wartości rozprawy. W związku z tym, rozprawę doktorską **Pani mgr inż. Martyny Roszowskiej-Jarosz oceniam bardzo dobrze.**

Na podstawie przedstawionej recenzji stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. **Martyny Roszowskiej-Jarosz pt.: „Wpływ modyfikacji osnowy na wybrane właściwości mechaniczne polimerowych kompozytów warstwowych przeznaczonych do budowy elementów bezzalogowych statków powietrznych”** spełnia wymagania określone w art. 187 [Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022, poz. 574 z późn. zm.)] i wnoszę o dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Artur Okoń