

dr hab. Dariusz Szafrowski, prof. uczelni
Katedra Energoelektryki (K36W05D02)
Wydział Elektryczny (W05)
Politechnika Wroclawska
50-370 Wrocław
Ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27

Wrocław 9.12.2024

**Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Łukasza Sucheckiego
„Analiza wpływu zastosowania surowców z recyklingu na właściwości
kompozytów polimerowych ekranujących pole elektromagnetyczne”**

Przedstawienie podstawowych danych o kandydacie.

Doktorant uzyskał tytuł mgr inż. w dniu 06.07.2018 na kierunku Mechanika i budowa maszyn spec. Przetwórstwo tworzyw polimerowych na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej.

Doktorant nie ubiegał się wcześniej o nadanie stopnia doktora.

Przebieg pracy naukowo-zawodowej (miejsce pracy, zajmowane stanowiska);

2018-2024 Doktorant na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Informatyki:

2022-2023 Specjalista ds. inżynierijno-technicznych – „Opracowanie tektonicznej maty higienicznej z systemem redukcji mikrobiologicznej oraz funkcją grzewczą”
projekt badawczy nr RPLD.01.02.02-10-0047/21 26.09.2022-30.04.2023

2019-2021 Referent ds. inżynierijno-technicznych - „Eko-innowacyjne materiały kompozytowe wykorzystujące surowce pochodzące z recyklingu do zastosowań elektrotechnicznych”, projekt badawczy nr 0049/L-10/2018 w ramach konkursu NCBiR LIDER X, realizowany w latach luty 2019 - styczeń 2021

Przedstawienie informacji o ocenianej pracy doktorskiej

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Sucheckiego pt.:
„Analiza wpływu zastosowania surowców z recyklingu na właściwości kompozytów

polimerowych ekranujących pole elektromagnetyczne.” Promotorami pracy są dr hab. inż. Adam Gnatowski, prof. PCz oraz dr hab. inż. Adam Jakubas, prof. PCz.

Rozprawa zawiera 132 strony (118 stron rozprawy i 14 stron załączników w tym bibliografii, która stanowi 222 pozycje literatury krajowej i zagranicznej).

Licząca 118 stron praca doktorska została napisana poprawnie. Doktorant rozprawę podzielił na 8 rozdziałów.

Rozdział pierwszy zawiera wprowadzenie, przegląd literatury dotyczącej kompozytów i ich zastosowania, zagadnienia związane z opisem pól elektromagnetycznych oraz materiałami stosowanymi do ekranowania pól elektromagnetycznych. Rozdział drugi zawiera cele, tezy oraz opisuje zakres pracy doktorskiej. Kolejne rozdziały 3-6 zawierają opis właściwości termomechaniczne kompozytów polimerowych, wybrane właściwości elektryczne i magnetyczne materiałów oraz technologie wytwarzania kompozytów. Rozdział siódmy opisuje badania własne doktoranta, a w rozdziale ósmym doktorant zamieścił wnioski końcowe. Układ pracy jest poprawny.

Zastosowane piśmiennictwo składa się ze 222 pozycji literaturowych, które zostały dobrane poprawnie oraz poprawnie cytowane.

Celem pracy było określenie jakościowego i ilościowego składu kompozytów, o dobrych właściwościach ekranujących pole elektromagnetyczne oraz wyznaczenie optymalnych parametrów ich wytwarzania metodą prasowania na gorąco.

Problemem był zarówno dobór rodzaju napełniacza, jego kształt, uziarnienie, właściwości elektromagnetyczne oraz sposób jego połączenia w stabilną termomechanicznie strukturę kompozytową, w celu umożliwienia budowy przesłon ekranujących pole elektromagnetyczne w szerokim zakresie częstotliwości.

Doktorant postawił dwie hipotezy badawcze:

- Istnieje możliwość doboru rodzaju, ilości i wielkości cząstek napełniacza magnetycznego, pochodzącego z recyklingu, wprowadzonego do polimerowej osnowy dla uzyskania podatnego do prasowania na gorąco kompozytu przeznaczonego na wyroby o optymalnych właściwościach termomechanicznych.
- Istnieje możliwość wytworzenia kompozytów o zadawalających, dla określonych zastosowań, właściwościach ekranujących pole elektromagnetyczne, zależnych od rodzaju polimeru stanowiącego osnowę kompozytu oraz od rodzaju, ilości, ułożenia i kształtu napełniacza.

Doktorant przeprowadził analizę przydatności wybranych materiałów w ekranowaniu pola. Do wytworzenia kompozytów zastosował następujące materiały odpadowe:

pyły złomowiskowe, wióry aluminiowe i mosiężne, włókna miedziane, płatki i pyły zendry, wstęgi taśmy nanokrystalicznej.

W pierwszej kolejności doktorant weryfikował parametry wybranych materiałów takie jak przenikalność magnetyczna, rezystancja skrośna i powierzchniowa. Doktorant wykonał symulacje obliczeniowe w środowisku MATLAB, w celu dokładnego sprawdzenia kryteriów spełniających założenia skuteczności ekranowania pola elektromagnetycznego. Następnie doktorant wytypował dwa materiały dla napełnień, które jego zdaniem spełniają kryteria założone w tezach pracy i poddał je badaniom szczegółowym. Materiały te, to zgorzelina walcownicza oraz taśmy nanokrystaliczne. Kompozyty do badań wytwarzano technologią prasowania tłoczego tworzyw polimerowych HDPE. Doktorant w oparciu o wykonane pomiary ekranowania pola elektromagnetycznego starał się opracować optymalny skład kompozytu o najlepszych właściwościach ekranujących pole elektromagnetyczne. W tym celu wykonał próbki o tym samym składzie, ale o różnej strukturze, a następnie materiały te poddano badaniom ich właściwości termomechanicznych. Wynikiem tych badań było wyłonienie finalnego kompozytu, na którym przeprowadzono pomiary skuteczności ekranowania pola elektromagnetycznego w zakresie częstotliwości od 50 Hz do 15 GHz.

Na początku doktorant wykonał badania rezystancji skrośnej i powierzchniowej oraz sprawdził skuteczność ekranowania pola elektromagnetycznego dla kompozytów zawierających zendrę walcowniczą o składach od 20 - 80% napełnienia.

W wyniku prowadzonych prac doktorant stwierdził, iż wykonywanie próby skuteczności ekranowania kompozytów poniżej zawartości 50% napełnienia dają niezadowalające wyniki, co spowodowało ich wyeliminowanie. Niską skuteczność ekranowania wykazywały napełniacze takie jak mosiądz i aluminium. Z tego powodu doktorant wycofał je z dalszych badań. Także wyniki pomiarów skuteczności ekranowania pyłów złomowiskowych były znacznie gorsze od wyników dla zendry i blachy nanokrystalicznej, co było przyczyną eliminacji ich pyłów z dalszych badań. W celu zwiększenia skuteczności ekranowania wykonano kompozyty wykorzystując dwa napełniacze. W trakcie analizy skuteczności ekranowania kompozytów dwuskładnikowych przeprowadzono badanie zmiany natężenia pola magnetycznego dla niskich częstotliwości. Wyniki sprawdzenia skuteczności ekranowania pozwoliły dokonać wyboru składu kompozytu do badań termomechanicznych.

W wyniku dokonanych przez doktoranta analiz termogramów dla jednego kompozytu różniącego się orientacją warstwy ceramicznej podczas wykonywania próby metodą DMTA, w fazie szklistej różnica ta wynosiła około 2000 MPa. Doktorant dokonał porównania wpływu warstwy ceramiki na różnice w module zachowawczym i stwierdził, że korzystniejsze jest ściskanie warstwy ceramiki niż rozciąganie. Wykorzystując doświadczenie z poprzedniego badania dla kompozytu składającego się z trzech warstw wykonano próbę metodą DMTA. Analizując wszystkie termogramy kompozytów stwierdzono, że najwyższe wartości modułu zachowawczego w funkcji temperatury w fazie szklistej zaobserwowano w kompozycie bez warstwy ceramiki, gdzie wartość modułu EY' wynosiła ponad 14000 MPa. Doktorant stwierdził również, że dodanie do powyższego składu mieszanki warstwy ceramiki znacznie pogorszyło wartość modułu zachowawczego w fazie szklistej, różnica wynosiła około 4000 MPa. Następnie doktorant porównując termogramy DMTA, wartości EY' kompozytu składającego się z trzech warstw, do zhomogenizowanego bez warstwy ceramiki. W tym przypadku różnica wynosiła około 2000 MPa. Dodanie do kompozytu warstwy ceramiki powoduje zmniejszenie wytrzymałości na rozciąganie, twardości oraz udarność. Porównując wyniki badań stwierdzono, że najkorzystniejsze właściwości termomechaniczne wykazywały próbki kompozytowe o strukturze mieszanej bez ceramiki, natomiast dodanie proszku ceramicznego pogarszało właściwości termomechaniczne. Próbkę warstwową wykazywały negatywnie zachowywanie się kompozytu podczas badań termomechanicznych, mogło być to spowodowane różnicami adhezji między warstwami napełniaczy. W wyniku analizy badań na prototypach komór ostatecznie potwierdzono tezę pracy.

Jak wykazano w pracy zastosowanie surowców z recyklingu poprawiających właściwości kompozytów polimerowych ekranujących pole elektromagnetyczne może być w przyszłości ważnym aspektem badań w produkcji kompozytów polimerowych wykorzystywanych w wielu gałęziach przemysłu, a przedstawione wyniki badań eksperymentalnych stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Doktorant osobiście wytwarzał kompozyty o osnowie z termoplastycznych polimerów i wykonywał badania termomechaniczne oraz elektrotechniczne.

Założenia przyjęte przez doktoranta w rozprawie są uzasadnione, a zastosowane metody badawcze poprawne a cel rozprawy został osiągnięty.

Uwagi ogólne i krytyczne

1. Czy pomiary ekranowania i pomiary pola elektromagnetycznego były obarczone błędem, a jeżeli tak, to jakim? Jaki był budżet niepewności pomiaru w tych przypadkach?
2. Proszę o podanie ile próbek doktorant przebadał wykonując poszczególne eksperymenty i jakie były sposoby doboru ich ilości?
3. Wykres 7.26 strona 101: na osi 0-Y natężenie pola magnetycznego opisane jest w %, a natężenie mierzy się w A/m. Symbol natężenia pola na tym wykresie powinien mieć wskaźnik oznaczający wielkość względną np. H_w , a symbol ten powinien się znaleźć na liście oznaczeń parametrów używanych w dziale Elektrotechnika str.8 lub 9. Pytanie co autor rozumiałby przez wielkość $H_w[\%]$ = ?, to jest stosunek czego do czego ?
4. Pomiary w komorze bezodbiłowej – brak identyfikacji typu przyrządów pomiarowych oraz sondy pomiarowej używanych w badaniach pokazanych na rys 7.40.
5. Jaki przyrząd pomiarowy został użyty do pomiaru pola magnetycznego DC dla wyników pokazanych na rysunku 7.45?
6. Jakie przyrządy pomiarowe zostały użyte do budowy stanowiska pomiarowego z fotografii Rys. 7.25? Czy generator bezpośrednio zasila w tym przypadku cewkę? Brak schematu tego stanowiska. Proszę o przedstawienie schematu tego układu pomiarowego.
7. Tabela 7.3 W całej tabeli podano tylko raz proporcje - 70 % kompozyt - czy odnośne proporcje nie powinny być podawane dla innych wierszy tabeli?
8. Na stronie 83 pozycja H w opisie rysunku 7.1 pojawia się nazwa amorfik – potrzebne wyjaśnienie, co to pojęcie obejmuje?
10. Na stronie 83 podpis pod rysunkiem 7.2 Jaki materiał wypełniający obejmuje pojęcie ceramika? Nie wyjaśniono, jakiego rodzaju materiał ceramiczny został zastosowany.

Proszę, aby Doktorant pisemnie odniósł się do powyższych uwag.

Zawarte w recenzji uwagi nie wpływają w sposób krytyczny na wartość merytoryczną rozprawy. Po udzieleniu odpowiedzi przez doktoranta, praca nie wymaga zmian ani uzupełnień.

Wniosek końcowy

Rozprawa nosi cechy pracy zarówno teoretycznej jak i praktycznej i może znaleźć w przyszłości zastosowanie praktyczne. Zarówno stroną naukową jak i formalną pracy oceniam pozytywnie. Uważam również, że rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Mechaniczna oraz, że posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wyrażam pozytywną opinię i uważam, że praca doktorska Pana mgr inż. Łukasza Suheckiego pt.: „Analiza wpływu zastosowania surowców z recyklingu na właściwości kompozytów polimerowych ekranujących pole elektromagnetyczne.” spełnia kryteria i wymogi określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2020 roku poz. 85, z późn. zm.). i dlatego wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

dr hab. Dariusz Szafrowski, prof. uczelni.