



Wojskowa
Akademia
Techniczna

Instytut
Optoelektroniki 

płk dr hab. inż. Bartłomiej Jankiewicz, prof. WAT

Warszawa, dn. 16.04.2025 r.

Instytut Optoelektroniki

Wojskowa Akademia Techniczna

ul. gen. S. Kaliskiego 2

00-908 Warszawa

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Piotra Augustyna

pt. „**Termoplastyczne kompozyty polimerowe modyfikowane laserowo i metalizowane prądowo o właściwościach ekranujących pole magnetyczne**”

przygotowanej na Wydziale Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy pod kierunkiem promotora dr. hab. Piotra Rytlewskiego, prof. UKW

Podstawa prawna opracowania recenzji:

Recenzja została wykonana na podstawie uchwały Rady Dziedziny Nauk Inżynierijno-Technicznych Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy z dnia 18 lutego 2025 roku, zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn. zm.), na zlecenie Przewodniczącego Rady Dziedziny Nauk Inżynierijno-Technicznych Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy Pana dr. hab. inż. Mieczysława Cieszko, prof. UKW z dnia 18 lutego 2025 r. oraz rozprawy doktorskiej pt. „Termoplastyczne kompozyty polimerowe modyfikowane laserowo i metalizowane prądowo o właściwościach ekranujących pole magnetyczne”.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa mgr. inż. Piotra Augustyna została wykonana pod kierunkiem Pana dr. hab. Piotra Rytlewskiego, prof. UKW, Kierownika Katedry Inżynierii Materiałów Polimerowych na Wydziale Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Praca podejmuje ciekawą tematykę badawczą, jaką jest prądowe selektywne metalizowanie modyfikowanych laserowo przewodzących kompozytów polimerowych. Opracowane nowe kompozyty posiadają duży potencjał aplikacyjny i mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle elektrotechnicznym, elektronicznym i zbrojeniowym. Przedstawione i opisane w rozprawie

badania oraz analizy mieszczą się w obszarze tematycznym dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa.

2. Ocena rozprawy doktorskiej

Ocena układu rozprawy doktorskiej oraz informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Przekazana do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Augustyna jest obszerna i obejmuje łącznie 203 strony. W ujęciu ogólnym rozprawę charakteryzuje przejrzysty układ typowy dla prac doktorskich oraz właściwy podział treści na rozdziały. Pierwsza część rozprawy licząca 48 stron zawiera wprowadzenie oraz rozdział zawierający analizę aktualnego stanu wiedzy w zakresie tematyki badawczej doktoratu. Rozdział drugi zawiera tezę badawczą oraz cele rozprawy, które Autor sformułował na podstawie analizy literatury oraz wyników badań wstępnych. Kolejne cztery rozdziały liczące łącznie 123 strony stanowią opis badań przeprowadzonych przez Autora obejmujący metodykę badań, wyniki badań wstępnych i zasadniczych, oraz wnioski końcowe. W ostatnim rozdziale rozprawy (15 stron) znajduje się wykaz literatury, na którą powołuję się Autor. Wykaz literatury poprzedzają streszczenia pracy w języku polskim i angielskim. W tekście zawarte są również liczne rysunki (108) i tabele (20), spis treści oraz spis ważniejszych symboli i akronimów. Zamieszczone w tekście rysunki oraz zestawienia tabelaryczne poprawnie prezentują dokonania i osiągnięcia Autora rozprawy.

Ocenę zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Bibliografia składa się z 240 pozycji związanych z tematyką pracy i obejmuje artykuły, książki oraz normy i standardy publikowane w języku polskim i angielskim. Autor prawidłowo dobrał pozycje literaturowe, jednakże moje zastrzeżenie budzi niewielka liczba publikacji z ostatnich kilku lat. Przykładowo w analizie aktualnego stanu literatury Autor przywołuje ponad 170 pozycji literaturowych, z których tylko kilka pochodzi z ostatnich dziesięciu lat. Autor przykładowo odnosi się do obecnych zastosowań powołując się na publikacje z lat 2003 i 2008.

Zastrzeżenie budzi również sposób odwoływania się do cytowanej literatury w tekście. Autor rozpoczął odnoszenie się cytowanego piśmiennictwa od pozycji 105. W dalszej części pracy również nie odnosi się kolejno do następujących po sobie pozycji literaturowych w spisie. W tekstach naukowych za jaki można uznać rozprawę doktorską cytowane pozycje literaturowe powinny być ponumerowane kolejno, zgodnie z kolejnością, w jakiej pojawiają się po raz pierwszy w tekście.

Wskazanie oraz ocenę celu pracy kandydata

Podstawowym celem poznawczym pracy kandydata było poszerzenie wiedzy na temat właściwości kompozytów polimerowych o wysokiej przewodności elektrycznej przeznaczonych do metalizowania prądowego przy zastosowaniu laserowych technik modyfikacji warstwy wierzchniej. Ponadto kandydat wyznaczył sobie za cele poznawcze zbadanie wpływu użytych materiałów oraz wybranych parametrów prowadzenia procesu na właściwości wytwarzanych kompozytów, jak również pozyskanie wiedzy i doświadczenia umożliwiających opracowanie wytycznych dla laserowej modyfikacji warstwy wierzchniej oraz wytwarzania kompozytów przewodzących.

Celem użytkowym rozprawy było opracowanie nowych kompozytów polimerowych, które po uprzedniej modyfikacji laserowej, przeznaczone będą do metalizacji prądowej. Otrzymywane kompozyty powinny charakteryzować się możliwie dobrą wytrzymałością mechaniczną, obniżoną rezystywnością powierzchniową w obszarach przeznaczonych do metalizowania prądowego oraz właściwościami ekranującymi pole elektromagnetyczne przy zachowaniu dielektrycznego charakteru materiału.

W mojej ocenie teza badawcza rozprawy została sformułowana poprawnie, a także została przez Autora udowodniona. Postawione cele poznawcze oraz cel zasadniczy są zasadne i ostatecznie zostały zrealizowane w prawidłowy sposób.

Wskazanie oraz ocenę zastosowanych metod badawczych

W ramach realizacji prac badawczych, których wyniki stały się podstawą przygotowania przedłożonej rozprawy doktorskiej, kandydat zastosował szereg metod badawczych, które w mojej ocenie zostały dobrane prawidłowe. Zastosowane metody zostały omówione a ich użycie uzasadnione w rozdziale trzecim. Autor do charakteryzacji wytwarzanych materiałów z zastosował analizę termiczną, badania zwilżalności powierzchni oraz swobodnej energii powierzchniowej, badania właściwości mechanicznych, w tym badanie wytrzymałości na rozciąganie i dynamiczną analizę mechaniczną, badanie wytrzymałości złącz adhezyjnych, badania morfologii powierzchni oraz badania składu chemicznego. Autor badał również właściwości elektryczne wytwarzanych materiałów, w tym rezystywność powierzchniową, przenikalność elektryczną, a także właściwość mającą bezpośrednie przełożenie na potencjalne zastosowania, czyli skuteczność ekranowania pola elektromagnetycznego.

Badania wykonywane były głównie na urządzeniach komercyjnych, ale co jest istotne do odnotowania także na urządzeniach wykonanych przez Autora. Zaprojektował on i wykonał stanowisko z automatycznym dołączaniem elektrod, jak również napisał

oprogramowanie do tego urządzenia. Stanowisko to Autor używał w układzie pomiarowym do wyznaczania rezystywności warstwy przewodzącej.

Warto zwrócić uwagę, że Autor realizował swoje badania nie tylko na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego, ale również w laboratoriach innych ośrodków badawczych i firm w Polsce. W mojej ocenie stanowi to wartość dodaną pracy badawczej wykonanej przez mgr. inż. Piotra Augustyna i jest istotne z punktu widzenia rozwijania umiejętności współpracy tak istotnej w pracy naukowej.

Ocenę części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych metodami opisanymi w rozdziale trzecim, zostały obszernie i w przejrzysty sposób scharakteryzowane w rozdziałach czwartym i piątym, a następnie podsumowane we wnioskach końcowych w rozdziale szóstym. W rozdziale trzecim Autor opisał badania wstępne, które miały trzy główne cele. Pierwszym z nich był wybór materiału polimerowego spośród materiałów szeroko stosowanych w przemyśle (ABS, PC, PA6, PS, PLA, PET), który są najbardziej podatne na działanie promieniowania laserowego. Po serii badań i ich wnikliwej analizie materiałem, który został wybrany do dalszych badań jako osnowa był ABS. Drugim celem był wybór odpowiednich napełniaczy zapewniających prądową metalizację wytworzonego kompozytu. Autor wytworzył szereg kompozytów ABS z wybranymi napełniaczami węglowymi (CB, CNF, CNT GNP) oraz napełniaczami metalicznymi (Cu(F), Cu(P), CuZn, Sn) o różnych stopniach napełnienia. Na podstawie przeprowadzonych badań, w tym określaniu wartości rezystywności powierzchniowej, względnej przenikalności elektrycznej oraz skuteczności ekranowania pola elektromagnetycznego, do dalszych badań wybrano napełniacze Cu(F) oraz Sn. Trzecim celem był wybór kompozytu, który umożliwi selektywną metalizację prądową po wcześniejszej modyfikacji laserowej powierzchni. Ostatecznie do badań zasadniczych wytypowano kompozyt zawierający 25% obj. mieszaniny Sn i Cu(F). Badania zasadnicze opisane w rozdziale piątym obejmowały między innymi analizę termiczną, określanie właściwości mechanicznych i elektrycznych kompozytów, określanie efektów napromieniowania laserowego kompozytów, oraz analizę powłok metalicznych otrzymanych poprzez metalizowanie prądowe. W rozdziale szóstym Autor przedstawił najważniejsze wnioski końcowe, które sformułował na podstawie analizy uzyskanych wyników.

Rozdziały rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników potwierdzają dobrą organizację zaplanowanych i przeprowadzonych badań umiejętność systematyzowania działań prowadzących do uzyskania zaplanowanego celu. Podsumowując, chciałbym podkreślić szeroki zakres interdyscyplinarnych badań przeprowadzonych przez mgr. Inż.

Piotra Augustyna z zastosowaniem wielu technik badawczych oraz kompleksową analizę uzyskanych wyników.

Informację dotyczącą praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Opracowane kompozyty charakteryzują się właściwościami ekranującymi promieniowanie elektromagnetyczne. Właściwości te sprawiają, że posiadają one potencjał aplikacyjny i mogą znaleźć zastosowanie jako materiał na obudowy, przegrody czy ekrany ograniczające wpływ pola elektromagnetycznego na urządzenia i ludzi. Ponadto, część rozprawy doktorskiej dotycząca sposobu wytwarzania i metalizowania kompozytu polimerowego jest przedmiotem zgłoszenia patentowego w Urzędzie Patentowym oraz w Europejskim Urzędzie Patentowym. Autor zaprojektował, wykonał i oprogramował stanowisko z automatycznym dołączaniem elektrod stanowisko w układzie pomiarowym do wyznaczania rezystywności warstwy przewodzącej. Stanowisko to będzie z pewnością przydatne w innych pracach badawczych wykonywanych w laboratoriach Katedry Inżynierii Materiałów Polimerowych Wydziału Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego.

Ocenę czy rozprawa doktorska zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Pan mgr inż. Piotr Augustyn zrealizował cele swojej pracy i zweryfikował jej tezę. Uwzględniając ich naukowy charakter stwierdzam, że prace badawcze przeprowadzone przez Autora stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w szczególności w zakresie sposobu wytwarzania i metalizowania kompozytu polimerowego.

Ocenę czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej

W mojej ocenie praca bardzo dobrze wpisuje się w dyscyplinę inżynieria materiałowa i napisana jest poprawnie z punktu widzenia metodyki. Przedstawione przez Pana Piotra Augustyna przegląd literatury, opis metod badawczych, przeprowadzonych badań oraz dyskusja wyników wskazują również, że Doktorant posiada ogólną i dobrze ugruntowaną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Informacje o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie:

Praca jest ogólnie napisana poprawnym językiem, choć czasami zdarzają się pewne niedoskonałości, niepoprawne lub nieprecyzyjne określenia, i błędy stylistyczne. Stosowane pojęcia i terminologia nie budzą większych zastrzeżeń. Poniżej zamieściłem kilka uwag dotyczących strony edycyjnej rozprawy, które nie wpływają jednak na osiągnięcie naukowych

celów pracy, jednak w mojej ocenie przekładają się na odbiór rozprawy. Są to uwagi istotne z punktu widzenia pisania tekstów naukowych, w tym artykułów.

Uwagi do strony edycyjnej rozprawy:

- niepoprawne nazwy związków chemicznych (np. manganian potasu KMnO_4),
- literówki, niepoprawne formy słów (np. zamieniania, skrót około - ok zamiast ok., czy w Tab. 3 firma dostarczająca materiały to Merc czy Merck?),
- stylistyka np. „Jednak w przypadku rozkładów niskotemperaturowych wówczas prekursorami są związki metaloorganiczne.” (Str. 30) czy „...rezultaty napromieniowania poddane zostały analizie” (str. 71),
- niepoprawne określenia np. cząsteczki w odniesieniu do cząstek Ag w postaci nanowłókien srebra (str. 46) czy „współczynniki absorpcji” (str. 105),
- brak odnośników literaturowych do rysunków, które pochodzą z artykułu Autora,
- niejednolite formatowanie odnośników literaturowych.

3. Ocena końcowa rozprawy doktorskiej

W ogólnej ocenie stwierdzam, że Pan mgr inż. Piotr Augustyn zrealizował cele badawcze będące przedmiotem rozprawy doktorskiej. Zawarte w rozprawie podsumowanie wyników badań znajduje udokumentowane uzasadnienie. Sformułowana teza została udowodniona w oparciu o przeprowadzone studium literaturowe oraz wykonane i prawidłowo zinterpretowane wyniki badań własnych. Sposób przedstawienia i opracowania wyników badań wskazuje, że Autor rozprawy opanował w stopniu bardzo dobrym warsztat badawczy niezbędny do realizacji pracy i wykazał niezbędną wiedzę z zakresu inżynierii materiałowej, planowania badań i metod opracowywania wyników. Autor poprawnie sformułował wnioski o znaczeniu poznawczym i umiejętnie je uogólnił.

Biorąc pod uwagę poznawcze i aplikacyjne znaczenie pracy, sposób realizacji programu badawczego, formę opracowania i przedstawienia wyników wykonanych badań, jak również zaprezentowane wnioski, stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Piotra Augustyna pt.: *„Termoplastyczne kompozyty polimerowe modyfikowane laserowo i metalizowane prądowo o właściwościach ekranujących pole magnetyczne”* spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr. inż. Piotra Augustyna do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

.....
(podpis recenzenta)