



Gdańsk, 10.12.2024

## Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jakuba Aniulisa

pt. „**Opracowanie instalacji do wytwarzania materiałów aktywowanych chemicznie do zastosowań w technikach addytywnych**”

Podstawą formalną do przygotowania recenzji rozprawy doktorskiej było pismo RDN/AEETK/156/2024 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, prof. dr hab. inż. Andrzeja Dziejdzica. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Krzysztof Marek Abramski, a rolę promotora pomocniczego pełni dr inż. Grzegorz Dudzik.

### 1. Zasadność podjęcia tematu oraz ocena oryginalności problematyki

Recenzowana rozprawa doktorska podejmuje zagadnienia z zakresu nowoczesnych technik wytwarzania przyrostowego, a jej celem było opracowanie elektronicznej instalacji czujnikowej do charakteryzacji i kontroli jakości materiałów polimerowych w formie filamentów. W kontekście obserwowanego rozwoju technologii druku 3D oraz rosnących wymagań jakościowych dla wejściowych materiałów polimerowych, wybór tematyki należy uznać za uzasadniony z perspektywy zarówno poznawczej jak i aplikacyjnej.

Jako główną tezę badawczą założono możliwość wzdużnej charakteryzacji filamentu do druku 3D za pomocą pomiaru jego parametrów: względnej przenikalności elektrycznej, krągłości, defektów strukturalnych, poziomu zawilgocenia materiału, proporcji składników i współczynnika Poissona z użyciem metod optycznych, pojemnościowych oraz analizy widma ultradźwiękowego poprzez zintegrowany system pomiarowy.

---

#### Kontakt:

dr hab. inż. Robert Bogdanowicz prof. PG  
Tel +48 58 3471503 | email: rbogdan@eti.pg.edu.pl  
Fax +48 58 3471848 | http://diamondized.eu



Pragnę podkreślić, że rozprawa ma głęboki charakter praktyczny, a przedstawione w niej wyniki badań mają istotne znaczenie dla optymalizacji technologii druku 3D, w szczególności w zakresie kontroli jakości materiałów stosowanych do realizacji wydruków.

W literaturze są znane różne rozwiązania diagnostyczne oraz techniczne do badania parametrów filamentu i zagadnienia te są podejmowane praktycznie od początku stosowania technik wytwarzania addytywnego. Przedstawione w rozprawie wyniki integrują istniejące rozwiązania i realizują je podczas przemieszczania się materiału w formie filamentu. W zbudowanym i badanym w rozprawie systemie możliwa jest praca w trybie ciągłym podczas wytłaczania nowych produktów, co umożliwi kontrolę i regulację parametrów ich wytwarzania.

**Założony cel oraz teza badawcza są mierzalne oraz cechują się wartością naukową, przede wszystkim w aspekcie aplikacyjnym. Podjęta problematyka badawcza jest inkrementalnie nowatorska i wymagająca od Autora wykazania się zaawansowaną wiedzą z wielu dziedzin.** Zaprojektowanie, konstrukcja oraz implementacja systemu do monitoringu wytłaczania filamentów wymagało rozwiązań pozycjonujących się zarówno w wymiarze technologicznym jak i doświadczalnym, stawiało przed Doktorantem wyzwania, wymagające gruntownej znajomości elektroniki, optoelektroniki, fizyki, inżynierii mechanicznej i chemicznej.

## **2. Szczegółowa charakterystyka i ocena rozprawy doktorskiej**

Recenzowana rozprawa doktorska, zredagowana w języku polskim, liczy 104 strony maszynopisu, z podziałem na 7 rozdziałów. Praca zawiera 78 rysunków, 7 tabeli oraz bibliografię obejmującą 181 pozycji. Stanowi ona szeroki materiał technologiczny, wzbogacony o wkład diagnostyczny i badawczy, co świadczy o znaczącym wysiłku i zaangażowaniu Doktoranta w realizację i przygotowanie rozprawy.

Wstępny rozdział 1 prezentuje motywację, cele i tezę rozprawy. Następnie autor wprowadza czytelnika w strukturę pracy, przedstawiając przewodnik po zawartości poszczególnych rozdziałów, co usprawnia nawigację i selektywną lekturę. Cele szczegółowe są określone dość ogólnikowo oraz nieznacznie pokrywają się ze sobą. Układ treści w rozdziałach wykazuje

---

### Kontakt:

dr hab. inż. Robert Bogdanowicz prof. PG  
Tel +48 58 3471503 | email: rbogdan@eti.pg.edu.pl  
Fax +48 58 3471848 | http://diamondized.eu



pewne niekonsekwencje, a styl ich prezentacji nie zawsze odpowiada standardom dla tego typu prac.

Rozdział 2 przedstawiający wprowadzenie do technik addytywnych typu FDM/FFF oraz problematykę i stan wiedzy w zakresie charakteryzacji filamentów jest niezwykle zdawkowy (tylko 5 stron). O ile zakres tematyczny tej sekcji jest właściwy to analiza literatury mogłaby być bardziej wnikliwa i systematyczna. Wiele przywoływanych pozycji nie zostało należycie przedyskutowanych w kontekście prowadzonych badań.

Rozdziały 3 i 4 przedstawiają metodykę stosowaną w rozprawie zarówno w aspekcie autorskich rozwiązań modułów pomiarowych, modelowania ich funkcjonowania jak i zastosowanych technik referencyjnych. Na uwagę zasługuje kompleksowe podejście do konstrukcji systemu diagnostycznego, integrującego różnorodne techniki pomiarowe. Metodologia badawcza prezentowana w rozprawie wykazuje pewne nieścisłości i braki systematycznego podejścia w zakresie jej uporządkowania w jednym, wybranym rozdziale. Opis techniczny jest dość chaotyczny, miejscami nieprecyzyjny, a dokumentacja nie zawiera spójnego opisu w rozdziałach tak aby jasno potwierdzać prawidłowe funkcjonowanie układu. Wiele rysunków nie zostało szczegółowo omówionych w tekście albo są nieprawidłowo ponumerowane, co utrudnia ocenę proponowanych rozwiązań. Doceniam, że wykonano szeroką charakteryzację modułów pomiarowych, ale brak systematycznej analizy danych pomiarowych i wzajemnych korelacji między mierzonymi parametrami jak i walidacji metod z wykorzystaniem technik referencyjnych zdecydowanie obniża walory pracy. Autor przedstawia podstawy fizyczne działania poszczególnych modułów pomiarowych jednakże ich analiza teoretyczna jest fragmentaryczna i nie tworzy spójnego modelu opisującego wzajemne relacje między mierzonymi parametrami.

Rozdział 5 rozprawy przedstawia wyniki badań filamentów różnego typu i pochodzenia. Autor demonstruje możliwości opracowanego systemu w zakresie wykrywania defektów strukturalnych, monitorowania zawilgocenia oraz identyfikacji materiałów. Prezentacja wyników jest jednak nieusystematyzowana, a analiza statystyczna ograniczona. Szczególnie brakuje tu walidacji wyników z metodami referencyjnymi jak i szczegółowej dyskusji ograniczeń zaproponowanych metod.

---

**Kontakt:**

dr hab. inż. Robert Bogdanowicz prof. PG  
Tel +48 58 3471503 | email: [rbogdan@eti.pg.edu.pl](mailto:rbogdan@eti.pg.edu.pl)  
Fax +48 58 3471848 | <http://diamondized.eu>





Rozdział 6 opisuje praktyczne zastosowanie opracowanej instalacji do wytwarzania materiałów kompozytowych na bazie PLA z dodatkiem hydroksyapatytu. Przedstawiona metodologia procesu technologicznego jest interesująca, jednak brakuje pogłębionej analizy wpływu parametrów procesowych na wyniki uzyskiwane z systemu / instalacji monitorującej. Rozdział ten jest niezwykle wartościowy ale stanowi praktycznie niezależną całość, będąc jednocześnie częścią opublikowanego przez Autora artykułu. Praca ta była doceniona przez recenzentów, ale materiały z tego rozdziału powinny być pełniej zintegrowane z rozprawą.

Pomimo wskazanych niedociągnięć, rozprawa prezentuje merytoryczne osiągnięcia naukowe i techniczne. System monitorowania jakości filamentu (R-FQM) stanowi oryginalne rozwiązanie Autora w obszarze problematyki kontroli jakości w procesie produkcji filamentu. Integracja różnych technik pomiarowych jest atrakcyjna koncepcyjnie, jednak brakuje szczegółowej analizy wzajemnych korelacji między mierzonymi parametrami. Zaprezentowana implementacja metody redukcji średnicy filamentów poprzez zimną ekstruzję jest wartościowym osiągnięciem praktycznym.

Praca kończy się obszernym zakończeniem z podsumowaniem wszystkich wyników, podkreślającym uzyskane efekty potwierdzające osiągnięcie założonych celów i tezę. Załączony dorobek naukowy Autora obejmuje publikacje, zgłoszenie patentowe, prezentacje konferencyjne, projekty badawcze, współprace naukowe i komercyjne, co świadczy o jego aktywnym wkładzie w rozwój technologii przyrostowych.

Do oryginalnych aspektów rozprawy zaliczam rozwiązanie pomiaru przenikalności elektrycznej filamentów z użyciem metody kondensatorowej, która jest standardowo stosowana do badania dielektryków. W pracy wykonano również modelowanie zjawisk elektrycznych w układzie kondensatora rurowego będącego przetwornikiem do badania przenikalności. Analiza zmian strukturalnych i właściwości elektrycznych modyfikowanego filamentu (rozdział 7) została przeprowadzona z wykorzystaniem trzech komplementarnych technik badawczych. Zaobserwowane zmiany w charakterystyce wzdłużnej średnicy materiału polimerowego po wygrzewaniu rekrytalizacyjnym znajdują odzwierciedlenie w analizie DSC, która sugeruje mechanizmy relaksacji naprężeń wewnętrznych oraz płynięcie materiału. 24-godzinne wygrzewanie próbki prowadziło do zaobserwowanego spadku względnej przenikalności elektrycznej za pomocą opracowanej głowicy pojemnościowej, przy czym

---

Kontakt:

dr hab. inż. Robert Bogdanowicz prof. PG  
Tel +48 58 3471503 | email: rbogdan@eti.pg.edu.pl  
Fax +48 58 3471848 | <http://diamondized.eu>





korelująca z tym zjawiskiem obecność frakcji krystalicznej została potwierdzona zarówno w widmach FTIR, jak i termogramach DSC.

Przedstawiona w rozprawie dyskusja pokazuje wszechstronne podejście Doktoranta do badań technologicznych jak i diagnostycznych oraz jego wiedzę w zakresie projektowania układów elektronicznych i mechanicznych. Pragnę podkreślić, iż Doktorant jest współautorem 2 publikacji w czasopismach z listy ISI bezpośrednio związanych z rozprawą.

### 3. Dyskusja i pytania do Doktoranta

Pod względem redakcyjnym rozprawa doktorska posiada liczne uchybienia. Treści nie są uporządkowane edytorsko i metodyczne. W rozprawie występują liczne błędy redakcyjne i stylistyczne, które obniżają jej wartość formalną, co niestety znacząco utrudnia odbiór niewątpliwie ważnej zawartości merytorycznej. Rysunki i tabele są w większości przejrzyste, ale niestety często nieprzywołane w tekście we właściwym miejscu oraz omawiane ogólnikowo. Autor wykazuje się sprawnym posługiwaniem specjalistycznym słownictwem w przeważającej części pracy. W kontekście rezultatów zaprezentowanych w dysertacji, zwracam się do Autora z prośbą o bardziej wnikliwą dyskusję następujących zagadnień:

- Jakie fundamentalne ograniczenia fizyczne wpływają na dokładność pomiarów w module pojemnościowym? Proszę o dyskusję czynników wpływających na niejednorodności pola elektrycznego a zatem wyniki pomiarów przenikalności elektrycznej filamentów.
- Jakie były kryteria doboru kalibracyjnej szpuli i jakimi technikami zbadano jej parametry przed użyciem do kalibracji?
- Z czego wynika nierównomierne zafalowanie w widmie Rysunek 4.14 (ok. 470 nm)?
- Proszę o dyskusję wyników Rys. 5.13. Filamenty o różnej barwie posiadają wysoką absorpcję oraz rozpraszanie na powierzchni. W jaki sposób uzyskano tak wysoki poziom transmisji promieniowania ze źródła LED ? Proszę o komentarz do skali. Co oznacza względne natężenie transmisji „1”?
- W jaki sposób można zoptymalizować proces zimnej ekstruzji dla zachowania jednorodnych właściwości mechanicznych filamentu (wysoka kruchość) ? Proszę o wskazanie kluczowych parametrów procesowych.

---

#### Kontakt:

dr hab. inż. Robert Bogdanowicz prof. PG  
Tel +48 58 3471503 | email: rbogdan@eti.pg.edu.pl  
Fax +48 58 3471848 | http://diamondized.eu



- Jak będzie wpływać krystaliczność polimeru bazowego na wyniki pomiarów spektroskopowych i ultradźwiękowych?
- Rysunek 5.16 przedstawia rezonansową spektroskopię ultradźwiękową przeprowadzoną dla 5 różnych filamentów PLA oraz PETG. Proszę o dyskusję rezonansów, które pozwalają na rozróżnienie typów użytego materiału.
- Jakie modyfikacje metodologiczne należałoby wprowadzić dla zwiększenia dokładności i powtarzalności pomiarów w warunkach przemysłowych?

**Pomimo wskazanych niedostatków, rozprawa doktorska mgr inż. Jakuba Aniulisa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie charakteryzacji materiałów dla technik addytywnych. Autor wykazał się umiejętnością prowadzenia samodzielnych badań naukowych oraz zdolnością do realizacji złożonych rozwiązań technicznych. Abstrahując od przedstawionych wcześniej uwag i spostrzeżeń, które stanowią element dyskusji naukowej, mogę stwierdzić, że dysertacja reprezentuje wartość naukową i zasługuje na pozytywne zaopiniowanie.**

#### **4. Wnioski końcowe**

Po dogłębnej analizie rozprawy i zapoznaniu się z podanymi publikacjami, mogę stwierdzić, że Doktorant w pełni sprostą postawionemu przed nim zadaniu badawczemu, potwierdzając słuszność sformułowanej tezy. Zaprezentowane rezultaty eksperymentalne wnoszą nowatorskie i wartościowe spostrzeżenia, przyczyniając się do rozwoju wiedzy w obszarze nauk inżynierijno-technicznych, w szczególności w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

**Chciałbym podkreślić, że biorąc pod uwagę całokształt rozprawy, należy stwierdzić, że pomimo wskazanych niedostatków metodologicznych i redakcyjnych, praca doktorska mgr inż. Jakuba Aniulisa pt. „Opracowanie instalacji do wytwarzania materiałów aktywowanych chemicznie do zastosowań w technikach addytywnych” spełnia wymogi ustawowe stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych, w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, określone w Ustawie Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce**

---

#### Kontakt:

dr hab. inż. Robert Bogdanowicz prof. PG  
Tel +48 58 3471503 | email: rbogdan@eti.pg.edu.pl  
Fax +48 58 3471848 | http://diamondized.eu

**(Art. 187 Ust. 1-4). Autor wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych, integracji wiedzy z różnych dziedzin, projektowania i realizacji złożonych układów pomiarowych oraz wykonywania analizy wyników eksperymentalnych. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.**



dr hab. inż. Robert Bogdanowicz, prof. PG

dr hab. inż. Robert Bogdanowicz prof. PG

---

**Kontakt:**

dr hab. inż. Robert Bogdanowicz prof. PG  
Tel +48 58 3471503 | email: rbogdan@eti.pg.edu.pl  
Fax +48 58 3471848 | <http://diamondized.eu>