



Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. Dariusza Mrozika pt. „Badania właściwości mechanicznych wybranych materiałów wytworzonych w technologii FDM oraz próby ich modelowania”

Recenzję pracy wykonano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny „Inżynieria Mechaniczna” Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, dra hab. inż. Łukasza Muslewskiego, prof. PBS z dnia 21 stycznia 2025 r. Promotorem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Łukasz Pejkowski, prof. PBS.

1. Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska mgra inż. Dariusza Mrozika pt. „Badania właściwości mechanicznych wybranych materiałów wytworzonych w technologii FDM oraz próby ich modelowania” dotyczy zagadnienia niezwykle aktualnego i ważnego z punktu widzenia współczesnej inżynierii materiałowej oraz mechanicznej. Technologia FDM jest jedną z najszerzej stosowanych metod druku 3D, a jej dynamiczny rozwój stwarza konieczność szczegółowego poznania właściwości mechanicznych uzyskiwanych w ten sposób materiałów.

Praca liczy 145 stron i została logicznie podzielona na sześć numerowanych rozdziałów. Poprzedzona jest krótkim wstępem, w którym Autor jasno definiuje cel, zakres oraz strukturę pracy. Wprowadzenie to pozwala czytelnikowi na szybkie zorientowanie się w podejmowanej problematyce i zrozumienie dalszej części rozprawy.

W rozdziale drugim Autor dokonuje przeglądu aktualnego stanu wiedzy, ze szczególnym uwzględnieniem właściwości mechanicznych materiałów polimerowych i technologii przyrostowych. Przegląd literatury został przedstawiony szczegółowo i kompetentnie, choć w niektórych miejscach jest nieco zbyt rozbudowany, co może prowadzić do powtórzeń i utraty przejrzystości wywodu.

Rozdział trzeci zawiera dokładny opis zastosowanej metodologii badań, w tym szczegóły dotyczące przygotowania próbek i przeprowadzenia eksperymentów mechanicznych. Szczególnym atutem tego rozdziału jest dbałość o precyzyjne przedstawienie

warunków badań, co gwarantuje ich powtarzalność. Brakuje jednak badań wieloosiowych, które mogłyby zwiększyć praktyczne znaczenie uzyskanych wyników.

W czwartym rozdziale pracy Autor koncentruje się na modelowaniu numerycznym badanych materiałów, opisując implementację wybranych modeli konstytutywnych. Przedstawione procedury oraz ich zastosowanie świadczą o dużych umiejętnościach Doktoranta w zakresie modelowania numerycznego i analizy wyników.

Piąty rozdział to szczegółowa analiza wyników eksperymentalnych i ich zestawienie z symulacjami numerycznymi. Wyniki przedstawione są w sposób klarowny, aczkolwiek w niektórych miejscach Autor mógłby bardziej szczegółowo skomentować ograniczenia stosowanych modeli.

Ostatni, szósty rozdział stanowi podsumowanie przeprowadzonych badań i zawiera jasne wnioski oraz propozycje dalszych kierunków badań, co jest bardzo cennym elementem rozprawy doktorskiej.

2. Opinia o pracy odnośnie spełnienia warunków ustawowych

2.1. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej

W pracy doktorskiej mgr. inż. Dariusza Mrozika zawarto obszerny i szczegółowy przegląd stanu wiedzy dotyczący materiałów polimerowych oraz technologii druku 3D, w szczególności metody FDM. Autor wykazał się znacznym rozeznanie w aktualnych zagadnieniach dotyczących właściwości mechanicznych, modeli konstytutywnych oraz metod analizy numerycznej. Na podstawie przeglądu literatury, który został umieszczony w drugim rozdziale rozprawy, można stwierdzić, że Doktorant kompetentnie przedstawia teoretyczne podstawy problematyki oraz wykazuje umiejętność krytycznej oceny dostępnych wyników badań i stosowanych metod modelowania materiałów. Przegląd literaturowy został zakończony odpowiednim podsumowaniem, co potwierdza umiejętność samodzielnego wyciągania wniosków przez Autora.

2.2. Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

W przeprowadzonej rozprawie mgr. inż. Dariusz Mroziak zaprezentował umiejętność samodzielnego przygotowania oraz realizacji złożonych badań eksperymentalnych i analiz numerycznych. Autor samodzielnie opracował metodykę badań, wytworzył i przetestował próbki materiałów oraz dokonał szczegółowej analizy uzyskanych danych. Na szczególną uwagę zasługuje implementacja modeli konstytutywnych i procedur optymalizacyjnych, które

świadczą o zaawansowanej wiedzy i praktycznych umiejętnościach w obszarze modelowania numerycznego. Całość badań została przeprowadzona w sposób metodyczny i konsekwentny, co potwierdza dojrzałość naukową Doktoranta oraz jego zdolność do samodzielnego prowadzenia pracy badawczej na wysokim poziomie merytorycznym.

2.3. Ocena oryginalnego rozwiązania problemu naukowego

W rozprawie doktorskiej mgr inż. Dariusza Mrozika podjęto ważny i aktualny problem badawczy dotyczący właściwości mechanicznych materiałów polimerowych produkowanych metodą FDM. Autor zastosował kompleksowe podejście łączące eksperymenty mechaniczne z zaawansowaną analizą numeryczną, co pozwoliło na szczegółową ocenę zastosowanych modeli konstytutywnych w kontekście materiałów drukowanych 3D. Oryginalnym wkładem pracy jest nie tylko szczegółowe badanie wpływu prędkości odkształcenia na zachowanie materiałów, ale także samodzielna implementacja i walidacja numeryczna modeli konstytutywnych. Przeprowadzone badania oraz analiza uzyskanych wyników świadczą o wysokiej wartości merytorycznej oraz praktycznym znaczeniu przedstawionego podejścia. Rozwiązania przedstawione przez Doktoranta są nowatorskie, wartościowe i wnoszą istotny wkład w rozwój wiedzy z zakresu modelowania zachowania materiałów drukowanych technologią przyrostową.

Wymienione osiągnięcia potwierdzają wartość naukową pracy i jej znaczenie dla dalszego rozwoju technologii przyrostowych i mechaniki materiałów.

3. Uwagi i pytania szczegółowe dotyczące pracy

Pomimo ogólnie pozytywnej recenzji pracy doktorskiej mgr inż. Dariusza Mrozika, co napisano w charakterystyce pracy i najważniejszych osiągnięciach Doktoranta, kilka wątpliwości zamieściłem w uwagach i pytaniach dotyczących pracy. Należy jednak zaznaczyć, że zdecydowana większość tych uwag nie wpływa na jakość merytoryczną rozprawy, ale gdyby Doktorant uniknął tych błędów, pracę czytałoby się jeszcze lepiej.

Do najważniejszych uwag merytorycznych zaliczyć należy:

- Niewystarczająco szeroko przedstawiono analizę niepewności pomiarów. Czy Autor może przedstawić sposób, w jaki niepewność ta była uwzględniona podczas badań?

- Brakuje pełniejszego uzasadnienia wyboru modeli konstytutywnych. Dlaczego akurat te modele zostały wybrane i jakie były kryteria ich selekcji?
- W części dotyczącej walidacji numerycznej przydałoby się dodatkowe studium przypadku z wykorzystaniem danych literaturowych. Czy Autor rozważał takie podejście?
- Analiza ograniczona jest do badań jednoosiowych. Czy Autor przewiduje rozszerzenie badań o testy wieloosiowe, aby zwiększyć praktyczną użyteczność wyników?
- W niektórych miejscach interpretacja wyników jest zbyt powierzchowna. Szczególnie dotyczy to rozdziału opisującego ograniczenia zastosowanych modeli. Proszę o rozwinięcie tej kwestii.

Praca została napisana językiem technicznym, który jest w przeważającej mierze poprawny i adekwatny do podejmowanego tematu. Zalecam jednak skrócenie niektórych zdań oraz rozważenie bardziej przejrzystego przedstawienia informacji, zwłaszcza w rozdziałach teoretycznych. Przykłady obszarów do poprawy:

- Zbyt długie i wielokrotnie złożone zdania w rozdziale 2 dotyczącym przeglądu literatury.
- Nadmierne używanie zdań w stronie biernej, szczególnie w części opisującej metodykę badań.

Część z bardziej istotnych przykładów błędów redakcyjnych:

1. Str. 4 – niewyrównane wiersze tytułów.

W spisie treści (2.2) oraz nagłówkach rozdziałów 2.2 i 2.3 drugi wiersz tytułu („z materiałów polimerowych”) jest przesunięty zbyt mocno w lewo względem pierwszego. Brak justowania zaburza estetykę i spójność układu dokumentu.

2. Str. 6 – literówka w nazwie FDM:

Pojawia się błędna forma „*Fused Deposition Modeling*” zamiast „*Fused Deposition Modeling*” – błąd ten powtarza się wielokrotnie (np. na str. 17 i 34).

3. Str. 5–6 – niekonsekwencja zapisu nazw metod.

Często stosuje się raz pełną polską nazwę metody (np. „wytwarzanie przyrostowe”), innym razem skrót angielski (FDM, SLA) – bez wyjaśnienia skrótów przy pierwszym użyciu.

4. Str. 16 – nagłówek rozdziału 2.2 zawiera błąd, literówkę:

„wytwarznych” zamiast „wytwarzanych”.

5. Str. 20 – podrozdziały 2.3.1, 2.3.2 itd. nie są ujęte w spisie treści.

Co utrudnia szybki dostęp do konkretnego modelu (np. modelu Launay czy Bergström-Boyce).

6. Str. 22 – wzór matematyczny z numeracją (1) nie ma żadnego odwołania w tekście.

Wzory powinny być omawiane w treści – tu wygląda na „osierocony”.

7. Str. 179 – pozycje w bibliografii uporządkowane według imion, nie nazwisk.

W recenzowanej rozprawie bibliografia jest nieczytelna (każda pozycja zaczyna się od pierwszej litery imienia) co utrudnia czytelnikowi znalezienie konkretnego autorstwa. Właściwe alfabetyczne sortowanie nazwisk gwarantuje czytelność i efektywne korzystanie z zaprezentowanej literatury, co jest kluczowe w kontekście pracy naukowej.

8. Str. 8–12 – wiele wykresów jest zbyt niskiej jakości.

Pochodzą z literatury, ale zostały wklejone bez dostosowania do formatów druku – pikselizacja, rozciągnięcie proporcji.

4. Uwagi i wnioski ogólne

Z przedstawionej charakterystyki pracy oraz zgłoszonych uwag i pytań wynika, że rozprawa doktorska mgr inż. Dariusza Mrozika świadczy o dużym rozeznaniu Autora w zagadnieniach związanych z analizą właściwości mechanicznych materiałów polimerowych wytwarzanych metodą FDM. Dotyczy to zarówno aspektów eksperymentalnych, jak i zaawansowanego modelowania numerycznego zastosowanych materiałów oraz krytycznej oceny użyteczności wybranych modeli konstytutywnych. Zgłoszone w recenzji uwagi merytoryczne oraz redakcyjne mogą być pomocne Autorowi w dalszej działalności badawczej i publikacyjnej. Szczególnie cenne mogą okazać się sugestie dotyczące rozszerzenia zakresu badań o testy wieloosiowe oraz pogłębienie analizy ograniczeń modeli numerycznych. Należy zaznaczyć, że część zgłoszonych uwag ma charakter pytań i sugestii skierowanych do Autora do wykorzystania przy planowaniu dalszych badań oraz redagowaniu przyszłych publikacji naukowych.

Do najistotniejszych osiągnięć niniejszej rozprawy doktorskiej można zaliczyć:

- Szczegółowe określenie wpływu prędkości odkształcenia na charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowe materiałów polimerowych (PLA i PA12) wytwarzanych metodą FDM.
- Kompleksowe eksperymentalne badania mechaniczne, obejmujące przygotowanie próbek oraz wykonanie testów jednoosiowych pod różnymi warunkami obciążenia.
- Samodzielną implementację i numeryczną walidację wybranych modeli konstytutywnych (inż. Launay i in., Bergström-Boyce, Three Network Model) dla analizowanych materiałów.
- Przeprowadzenie szczegółowej analizy numerycznej z wykorzystaniem autorskich procedur optymalizacyjnych do identyfikacji parametrów modeli konstytutywnych.
- Krytyczną ocenę przydatności zastosowanych modeli konstytutywnych wraz z identyfikacją ich ograniczeń w kontekście materiałów drukowanych technologią przyrostową.
- Zaproponowanie praktycznych kierunków dalszych badań, szczególnie w zakresie modelowania zachowania materiałów w złożonych stanach naprężenia oraz rozszerzenia analiz o próby wieloosiowe.

Po przeprowadzonej analizie rozprawę można ocenić pozytywnie zarówno pod względem ogólnej wiedzy teoretycznej Autora, jego umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych, jak również pod kątem zaproponowania oryginalnego rozwiązania przedstawionego problemu naukowego

5. Wniosek końcowy

Całość oceny rozprawy doktorskiej umożliwia sformułowanie wniosku o spełnienie w stopniu wystarczającym warunków określonych Ustawą *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 roku z późniejszymi zmianami i dopuszczenie rozprawy mgr inż. Dariusza Mrozika pod tytułem „Badania właściwości mechanicznych wybranych materiałów wytworzonych w technologii FDM oraz próby ich modelowania” do publicznej obrony pracy doktorskiej na Politechnice Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, w Dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Dr hab. inż. Andrzej Kurek

