

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA W GLIWICACH**

**Wydział Mechaniczny Technologiczny**



*mgr inż. Grzegorz Florek*

## **PRACA DOKTORSKA**

*Nowe metody poprawy więzi międzywarstwowej w produktach  
z tworzyw i kompozytów polimerowych  
wytwarzanych technologią drukowania 3D FDM*

Promotor:

dr hab. inż. Józef Stabik Prof. Pol. Śl.

Kędzierzyn-Koźle, 2024

## **Streszczenie**

Celem niniejszej pracy doktorskiej jest opracowanie nowych metod poprawy więzi międzywarstwowej w produktach z tworzyw i kompozytów polimerowych wytwarzanych technologią drukowania 3D metodą Fused Deposition Modeling (FDM).

W pracy przeprowadzono dogłębną analizę literatury dotyczącej technologii druku 3D, ze szczególnym uwzględnieniem metod poprawy więzi międzywarstwowej w technologii FDM. Omówiono teorie adhezji oraz techniki modyfikacji powierzchni, takie jak modyfikacje plazmowe i chemiczne, a także zastosowanie środków adhezyjnych i nanocząstek. Przedstawiono również wpływ optymalizacji parametrów procesu drukowania na poprawę adhezji międzywarstwowej.

W ramach własnych badań opracowano i skonstruowano prototypy nowych drukarek 3D FDM, wykorzystujących innowacyjne metody zwiększania więzi międzywarstwowej. Zaprojektowano i zbudowano cztery koncepcje technologiczne mające na celu poprawę więzi międzywarstwowej w drukowanych częściach: drukarkę 3D z nagrzewaniem laserowym, gdzie realizowane jest dodatkowe podgrzewanie warstw wiązką lasera; drukarkę 3D z głowicą rotującą, umożliwiającą mechaniczne zwiększenie powierzchni kontaktu między warstwami poprzez rotacyjne ruchy głowicy; drukarkę 3D łączącą głowicę rotującą z nagrzewaniem laserowym, integrującą korzyści obu poprzednich metod w celu poprawy więzi międzywarstwowej; oraz drukarkę 3D z górną płytą grzejącą, która poprzez kontrolę temperatury otoczenia drukowanego elementu minimalizuje skurcz materiału i poprawia więź między warstwami.

Przeprowadzono badania weryfikacyjne zaproponowanych rozwiązań, analizując wpływ zastosowanych metod na właściwości mechaniczne drukowanych elementów. Wyniki badań wykazały, że zastosowanie innowacyjnych metod w połączeniu z optymalizacją parametrów procesu drukowania prowadzi do znaczącej poprawy więzi międzywarstwowej, co przekłada się na zwiększenie wytrzymałości oraz podwyższenie trwałości drukowanych części.

Po przeprowadzeniu wstępnych badań oraz ocenie efektywności zaproponowanych technologii, zdecydowano się na wybór drukarki 3D z górną płytą grzejącą do głównej fazy badań. Wybór ten był podyktowany potencjałem tej technologii do przetwarzania najbardziej zaawansowanych materiałów, a w szczególności polieteroeteroetonu (PEEK) napełnionego mielonym włóknem węglowym. Stosowany w medycynie i lotnictwie PEEK CF, choć jest termoplastem o wyjątkowych właściwościach mechanicznych, termicznych i chemicznych, stawia wysokie wymagania technologiczne w drukowaniu FDM.

Wyniki badań wykazały, że zastosowanie górnej płyty grzejącej znacząco poprawiło zespolenie między warstwami w drukowanych kompozytach PEEK. Zaobserwowano wzrost wytrzymałości na zginanie w porównaniu z próbkami drukowanymi bez dodatkowego podgrzewania.

Przeprowadzone badania potwierdzają, że integracja innowacyjnych rozwiązań technologicznych z optymalizacją parametrów procesu drukowania pozwala na znaczącą poprawę więzi międzywarstwowej w produktach wytwarzanych metodą FDM.