



Politechnika Śląska w Gliwicach  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn

# **Modelowanie, symulacje numeryczne i badania doświadczalne struktury elementów egzoszkieletu**

Rozprawa doktorska

**Mgr inż. Małgorzata John**

Promotor: dr hab. inż. SKARKA Wojciech, prof. Pol. Śl.

- Gliwice 2019 -

## STRESZCZENIE

W ramach niniejszej rozprawy doktorskiej przeprowadzono badania dotyczące struktury podporowej w aspekcie zastosowania w strukturach lekkich. Jako konkretny przykład wybrano elementy egzoszkieletu lub ortezy dla dzieci. Badania ukierunkowano pod kątem wykorzystania techniki przyrostowej (druku 3D) w procesie wytwarzania konkretnych elementów. Jako ważną cechę przyjęto możliwość sterowania wytrzymałością i sztywnością zaproponowanej struktury. Szczegółowy opis celu i zakresu badań oraz tezę pracy zawarto w rozdziale 1. Podstawowe informacje o egzoszkieletach zawarto w rozdziale 2.1, w którym opisano różne przeznaczenia (dziedziny zastosowania) i istniejące rozwiązania. Z kolei w rozdziale 2.2 zawarto informacje o technikach szybkiego prototypowania, najwięcej uwagi poświęcono technice wykorzystanej w badaniach – FFF.

W kolejnych etapach pracy zajęto się badaniem struktur, które zostały przyjęte jako rokujące nadzieje w zastosowaniach. W ogólności postanowiono bazować na analogiach biologicznych. W tym aspekcie w rozdziale 3. opisano strukturę bazującą na ludzkiej kości. Podstawy teoretyczne opisano w podrozdziale 3.1, dotyczyły one budowy i własności kości. Następnie w podrozdziale 3.2 opisano przeprowadzone badania numeryczne budowy modelu odwzorowującego strukturę kości, a w rozdziale 3.3 przedstawiono badania doświadczalne przeprowadzone na próbkach kości pobranych ze zwłok ludzkich. Stanowiło to inspirację do kolejnych badań, które stały się główną częścią pracy doktorskiej. Jako pierwszą badano strukturę określaną jako spienione metale. Przeprowadzono badania literaturowe, które są opisane w rozdziale 4.1. W kolejnym etapie prac zajęto się zagadnieniem homogenizacji numerycznej struktury, co opisano to w rozdziale 4.2. Wykorzystując wcześniejsze wyniki zajęto się wyznaczenie zastępczych stałych materiałowych z wykorzystaniem homogenizacji numerycznej, by następnie na podstawie uzyskanych wyników zająć się badaniami numerycznymi struktur z różnym rozkładem pustek wewnątrz elementu RVE. Badano struktury z pustkami zamkniętymi i otwartymi z układem regularnym i nieregularnym pustek. Wyniki były zadowalające, jednak z powodu ograniczeń stosowanej techniki szybkiego prototypowania koniecznym było zaproponowanie kolejnej innej struktury.

W następnym etapie zaproponowano strukturę typu plaster miodu. Badania rozpoczęto od przeglądu literaturowego dotyczącego zarówno samej struktury jak i jej wytwarzania. Następnie przeprowadzono badania numeryczne struktury, w której, w kolejnych etapach wprowadzono różnego rodzaju modyfikacje. Ponownie z powodu ograniczeń technologii, w której planowano wytworzenie próbek, musiano zaproponować inne rozwiązanie. Nowa struktura opierała się również na strukturze typu plaster miodu, jednak w tym przypadku modelowano przestrzenie puste, a nie ścianki komórek. Na potrzeby pracy nazwano ją odwrotną strukturą typu plaster miodu. Tym razem opracowując strukturę od początku były brane pod uwagę ograniczenia stawiane przez technikę druku 3D FFF. Dla zamodelowanych numerycznie próbek przeprowadzono symulację próby trójpunktowego zginania. Na podstawie otrzymanych wyników wybrano kilka modeli i następnie wytworzono je na posiadanym w Instytucie sprzęcie – drukarce Original Prusa i3 MK2.5S. Na otrzymanych próbkach przeprowadzono doświadczalnie próbę trójpunktowego zginania. Przeanalizowano otrzymane wyniki i porównano z wynikami obliczeń numerycznych.

W końcowym etapie pracy zaprojektowano, zamodelowano i przetestowano numerycznie przykładowe rozwiązania elementu egzoszkieletu dla przedramienia dziecka z zaproponowaną strukturą. Dwa zaproponowane rozwiązania różniły się sposobem łączenia z innymi elementami urządzenia. Przebadano je numerycznie i następnie wytworzono na drukarce Original Prusa i3 MK3S.

Istotnym efektem prowadzonych badań jest zaproponowanie struktury, którą można wytworzyć techniką druku 3D na dostępnym sprzęcie i jednocześnie można sterować parametrami mechanicznymi (wytrzymałością i sztywnością) na podstawie wyników obliczeń numerycznych zweryfikowanych badaniami doświadczalnymi.