

## STRESZCZENIE

### *Optimalizacja właściwości mechanicznych protezy stopy*

Niniejsza praca poświęcona jest analizie procesu optymalizacji protez stóp, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania algorytmów optymalizacyjnych oraz niekonwencjonalnych materiałów, takich jak materiały auksetyczne. W początkowej części pracy omówiono podstawowe zagadnienia związane z budową anatomiczną stopy oraz biomechaniką chodu, a także przedstawiono wymagania stawiane protezom stóp. Dokonano przeglądu literatury dotyczącego zastosowania algorytmów optymalizacyjnych w projektowaniu protez oraz analizy ich odpowiedzi biomechanicznej. W dalszej części pracy skupiono się na procesie optymalizacji, w którym zastosowano algorytmy umożliwiające precyzyjne dopasowanie konstrukcji protezy do indywidualnych potrzeb pacjenta, co pozwala na poprawę komfortu oraz funkcjonalności protezy.

W procesie optymalizacji zastosowano model chodu oparty na metodzie elementów skończonych. W celu walidacji warunków brzegowych oraz obciążeń, na podstawie danych anatomicznych i biomechanicznych utworzono model chodu pacjenta, a następnie zoptymalizowano parametry zastosowanego modelu materiałowego za pomocą algorytmu genetycznego oraz algorytmu optymalizacyjnego zainspirowanego zachowaniem wirusów. Następnie utworzono algorytm generujący geometrię protezy na podstawie zadanych parametrów. Parametry te zoptymalizowano za pomocą algorytmu zainspirowanego zachowaniem wirusów porównując uzyskane dane, z modelu chodu opartego na metodzie elementów skończonych, dotyczące przebiegu pionowej siły reakcji podłoża z wynikami eksperymentalnymi. Zaprezentowano wyniki optymalizacji protez stóp, porównując różne modele konstrukcyjne. W pracy przedstawiono również zastosowanie materiałów auksetycznych, które dzięki swoim unikalnym właściwościom mechanicznym, mogą przyczynić się do poprawy efektywności protez stóp. Symulacje i analizy przeprowadzono przy użyciu optymalizacji topologicznej oraz metody elementów skończonych. Porównano wyniki uzyskane dla różnych faz chodu uwzględniając trzy różne materiały. Wnioski z pracy potwierdzają, że zastosowanie algorytmów optymalizacyjnych oraz innowacyjnych materiałów może znacząco poprawić jakość życia pacjentów po amputacji w obrębie kończyny dolnej.

# ABSTRACT

## *Design Optimization of Prosthetic Foot Mechanics*

This thesis is dedicated to the analysis of the foot prosthesis optimization process, with a particular focus on the application of optimization algorithms and unconventional materials, such as auxetic materials. In the initial part of the study, the basic topics related to the anatomical structure of the foot and the biomechanics of gait are discussed, as well as the requirements for foot prostheses. A literature review was conducted regarding the use of optimization algorithms in the design of prostheses and the analysis of their biomechanical response.

In the subsequent part of the study, the focus was on the optimization process, in which algorithms were applied to precisely adjust the prosthesis structure to the individual needs of the patient, thereby improving comfort and functionality. The optimization process utilized a gait model based on the finite element method. To validate the boundary conditions and loading parameters, a patient-specific gait model was developed using anatomical and biomechanical data. The material model parameters were optimized using a genetic algorithm and a virus optimization algorithm. After validating gait model, an algorithm was developed to generate the prosthesis geometry based on predefined parameters. These parameters were optimized using the virus optimization algorithm by comparing the obtained data from the finite element-based gait model, specifically regarding the vertical ground reaction force, with experimental results. The results of the foot prosthesis optimization were presented, comparing different structural models.

The study also demonstrated the application of auxetic materials, which, due to their unique mechanical properties, can contribute to the improvement of foot prosthesis efficiency. Simulations and analyses were performed using topology optimization and the finite element method. The results obtained for different gait phases and three different materials were compared. The conclusions confirm that the use of optimization algorithms and innovative materials can significantly improve the quality of life of patients following lower limb amputation.