

Dr hab. Tomasz Stręk, prof. uczelni
Instytut Mechaniki Stosowanej
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Poznańska

OPINIA PROMOTORA
NA TEMAT ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
MGR INŻ. AGATY MROZEK-CZAJKOWSKIEJ

Tytuł rozprawy doktorskiej: Optymalizacja właściwości mechanicznych protezy stopy.
In English: Design Optimization of Prosthetic Foot Mechanics.

Mgr inż. Agata Mrozek-Czajkowska był doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Poznańskiej od roku akademickiego 2020/2021 do września 2024. Wcześniej doktorantka ukończyła studia na kierunku inżynieria biomedyczna (2016-2019, 2019-2020) broniąc swoje prace dyplomowe z tematyki modelowania zaopatrzenia ortopedycznego oraz sterowania protezą kończyny górnej za pomocą kamery i sztucznych sieci neuronowych. Praca dyplomowa magisterska doktorantki została nagrodzona (1 miejsce) w konkursie na najlepszą pracę dyplomową dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej (02/2021). Doktorantka otrzymała również nagrodę JMR jako wyróżniająca się absolwentka Politechniki Poznańskiej.

Doktorantka opublikowała (była współautorem) 8 publikacji w czasopismach lub rozdziałach monografii, tj.: Computers & Mathematics with Applications, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Materials, Vibrations in Physical Systems oraz Innovations in Biomedical Engineering - Lecture Notes in Networks and Systems.

Wygłosiła również 11 referatów na 8 międzynarodowych konferencjach krajowych i zagranicznych: Innovations in Biomedical Engineering (2020, Zabrze), 16th International Conference Dynamical Systems - Theory and Applications DSTA (2021, Łódź), Manufacturing (2022, Poznań), CMM-SolMech (2022, Świnoujście), HealthTech Innovation Conference (2022, Zabrze), Simulation Innovation Forum (2022, on-line event, Sweden), 28th Congress of the European Society of Biomechanics (2023, Maastricht), 29th Congress of the European Society of Biomechanics (2024, Edinburgh).

Opublikowane artykuły i wygłoszone referaty są wynikiem badań w tematyce rozprawy doktorskiej jak również innych tematów badawczych z inżynierii mechanicznej i biomedycznej. Doktorantka uczestniczyła również w pracach zespołów prowadzących badania w ramach zadań badawczych SBAD młoda kadra (2021-2024), a roku 2023 była kierownikiem takiego zadania. Doktorantka uczestniczyła również w latach 2022-2024 w 3 innych projektach z zakresu tematyki inżynierii biomedycznej w sporcie. Uczestniczyła również w 3 szkołach letnich w Puli, Agder oraz Graz. W 2024 roku odbyła staż badawczy w Brandenburg University of Technology w Cottbus-Senftenberg. Jej działalność naukowa nagradzana była 7 razy, m.in. zajęła 3 miejsce w konkursie: the Jan Szmelter Competition at the 24th International Conference On Computer Methods in Mechanics (CMM) and the 42nd Solid Mechanics Conference (SolMech) (09/2022).

Opiniowana praca poświęcona jest analizie procesu optymalizacji protez stóp, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania algorytmów optymalizacyjnych oraz niekonwencjonalnych materiałów, takich jak materiały auksetyczne. Praca doktorska doktorantki liczy 114 stron. Składa się na nią 9 rozdziałów, spisu literatury, wykazu symboli, streszczeń w języku polskim i angielskim. Praca zawiera cztery rozdziały przedstawiające aktualny stan wiedzy w poruszanej tematyce oraz trzech rozdziałów przedstawiających wyniki badań.

Teza rozprawy brzmi: „możliwe jest, w wyniku zastosowania odpowiedniego algorytmu optymalizacyjnego, dostosowanie rejestrowanej odpowiedzi protezy stopy do fizjologicznej kończyny w zakresie uzyskiwanego przebiegu pionowej siły reakcji podłoża. Algorytm optymalizacyjny umożliwi precyzyjne dobranie parametrów geometrycznych konstrukcji zbliżających odpowiedź projektowanej protezy do zachowania naturalnej, fizjologicznej kończyny”.

W rozdziale 2 omówiono podstawy teoretyczne związane z anatomią stopy oraz biomechaniką chodu. W rozdziale 3 opisano różne sposoby modelowania poszczególnych aspektów modelu MES, takich jak geometria, modele materiałowe, czy definicja warunków brzegowych. W kolejnym rozdziale (4)

przedstawiono dostępne na rynku komercyjne modele protez. Zdefiniowano również wymagania, jakie stawiane są przed tego rodzaju zaopatrzeniem protetycznym. Przedstawiono również badania, w których podejmowano zagadnienie optymalizacji protez stóp. Kolejny rozdział (5) przedstawiający stan aktualnej wiedzy porusza temat metamateriałów auksetycznych – ich charakterystykę oraz ich potencjalne zastosowanie w protetyce ortopedycznej. Metamateriały te ze względu na swoje niekonwencjonalne zachowanie stanowią nowy obszar badań w protetyce kończyn.

W rozdziale szóstym przedstawiono proces tworzenia modelu MES chodu na podstawie danych anatomicznych, uzyskanych za pomocą metod obrazowania medycznego, oraz biomechanicznych, zarejestrowanych za pomocą systemów przechwytywania ruchu typu motion capture. Przedstawiono w sposób szczegółowy proces tworzenia geometrii na podstawie danych z rezonansu magnetycznego MRI, definiowania warunków brzegowych i obciążeń, a także wyznaczania parametrów materiałowych zastosowanych modeli materiałów. Model ten został zoptymalizowany za pomocą dwóch algorytmów: algorytmu genetycznego oraz VOA (ang. Virus Optimization Algorithm).

W kolejnym rozdziale (7) przedstawiono stworzony algorytm automatycznego generowania modelu protezy stopy oraz przygotowywania pliku wsadowego do programu analizy MES- FEBio. Zaprezentowano również zastosowany algorytm optymalizacyjny oraz uzyskane wyniki. Zaproponowano najkorzystniejsze parametry wpływające na uzyskiwaną pionową składową siły reakcji podłoża.

W rozdziale 8 doktorantka opisała zastosowane algorytmy wielomateriałowej optymalizacji topologicznej uwzględniające materiały konwencjonalne, jak i auksetyczne. Porównano wyniki dla różnych materiałów i trzech scenariuszy obciążenia. Ostatni rozdział (9) zawiera wnioski wynikające z przeprowadzonych badań oraz podsumowanie.

Do najważniejszych osiągnięć przedstawionych w rozprawie zaliczyć należy:

- 1) Optymalizację zastosowanego modelu metody elementów skończonych dla chodu (MES). W celu walidacji warunków brzegowych oraz obciążeń utworzono na podstawie danych anatomicznych i biomechanicznych model MES chodu pacjenta, a następnie zoptymalizowano za pomocą algorytmu genetycznego oraz algorytmu VOA parametry zastosowanego modelu materiałowego.
- 2) Zaproponowanie algorytmu generującego geometrię protezy na podstawie zadanych parametrów. Parametry te zoptymalizowano za pomocą algorytmu VOA porównując uzyskane dane z modelu MES chodu dotyczące przebiegu pionowej siły reakcji podłoża z wynikami eksperymentalnymi.
- 3) Zaprezentowanie wyniki optymalizacji protez stóp porównujących różne modele konstrukcyjne.
- 4) Zastosowanie w konstrukcji protezy materiałów auksetycznych, które dzięki swoim unikalnym właściwościom mechanicznym, mogą przyczynić się do poprawy efektywności protez stóp. Porównano wyniki uzyskane dla różnych faz chodu dla trzech różnych materiałów. Symulacje i analizy przeprowadzono przy użyciu optymalizacji topologicznej oraz metody elementów skończonych.
- 5) Wnioski z pracy potwierdzają, że zastosowanie algorytmów optymalizacyjnych oraz innowacyjnych materiałów może znacząco poprawić jakość życia pacjentów po amputacji kończyny dolnej.

Zrealizowane cele oraz potwierdzona teza rozprawy doktorskiej stanowi ważną podstawę do dalszych badań w tematyce modelowanie zindywidualizowanych protez dla pacjentów.

Działając na podstawie art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.), art. 14 ust. 5 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) oraz § 3 ust. 1 pkt 1 lit. b) i c), ust. 1 pkt 2 a także § 3 ust. 2 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 poz. 261) przyjąłem niniejszą rozprawę doktorską. Po zakończeniu kształcenia w Szkole Doktorskiej Politechniki Poznańskiej opiniowana rozprawa doktorska zostanie będzie mogła stanowić część wniosku o wszczęcie postępowania o nadania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Z poważaniem
Tomasz Stręć