

Dr inż. Jakub Grabski
Instytut Mechaniki Stosowanej
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Poznańska

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

Tytuł rozprawy doktorskiej: *Optymalizacja właściwości mechanicznych protezy stopy*

Tytuł rozprawy doktorskiej w języku angielskim: *Design Optimization of Prosthetic Foot Mechanics*

Mgr inż. Agata Mrozek-Czajkowska była doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Poznańskiej w latach 2020-2024. Jest absolwentką kierunku inżynieria biomedyczna. W trakcie jej studiów II stopnia na tym kierunku pełniłem funkcję promotora jej pracy dyplomowej magisterskiej pt. „*Sterowanie protezą kończyny górnej z zastosowaniem kamery i sztucznych sieci neuronowych*”. Praca ta zyskała kilka nagród i wyróżnień:

- 1. miejsce w konkursie Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej za prace dyplomowe (magisterskie) obronione w roku akademickim 2019/2020,
- Nagroda Miasta Poznania za najlepsze prace magisterskie obronione na poznańskich uczelniach oraz w instytucjach naukowych w roku akademickim 2019/2020,
- Wyróżnienie w konkursie Polskiego Towarzystwa Inżynierii Biomedycznej na najlepszą pracę magisterską w 2020 r. z zakresu inżynierii biomedycznej i biocybernetyki.

W trakcie inauguracji roku akademickiego 2020/2021 Pani mgr inż. Agata Mrozek-Czajkowska otrzymała Medal Wyróżniającemu się Absolwentowi Politechniki Poznańskiej.

Doktorantka jest współautorem 8 publikacji naukowych w czasopismach (5 artykułów naukowych oraz 3 rozdziały w monografiach) opublikowanych w: *Computers & Mathematics with Applications*, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, *Materials* (2 artykuły), *Vibrations in Physical Systems* oraz w 3 monografiach. Wygłosiła również referaty związane z tematyką rozprawy doktorskiej na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych. Angażowała się w prace badawcze w ramach SBAD Młoda Kadra (w tym była kierownikiem zadania badawczego w 2023 roku), a także uczestniczyła w projektach badawczych w Laboratorium Biomechaniki (m.in. we współpracy z Polskim Związkiem Żeglarskim). Pani mgr inż. Agata Mrozek-Czajkowska uczestniczyła również w organizacji Konferencji Inżynierii Biomedycznej na Politechnice Poznańskiej w 2023 oraz 2024 roku.

Praca doktorska została poświęcona optymalizacji protez stóp ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania niekonwencjonalnych materiałów, nazywanych materiałami auksetycznymi. Praca składa się na nią 9 rozdziałów. Pierwszy rozdział to wstęp zawierający wprowadzenie, motywację, cel oraz tezę pracy. Cztery kolejne rozdziały związane są z przedstawieniem wiedzy teoretycznej oraz aktualnego stanu wiedzy związanymi z tematyką rozprawy. Dalsze trzy rozdziały przedstawiają analizowane zagadnienia oraz uzyskane wyniki. W ostatnim rozdziale doktorantka dokonała podsumowania oraz wyciągnęła wnioski z przeprowadzonych badań.

W rozprawie doktorskiej sformułowano następująco tezę badawczą: możliwe jest dostosowanie rejestrowanej odpowiedzi protezy stopy do fizjologicznej kończyny w zakresie uzyskiwanego przebiegu pionowej siły reakcji podłoża w wyniku zastosowania odpowiedniego algorytmu optymalizacyjnego. Umożliwia to precyzyjne dobranie parametrów geometrycznych konstrukcji, które mogą zapewnić zbliżenie odpowiedź projektowanej protezy stopy do zachowania naturalnej, fizjologicznej kończyny.

Pierwsze rozdziały przedstawionej rozprawy doktorskiej poruszają teoretyczne aspekty analizowanych zagadnień. Rozdział 2 porusza zagadnienia związane z anatomią stopy oraz biomechaniką chodu. Aspekty związane z modelowaniem MES, takie jak geometria, modele materiałowe oraz definicja warunków brzegowych, zawarto w rozdziale 3. W rozdziale 4. omówiono dostępne na rynku modele protez stóp, określono wymagania stawiane tego typu zaopatrzeniu ortopedycznemu oraz dokonano przeglądu literatury związanego z tematyką optymalizacji stóp protezowych. Charakterystykę materiałów auksetycznych oraz ich potencjalne zastosowanie w protetyce ortopedycznej przedstawiono w rozdziale 5.

W kolejnych trzech rozdziałach Pani mgr inż. Agata Mrozek-Czajkowska przedstawiła wyniki badań przeprowadzonych w trakcie prac nad tematyką rozprawy doktorskiej. Rozdział 6. Dotyczy modelowania chodu metodą elementów skończonych (MES) na podstawie danych anatomicznych (uzyskanych z obrazowania medycznego MRI) oraz biomechanicznych (uzyskanych z systemu analizy ruchu). Parametry materiałowe dla wybranych modeli zostały uzyskane w procesie optymalizacji za pomocą algorytmu genetycznego oraz algorytmu VOA (ang. Virus Optimization Algorithm). Rozdział 7. dotyczy automatycznego generowania modelu protezy stopu oraz pliku wsadowego do analizy MES. Natomiast rozdział 8. dotyczy wielomateriałowej optymalizacji topologicznego modelu protezy, w której zastosowano zarówno materiały konwencjonalne, jak i auksetyczne.

Podsumowanie i wnioski zawarto w rozdziale 9. rozprawy doktorskiej.

Wśród najważniejszych osiągnięć przedstawionych w rozprawie Pani mgr inż. Agaty Mrozek-Czajkowskiej należy moim zdaniem wyróżnić:

1. Wyznaczenie parametrów materiałowych na podstawie założonego modelu 3D protezy, modeli materiałowych oraz przebiegu sił reakcji podłoża z zastosowaniem algorytmu genetycznego oraz algorytmu VOA.
2. Opracowanie algorytmu pozwalającego na automatyczne wygenerowanie geometrii protezy na podstawie zadanych parametrów.

3. Zastosowanie dwuskładnikowej optymalizacji topologiczną modelu 3D protez zarówno dla struktury o dodatnim współczynniku Poissona, jak i dla struktury ujemnym współczynniku Poissona (struktury auksetycznej).

W mojej opinii, rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agaty Mrozek-Czajkowskiej spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i może stanowić podstawę do wszczęcie postępowania o nadania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.



Jakub Grabski

