

dr hab. inż. Sławomir Kłos, prof. UZ
Wydział Mechaniczny
Uniwersytet Zielonogórski
Ul. Szafrana 4
65-516 Zielona Góra

Zielona Góra, 31.03.2026 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Dawida Kęszyckiego pt.:

” Opracowanie algorytmu optymalizacji konstrukcji wytwarzanych z użyciem technologii przyrostowych”

Dyscyplina naukowa: Inżynieria mechaniczna.

Recenzja została opracowana na podstawie decyzji Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej przekazanej w dokumencie W10/RDND07/209/2025.

1. Obszar problemowy rozprawy

Problematyka opiniowanej rozprawy doktorskiej obejmuje zagadnienia związane z opracowaniem metody automatycznego projektowania oraz optymalizacji spersonalizowanych implantów ortopedycznych. Ze względu na postępujący proces starzenia się społeczeństwa, zapotrzebowanie na implanty ortopedyczne będzie prawdopodobnie drastycznie rosło w kolejnych latach. Zatem problematyka podjęta przez doktoranta jest ważna i potwierdza to przytoczona z literatury analiza (rysunek 2.6) pokazująca prognozę rozwoju światowego rynku implantów do 2033 roku. Automatyzacja procesu projektowania i wytwarzania kastomizowanych implantów optymalnych pod względem wybranych parametrów konstrukcyjnych, mechanicznych jest kluczowa w aspekcie redukcji kosztów wytwarzania i powszechnego dostępu dla pacjentów wymagających leczenia implantologicznego. Na podstawie badań literaturowych Autor rozprawy zidentyfikował lukę badawczą związaną z brakiem metod, które integrowałyby funkcjonalności generowania modeli 3D na podstawie danych medycznych, automatyczną optymalizację ich konstrukcji z uwzględnieniem warunków pracy w organizmie pacjenta oraz szybkiego prototypowania. Opracowanie takiej metody umożliwiłoby szybkie projektowanie i prototypowanie spersonalizowanych i optymalnych pod względem konstrukcyjnym implantów ortopedycznych na podstawie określonych potrzeb terapeutycznych. Przedstawiony w pracy zakres badań obejmujących projektowanie

optymalnych pod względem konstrukcyjnym i technologicznym kastomizowanych implantów ortopedycznych jest niewątpliwie adekwatny dla **dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna**.

Uważam, że podjęcie przez Doktoranta przedstawionej problematyki badawczej jest uzasadnione zarówno ze względów poznawczych, jak również jak również w aspekcie możliwości zastosowań proponowanego rozwiązania do praktyki związanej z szybkim prototypowaniem spersonalizowanych implantów ortopedycznych.

2. Kompozycja i treść rozprawy

Opiniowana praca liczy 116 stron tekstu i składa się ze wstępu, 11 rozdziałów i spisu literatury. W pracy brakuje wykazu tabel, wykazu rysunków i wykresów. Na początku pracy zamieszczono streszczenie w wersji polskiej i angielskiej. Załączony spis cytowanej literatury obejmuje 128 pozycji i powołań na publikacje internetowe. Cytowana literatura jest aktualna. Pozycja [26] jest starsza niż 30 lat i mogłaby zostać zastąpiona nowszym opracowaniem, tym bardziej, że dotyczy badań w zakresie inżynierii materiałowej, gdzie w obszarze implantologii w ostatnich latach odnotowano z pewnością duże postępy. Kilka pozycji nie ma określonej daty publikacji, np.: [117], [118], [120] (powołania na strony www). **W spisie literatury nie ma żadnej pozycji z powołaniem na autorstwo lub współautorstwo Doktoranta.** Jest to bardzo nietypowa sytuacja, gdy doktorant w swojej dysertacji nie powołuje się na wyniki swoich badań, które zostały wcześniej przez niego opublikowane i mogą świadczyć o udziale i pewnych osiągnięciach w badaniach naukowych prowadzonych w wybranym obszarze.

Kluczowym mankamentem opiniowanej pracy jest fakt, że Doktorant nie sformułował w pracy żadnej tezy, hipotezy lub problemu badawczego. Trudno zatem ocenić pracę doktorską, w której nie wiadomo jaki problem ma zostać rozwiązany i czy zastosowane metody oraz przeprowadzone badania naukowe są adekwatne i umożliwiają jego rozwiązanie. Doktorant sformułował we wstępie pracy następujący cel:

„Głównym celem pracy stało się opracowanie i zweryfikowanie metody automatycznego projektowania oraz optymalizacji implantów ortopedycznych, które w pełni spełniałyby kryteria personalizacji. Metoda ta została poddana testom dla szerokiej grupy przypadków, a uzyskane rezultaty pozwalają na pogłębienie wiedzy z zakresu biomechaniki oraz inżynierii biomedycznej.”

Samo sformułowanie celu jest nieco niefortunne zastąpiłbym sformułowanie „...celem pracy stało się” na „...celem pracy jest ...”. Wątpliwość budzi również sformułowanie „optymalizacji implantów ortopedycznych”, które jest bardzo ogólne i może oznaczać najlepszą konstrukcję ze względów wytrzymałościowych, dopasowania geometrii, ciężaru, kosztów wytworzenia, etc. W celu nie ograniczono również zakresu badań. Można zatem przyjąć, że poszukiwana metoda dotyczy zarówno prostych śrub stosowanych w przypadku skomplikowanych złamań jak również, paznokci, zębów, płytek kostnych lub skomplikowanych protez żuchwy, fragmentów czaszki, stawu biodrowego lub kolanowego. W takim kontekście zakres badań jest raczej zbyt szeroki. Główny cel pracy zakłada, że *„...uzyskane rezultaty pozwalają na pogłębienie wiedzy z zakresu biomechaniki oraz inżynierii biomedycznej...”,* czyli jest to praca interdyscyplinarna poszerzającą wiedzę z zakresu inżynierii mechanicznej i biomedycznej.

W pierwszym rozdziale Doktorant deklaruje przedstawienie anatomicznych podstaw układu mięśniowo-szkieletowego człowieka i obejmuje 7 stron. Zawiera przykład struktury anatomicznej na podstawie kości udowej człowieka, przykłady rodzajów połączeń stawowych oraz przykładowe schorzenia układu kostnego i metody ich leczenia. W rozdziale nie przedstawiono, żadnych założeń dotyczących własności mechanicznych przedstawionych połączeń stawowych. Przedstawione opisy są ciekawe ale mają charakter raczej popularno-naukowy.

Rozdział drugi dotyczy implantów ortopedycznych. Obejmuje między innymi definicję implantu oraz rys historyczny implantologii. Na rysunku 2.2 przedstawiono narzędzia ze stali nierdzewnej stosowane w operacjach chirurgicznych, który nie wnosi żadnego wkładu merytorycznego do pracy i podrozdziału dot. materiałów stosowanych do wytwarzania implantów. W tabeli 2.1 przedstawiono wybrane parametry mechaniczne materiałów stosowanych na implanty w zestawieniu z tkanką kostną (w nazwie tabeli jest błąd). Tabela obejmuje 9 pozycji w tym dane dotyczące kości zbitej i gąbczastej (wydaje się, że te parametry powinny być w innej tabeli). W tabeli zawarto informacje dotyczące modułu Younga oraz wytrzymałości na rozciąganie wyspecyfikowanych materiałów. Czy tylko te dwa parametry decydują o wyborze materiałów do produkcji implantów. Doktorant nie omawia danych zawartych w tabeli, zaznacza tylko, że *„Wyraźnie zaobserwować można znaczne rozbieżności pomiędzy wyszczególnionymi stopami metali, a samą tkanką kostną, którą mają zastępować”.* Z tego sformułowania nic nie wynika (czy to dobrze czy źle). Kolejne dwa podrozdziały (2.4 i 2.5) dotyczą konwencjonalnych i personalizowanych implantów. Jeśli chodzi o implanty konwencjonalne to Autor opisuje je w 7 liniach tekstu i

w zasadzie dowiadujemy się tylko, że są produkowane seryjnie w oparciu o typoszeregi i dopasowywane do konkretnego przypadku. Na rysunku 2.3 przedstawiono zdjęcia rentgenowskie zawierające przykład (na podstawie literatury) implantów konwencjonalnych (które uległy uszkodzeniu) i dopasowanych. Czy na tej podstawie można stwierdzić, że implanty personalizowane są lepsze (np. bardziej wytrzymałe poprzez lepsze dopasowanie do układu kostnego i fizjonomii pacjenta) niż implanty konwencjonalne? Dopiero w rozdziale 4 Doktorant przedstawia analizę porównawczą implantów konwencjonalnych i dopasowanych (rysunek 4.1- 4.3) na podstawie literatury w zakresie: luzu pomiędzy implantem a tkanką, ocena KSS (nie jest wyjaśnione), ocena funkcjonalności (jakie kryteria przyjęto) i ocena bólu w skali VAS. Nie zostało jednak wyjaśnione jaka była próba badawcza (prawdopodobnie należy przeanalizować publikacje, na które powołuje się Doktorant).

Na rysunku 2.4 przedstawiono wyniki badań literatury w zakresie udziału implantów spersonalizowanych. Niestety na wykresie kołowym nie naniesiono udziału procentowego dla poszczególnych rodzajów tkanki (ilościowy udział przedstawiono w opisie rysunku). Brakuje jednak informacji jaki jest udział implantów dopasowanych w całkowitej liczbie wytwarzanych implantów. Rysunek 2.5 przedstawia „algorytm postępowania w przypadku projektowania implantu dopasowanego” na podstawie publikacji [44]. Przedstawiony algorytm został przedstawiony w bardzo uproszczony sposób i nie zawiera żadnych bloków decyzyjnych (w zasadzie jest to procedura). Ponadto obejmuje on oprócz projektowania wytworzenie implantu, a więc jest to raczej algorytm prototypowania. Algorytm powinien określać jednoznacznie sposób postępowania. Czyli na przykład, w jakim przypadku powinniśmy zastosować metodę CT, MRI lub USG? Doktorant opisuje poszczególne kroki algorytmu w kolejnych podrozdziałach, jednak opisy nie przybliżają sposobu działania algorytmu. Jeśli chodzi o przypadek kliniczny nie jest określony sposób postępowania dla różnych typów urazów lub różnych jednostek chorobowych. Wiadomo tylko, że rynek implantologii dynamicznie się rozwija i z przytoczonej analizy wynika, że największe zapotrzebowanie jest na implanty stawu kolanowego i implanty stomatologiczne. Jednak analiza nie określa w jakim stopniu to zapotrzebowanie jest zaspokajane w rozróżnieniu na implanty personalizowane i konwencjonalne. Kolejny krok dotyczy akwizycji danych. Doktorant opisuje trzy metody akwizycji danych: tomografię komputerową, rezonans magnetyczny oraz ultrasonografię. Brakuje analizy porównawczej z ewentualnymi rekomendacjami dla zastosowania poszczególnych metod. Na schemacie przedstawiono jedynie zasadę działania tomografu komputerowego, pozostałe metody zostały pominięte.

Krok – projektowanie jest opisany bardzo zdawkowo i zawiera kompletnie niezrozumiały rysunek 2.8 pokazujący modyfikację danych obrazowych. Następnie opisano krok – Wytwarzanie (w 7 akapitach) zakładając, że powinno ono być realizowane w oparciu o technologie przyrostowe. Publikacja, na podstawie której zaproponowano algorytm prototypowania dotyczy zastosowania technologii przyrostowych. Czy jednak klasyczna obróbka zupełnie ni nadaje się do wytwarzania implantów dopasowanych? Jeśli tak jest to należyto uzasadnić wynikami badań literaturowych. Kolejne dwa kroki zostały opisane w bardzo skróconej formie i zawierają trywialne treści.

W rozdziale 3 dotyczy technologii przyrostowych. Doktorant przedstawia nakłady na wykorzystanie różnych technologii druku 3D w branży medycznej oraz zmiany na rynku technologii przyrostowych dla dwóch pór roku 2021 (zupełnie niezrozumiale). W tabeli 3.1 przedstawiono ogólną charakterystykę 4 metod druku 3D (trudno powiedzieć dlaczego wybrano te metody). Nie dokonano jednak analizy przydatności poszczególnych metod dla procesu wytwarzania implantów lub identyfikacji parametrów druku 3D lub materiałów, które mogą decydować o zastosowaniu konkretnej metody, parametrów i materiałów. W rozdziale tym przedstawiono ponadto ogólny schemat drukowania z zastosowanie technologii przyrostowych i opisano w skrócie metody obróbki wykańczającej wydruków 3D.

Rozdział 4 dotyczy metod optymalizacji w projektowaniu implantów. Przedstawiono w analizie porównawczą opracowaną na podstawie literatury i wykazano, że implanty dopasowane są lepsze od konwencjonalnych, jednak jak to już wcześniej zostało podkreślone ni wiadomo jak liczna grupa pacjentów została objęta badaniem. Nie wyjaśniono również co to jest ocena KSS, na czym polegała ocena motoryki i funkcjonalności. W rozdziale 4 opisano również algorytmy ewolucyjne (ogólnych schemat działania i zakres zastosowań. Zdawkowo opisano również biometrykę i optymalizację topologiczną. Doktorant zastrzega się w tym rozdziale, że nie będzie poszukiwał optymalnego rozwiązania konstrukcyjnego lecz rozwiązanie przybliżone. Nie zostały określone jednak (co wynikałoby z tytułu rozdziału) parametry optymalizacji i funkcja celu. Czy optymalizujemy konstrukcję ze względu na wytrzymałość, dopasowanie, koszty wytworzenia, ciężar, itd.? Doktorant wymienia **przykładowe** zmienne, które będą wpływały na ocenę (funkcje celu) rozwiązania: „wybór materiału, geometria implantu, struktura powierzchni, dopasowanie do tkanek pacjenta (obecność luzów), ocena rekonwalescencji pacjenta po wszczepieniu (ocena bólu w skali VAS), ale nie podaje funkcji celu.

Rozdział 5 dotyczy przeglądu rozwiązań optymalizacyjnych ze szczególnym uwzględnieniem projektowania implantów. Autor przeprowadził ilościową analizę publikacji

w bazach Scopus i Web of Science na podstawie wybranych słów kluczowych w latach 2013 – 2022. Analiza wykazała, stosunkowo małą liczbę publikacji (od 3 – 10 rocznie) obejmujących problematykę projektowania implantów z zastosowaniem algorytmów genetycznych.

W rozdziale 6 Doktorant wykazuje lukę badawczą i na podstawie analizy literaturowej formułuje stwierdzenie, że *„Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury stwierdzono, że brakuje metody projektowania implantów dopasowanych, która obejmowałaby cały proces projektowy począwszy od przygotowania geometrii poprzez analizę MES implantu aż do optymalizacji konstrukcji względem przyjętych kryteriów. Podejmowane próby automatyzacji projektowania i optymalizacji skupiają się przeważnie”*. Luka badawcza została wykazana na podstawie analizy 4 publikacji naukowych zestawionych w tabeli 6.1 i ocenionych arbitralnie pod kątem personalizacji, automatyzacji i optymalizacji. Wydaje się, że sformułowanie takiego twierdzenia w oparciu o analizę 4 publikacji wydaje się bardzo ryzykowne.

Rozdział 7 obejmuje „projekt implantu dopasowanego na przykładzie implantu stawu biodrowego. Doktorant przedstawił proces pozyskania danych medycznych (zdjęcia z tomografii komputerowej), które zostały przetworzone przy użyciu oprogramowania In Vsalius. Autor dysertacji na stronie 56, krótko odnosi się do dokładności aparatury pomiarowej służącej do pozyskania danych (0,5 mm), nie określa jednak jaka jest wymagana (minimalna) dokładność zdjęć, żeby możliwe było stworzenie poprawnego implantu dopasowanego. Na stronie 57 przedstawiono model kości udowej uzyskany na podstawie obróbki danych w programie In Veslius oraz model po uzupełnieniu nieciągłości powierzchni. Przy czym Doktorant stwierdza, że „... Usunięcie nieciągłości siatki odbywało się w sposób ręczny poprzez wypełnianie pustych przestrzeni powstałych w modelu...”. **Proponowana metoda w założeniu powinna umożliwiać automatyczne projektowanie implantu, zatem ręczna obróbka danych pozostaje w sprzeczności z założeniami automatycznego działania proponowanej metody.**

W celu przygotowania modeli 3D tkanek przygotowano dane tomograficzne 10 pacjentów w różnym wieku i o różnych cechach antropometrycznych (5 kobiet i 5 mężczyzn). Doktorant nie wyjaśnia w pracy jakie były kryteria doboru pacjentów i czy liczba 10 przypadków jest wystarczająca do opracowania i weryfikacji proponowanej metody. Tabela 7.1 przedstawia dane dotyczące płci, wieku i masy ciała. Czy na przykład pacjenta wzrost nie ma znaczenia? Dla poszczególnych przypadków określono dane antropometryczne, które były podstawą przygotowania wstępnego modelu implantu, który „...gwarantuje indywidualne

dopasowanie do każdego pacjenta...". W pracy nie jest wyjaśnione czy dla każdego przypadku zostanie opracowany dopasowany indywidualny model, czy też opracowany wstępny model będzie adaptowany (konfigurowany) dla każdego indywidualnego przypadku. Nie wiadomo również czy wstępny model zostanie opracowany osobno dla grupy kobiet i mężczyzn czy dla wszystkich 10 przypadków. W podrozdziale 7.3 Doktorant przedstawia propozycje geometrii implantów. Na rysunku 7.9 przedstawiono zestawienie 6 zdjęć rentgenowskich z różnymi rozwiązaniami endoprotez stawu biodrowego (z uwzględnieniem śrub stabilizujących, dodatkowych kołnierzy lub otworów, które obniżają sztywność implantu). Nie jest wyjaśnione znaczenie poszczególnych rozwiązań i zależności konstrukcją implantu a rodzajem schorzenia, wiekiem pacjenta, ciężarem pacjenta, etc. Na rysunku 7.10 przedstawiono przykładowe modele implantów, które zostały wygenerowane na podstawie dostępnych rozwiązań komercyjnych. W pracy nie jest wyjaśnione czy pokazane przykładowe modele zostały wygenerowane dla przedstawionej wcześniej grupy pacjentów. Następnie Doktorant określa gęstość siatki i rodzaj elementów skończonych dla potrzeb modelowania implantów. Kryterium wyboru gęstości jest czas obliczeń numerycznych. Ze względu na powszechność zastosowań w obliczeniach biomechanicznych, dla potrzeb modelowania MES Doktorant wybrał czworościenny element typu tetra. W celu poprawy efektywności obliczeniowej modelu Doktorant zdecydował o lokalnym zagęszczeniu siatki elementów skończonych, które zostały określone dla modelu implantu. Jeśli chodzi o warunki obciążeniowe dla modeli implantów, to nie zostały one przez Doktoranta określone. Podany został przykład z powołaniem na literaturę i Doktorant zaznaczył, że „... Do przygotowywanej metody optymalizacyjnej zdecydowano się wykorzystać różne modele obliczeniowe, a jakość konstrukcji określano jako sumę punktów wynikającą z różnych warunków obciążeniowych...". Dla potrzeb przeprowadzenia symulacji numerycznej wybrano dwa materiały (stopy tytanu). Nie określono kryteriów wyboru materiałów. W ostatniej części rozdziału 7 przedstawiono algorytm działania metody optymalizacyjnej. Przedstawiony na rysunku 7.16 schemat blokowy algorytmu jest bardzo ogólny i może być zastosowany do dowolnej metody obliczeniowej opartej na algorytmach genetycznych. Pokazuje on schemat działania algorytmów genetycznych i nie odnosi się do optymalizacji konstrukcji implantów w celu uzyskania najkorzystniejszego rozwiązania. W opisie Doktorant określił następujące kryteria optymalizacji: minimalizacja naprężenia zredukowanego, minimalizacja masy implantu. W rozdziale 8 przedstawiono działanie zaproponowanego algorytmu w oparciu o przykład projektu podpory belki z siłą przyłożoną na jej końcu. Przykład został zobrazowany zbiorem

rysunków. Brakuje danych obliczeniowych, wartości naprężenia zredukowanego i masy osobników w poszczególnych pokoleniach. Jeżeli praca doktorska dotyczy optymalizacji konstrukcji implantów, to jednak przykłady działania algorytmów powinny być pokazywane w oparciu o przykłady związane z tematyką pracy.

W rozdziale 9 przedstawiono wyniki działania algorytmu na przykładzie implantu kości udowej. Algorytm został zaimplementowany w środowisku MATLAB. Na rysunku 9.3 przedstawiono przykładowy pomiar długości struktury anatomicznej. Nie zostało wyjaśnione czy pomiar został wykonany automatycznie w oparciu o metody analizy obrazów czy też ręcznie. W dalszej części przedstawiono wygenerowany model implantu i pokazano zmiany naprężenia oraz masy w funkcji jednej zmiennej geometrycznej. Przedstawione modele nie mają żadnych opisów ilościowych (wymiar, masa, etc). Mapy naprężeń pokazano dla różnych wielkości siatek ale nie zamieszczono legendy opisującej skalę dla poszczególnych kolorów. Wyniki działania algorytmu genetycznego dla potrzeb redukcji masy pokazano na rysunkach 9.10 i 9.11. W 50 pokoleniu uzyskano redukcję masy implantu do 250 g. Nie zostało wyjaśnione, dla którego przypadku pacjenta zostały wykonane te obliczenia i projekt dopasowanego implantu. Ocena technologiczna została opisana w 10 akapitach. Pokazano tylko przykład konstrukcji nie technologicznej z punktu widzenia zastosowania technologii przyrostowej. Nie podano parametrów wydruku implantów na drukarce 3D oraz obróbki wykończeniowej. Następnie Doktorant przedstawia ocenę biologiczną opracowanych implantów. Na rysunku 9.14 przedstawiono różne przykłady wykonania implantu dla różnych poziomów zmienności naprężenia. Konstrukcje pokazane na zdjęciach różnią się od siebie w znaczący sposób. Czy zatem ocena biologiczna nie powinna poprzedzać ocenę technologiczną? W końcowej części rozdziału 9 przedstawiono przykład generowania implantu dla stawu barkowego. Nie określono żadnych parametrów dla których wygenerowano te implanty.

3. Oryginalne osiągnięcia

W pracy nie sformułowano problemu badawczego, nie można zatem odpowiedzieć na pytanie czy i w jakim stopniu został on rozwiązany. W pracy nie zaproponowano również metodologii badawczej, zatem nie można stwierdzić czy zaplanowany program badań został zrealizowany czy też nie. We wstępie Doktorant formułuje zarys programu badań, który obejmuje:

- „opracowanie metody przetwarzania danych obrazowych (CT) w celu stworzenia bazy modeli trójwymiarowych tkanek kostnych, która umożliwi weryfikację dopasowania implantów,
- przygotowanie procedury automatycznego generowania parametrycznych modeli 3D implantów oraz ich numerycznych odpowiedników do dalszej optymalizacji,
- analizę wpływu parametrów wejściowych na jakość zaprojektowanych rozwiązań, z uwzględnieniem aspektów mechanicznych, technologicznych i biologicznych.”

Pierwszy punkt badań został zrealizowany w oparciu o programowanie InVesalius, nie określono jednak wielkości opracowanej bazy danych (czy zawiera tylko 10 przykładowych modeli przypadków opisanych w pracy czy więcej). Drugi punkt został zrealizowany i przedstawiony w oparciu o studium przypadku. Jeśli chodzi o punkt trzeci to największe wątpliwości budzi analiza wpływu parametrów wejściowych na jakość rozwiązań w aspekcie technologicznym czyli parametrów wydruku 3D i obróbki wykończeniowej, co praktycznie nie zostało pokazane w pracy.

Z pewnością za ważny, użyteczny rezultat pracy należy uznać możliwość generowania personalizowanych modeli implantów na podstawie danych pozyskanych z tomografii komputerowej lub zdjęć rentgenowskich. Istotnym osiągnięciem jest również uzyskanie optymalnych (lub suboptymalnych) konstrukcji implantów ze względu na masę, wytrzymałość, mechaniczną, trwałość oraz możliwość bezpiecznego wszczęcia w wyniku zastosowania algorytmów genetycznych. Wygenerowane modele dopasowanych implantów były walidowane przy pomocy analizy numerycznej opartej o metodę elementów skończonych.

4. Uwagi do pracy doktorskiej

Analiza opiniowanej pracy doktorskiej skłania do uwag natury ogólnej i szczegółowej.

Uwagi ogólne:

Przedstawiona do oceny praca doktorska wymaga uzupełnienia w następującym zakresie:

1. Należy sformułować problem badawczy (najlepiej problem ogólny i problemy szczegółowe) i na końcu pracy odnieść się do kwestii rozwiązania tych problemów.
2. Należy przedstawić metodologię badań naukowych zaplanowanych i zrealizowanych w ramach przedstawionej dysertacji. Zarówno problem badawczy jak i metodologia badań powinny zostać umieszczone w odrębnym rozdziale.

3. Należy w przejrzysty sposób przedstawić autorski algorytm optymalizacji konstrukcji implantów dopasowanych i parametrów druku 3D (najlepiej w postaci schematu blokowego obejmującego również bloki decyzyjne). Algorytm pokazany na rysunku 2.5 jest zaczerpnięty z literatury i ma bardzo ogólny charakter. Schemat blokowy pokazany na rysunku 7.16 pokazuje zasadę działania algorytmu genetycznego i ma również bardzo ogólny charakter. Algorytm powinien obejmować bloki związane z przetwarzaniem danych przy użyciu różnych narzędzi (InVesalius, MATLAB, ANSYS, etc.) z pokazaniem opracowanych interfejsów do automatycznego działania procedury, które integrują całość w jeden kompleksowy system projektowy.
4. Należy pokazać przykładowe formaty danych, które są akceptowalne i przetwarzane przy użyciu zaproponowanego algorytmu.
5. Należy przedstawić wszystkie kryteria optymalizacji oraz zakresy wartości, które uwzględnia algorytm w trakcie obliczeń.
6. Należy bardzo jasno i jednoznacznie określić, co jest autorskim wkładem Doktoranta opiniowanej dysertacji.
7. Należy uzupełnić wykaz literatury przedstawiony w pracy o publikacje Doktoranta związane z tematyką pracy.

Lektura pracy skłania do postawienia następujących pytań:

1. W pracy przedstawiono dwa rodzaje implantów generowanych przez zaproponowany algorytm (staw biodrowy i staw barkowych). Czy zaproponowany algorytm jest uniwersalny i może być wykorzystany do generowania dowolnych implantów dopasowanych? Czy istnieją ograniczenia w tworzeniu jakiejś grupy implantów, a jeśli tak to jakie?
2. W pracy zaproponowano wytwarzanie utworzonych konstrukcji implantów w oparciu o technologie druku przyrostowego. Tworzenie wydruków 3D wymaga odpowiedniego zaplanowania procesu i doboru parametrów (sposób ułożenia detalu, podpory, prędkość wydruku, wypełnienie, etc.). Czy zaproponowany algorytm wyznacza parametry wydruku dla danego urządzenia (drukarki) i materiału?
3. Implanty generowane przez zaproponowany algorytm są na podstawie danych z CT, MRI lub USG. Jakie są jakościowe kryteria oceny danych, które gwarantują skuteczne wygenerowanie dopasowanego implantu przez zaproponowany algorytm?

Uwagi szczegółowe

1. Struktury językowe nie budzą poważniejszych zastrzeżeń. Następujące rysunki (zdjęcia) są nieczytelne lub słabej jakości: 2,8, 3.4, 3.5, 7.12, 9.15, 9.16, 9.17.
2. Wykres na rysunku 2.4 nie zawiera informacji ilościowych (procenty).
3. Pozycje literaturowe [117], [118], [120] nie mają określonej daty publikacji.
4. Tekst oraz język pracy nie budzą zastrzeżeń. W pracy wystąpiły nieliczne błędy edytorskie i stylistyczne:
 - strona 28 – błąd literówka, powtórzona kropka;
 - odniesienia do literatury są lub nie są przedzielane przecinkiem (np. strona 28 i strona 41);

5. Konkluzja

Recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej mgr. inż. Dawida Kęszyckiego pt.: "Opracowanie algorytmu optymalizacji konstrukcji wytwarzanych z użyciem technologii przyrostowych". Zgodnie z *regulaminem nadawania stopni naukowych na Politechnice Wrocławskiej* § 7 ust. 6 „... recenzja pracy może zawierać wnioski dotyczące uzupełnienia lub poprawienia rozprawy doktorskiej, które Rada Dyscypliny Naukowej lub Komisja Doktorska, przekazuje kandydatowi i promotorowi/promotorom”. Analiza opiniowanej dysertacji, ze względu na braki merytoryczne, które zostały wyspecyfikowane w uwagach do pracy została odesłana do ponownej oceny.

Niestety praca nie została poprawiona w terminie określonym przez Komisję Doktorską. W związku z tym **oceniam negatywnie** przedstawioną mi do oceny rozprawę doktorską mgr. inż. Dawida Kęszyckiego pt.: "Opracowanie algorytmu optymalizacji konstrukcji wytwarzanych z użyciem technologii przyrostowych" i stwierdzam, że dysertacja **nie spełnia warunków** art. 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571) **w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i nie powinna być dopuszczona do publicznej obrony.**

Dr hab. inż. Sławomir Kłós, prof. UZ

