

**dr hab. inż. Izabela Rojek, prof. uczelni**

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego  
Wydział Informatyki

Członek Komitetu Inżynierii Produkcji Polskiej Akademii Nauk

Bydgoszcz, dnia 25.08.2023 r.



## **RECENZJA**

rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Żukowskiej

pt. „Ocena materiałów i technologii w procesie szybkiego wytwarzania

pomocy przed- i śródoperacyjnych”

Promotor: dr hab. inż. Filip Górski, prof. PP

Promotor pomocniczy: dr inż. Radosław Wichniarek

Recenzję sporządzono na podstawie

uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej

z dnia 03 lipca 2023 r. nr 5/111/07/2023

### **I. TEMATYKA I UKŁAD ROZPRAWY**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska reprezentuje dziedzinę nauk inżynieryjno-technicznych dyscyplinę naukową inżynieria mechaniczna. W ogólnym ujęciu tematyka badawcza recenzowanej rozprawy obejmuje ocenę materiałów i technologii w procesie szybkiego wytwarzania pomocy przed- i śródoperacyjnych. Jest ona zgodna z dyscypliną naukową, w ramach której została opracowana.

Tematyka pracy dotyczy opracowania i walidacji metodyki szybkiego wytwarzania niskokosztowymi metodami modeli anatomicznych imitujących tkanki miękkie wykorzystującej istniejące ogólne schematy postępowania oraz oceny fantomów ze szczególnym uwzględnieniem dokładności kształtowo-wymiarowej, twardości i jakości powierzchni oraz wskaźników czasowo-ekonomicznych. Ponadto podjęto próbę ustandaryzowania procedury postępowania dla wybranego rodzaju tkanek miękkich wykorzystującej powtarzalność w zakresie wytwarzania oraz ocenę wyrobu końcowego, przy zachowaniu stosunkowo niezmiennych wskaźników ekonomicznych, bez względu na różnice anatomiczne wynikające z cech osobniczych.

Do celów szczegółowych pracy zalicza się następujące działania:

- analizę i opracowanie szczegółowych wymagań stawianych modelom przed- i śródoperacyjnym,
- analizę i dobór metod intuicyjnego projektowania modeli,
- analizę i dobór materiałów oraz procesów wytwarzania,
- dobór metod oceny wyrobu (badania obiektywne i subiektywne, ilościowe i jakościowe),
- weryfikację metodyki w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

Stwierdzam, że tematyka podjęta w rozprawie wypełnia lukę badawczą w obszarze oceny materiałów i technologii w procesie szybkiego wytwarzania pomocy przed- i śródoperacyjnych.

Tytuł pracy jest zgodny z podjętą tematyką badawczą oraz treścią pracy. Cel pracy został jasno i poprawnie sprecyzowany, a zakres pracy jest spójny i powiązany z tematyką rozprawy.

Rozprawa obejmuje 222 strony i składa się z 6 rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, bibliografii (łącznie 125 pozycji), spisu rysunków, spisu tabel oraz trzech załączników. Małym mankamentem pracy jest brak wykazu ważniejszych skrótów.

Układ pracy odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim. Praca jest dobrze opracowana pod względem edytorskim, zawiera schematy, rysunki i wykresy, opracowane z dużą starannością i dbałością o szczegóły, co znacznie ułatwia jej czytanie i zrozumienie. Tylko czasami zdarzają się drobne błędy językowe.

Niektóre treści zostały umieszczone w załącznikach:

- Załącznik nr 1 – Ankieta oceny wyrobów próbnych
- Załącznik nr 2 – Ankieta oceny wyrobów finalnych
- Załącznik nr 3 – Scenariusz grupy fokusowej.

Takie rozwiązanie uważam za bardzo trafne, ponieważ umieszczanie tych treści w rozdziałach głównych pracy miałyby wpływ na jakość odbioru czytanego tekstu.

Tekst pracy napisany jest poprawną polszczyzną.

Ogólnie układ rozprawy i jej stronę edycyjną oceniam bardzo dobrze.

## **II. OGÓLNA OCENA TREŚCI I ZAKRESU ROZPRAWY**

W **Rozdziale 1** dokonano wprowadzenia do technologii szybkiego wytwarzania oraz jej istotnej roli w obszarze medycyny, inżynierii i produkcji medycznej. Ponadto zasygnalizowane zostały zainteresowania badawcze Doktorantki dotyczące tematu wytwarzania pomocy przed- i śródoperacyjnych, które są odpowiedzią na zapotrzebowanie grupy docelowej odbiorców medycznych, jaką są lekarze. W podsumowaniu rozdziału wskazano, że rozprawa poświęcona jest

zagadnieniom wytwarzania i oceny personalizowanych modeli narządu języka, stosowanych w przygotowaniu przed- i śródoperacyjnych.

W **Rozdziale 2** przedstawiono wnikliwą analizę stanu wiedzy w zakresie technik przyrostowych w medycynie, poprzez podanie definicji, technologii, materiałów i kryteriów ich doboru. Ponadto opisano zastosowania tych technik w medycynie i produkcji medycznej. Rozdział ten zawiera również informacje na temat projektowania i wytwarzania modeli anatomicznych, które dotyczą koncepcji i definicji, obszarów zastosowań i trendów rozwojowych, stosowanych technologii i materiałów. Po takim wprowadzeniu nastąpił opis modeli operacyjnych, a w szczególności wytwarzania i oceny modeli przed- i śródoperacyjnych. Dużo uwagi poświęcono też problemowi oceny modeli operacyjnych oraz aspektom techniczno-ekonomicznym. Cennym w tym rozdziale jest podrozdział 2.4, w którym dokonano podsumowania z wnioskami dotyczącymi przeglądu literatury z tego zakresu. Rozdział ten uzasadnia, dlaczego Autorka podjęła się tematyki oceny materiałów i technologii w procesie szybkiego wytwarzania pomocy przed-i śródoperacyjnych. Większość analizowanych prac, to prace nowe, najwyżej kilkuletnie. Doktorantka powołuje się również na własne prace współautorskie (w 3 pracach Doktorantka jest pierwszym autorem).

**Rozdział 3** przedstawia problem badawczy, w ramach którego postawiono kilka pytań badawczych (podrozdział 3.1). Bazując na analizie literatury wskazującej stan badań dotyczący pomocy przed- i śródoperacyjnych oraz zapotrzebowaniu i brakach w tym obszarze doktorantka określiła cele pracy (podrozdział 3.2). Cel główny dotyczy opracowania i walidacji metodyki szybkiego wytwarzania modeli anatomicznych imitujących tkanki miękkie z użyciem metod niskobudżetowych, bazującej na istniejących ogólnych schematach postępowania, jak również ocena tych modeli ze szczególnym uwzględnieniem dokładności kształtowo-wymiarowej, twardości i jakości powierzchni oraz wskaźników czasowo-ekonomicznych. Ponadto w pracy podjęto próbę ustandaryzowania procedury postępowania dla wybranego rodzaju tkanek miękkich (tj. tkanki mięśniowej), wykorzystującej powtarzalność w zakresie wytwarzania oraz ocenę wyrobu końcowego, przy zachowaniu stosunkowo niezmiennych wskaźników ekonomicznych, bez względu na różnice anatomiczne wynikające z cech osobniczych. Podrozdział 3.3 zawiera dwie hipotezy badawcze.

**Uwaga 1.** *Doktorantka precyzując problem badawczy stawia pytania badawcze. Jednym z takich pytań jest: Jakie parametry materiałowe umożliwią poprawną imitację narządów zbudowanych z tkanek miękkich oraz zmian nowotworowych? Uzupełniając to pytanie Doktorantka odnosi się do parametru twardości i innych parametrów, które mogą wpłynąć na decyzję przy doborze materiałów.*

*Proszę o udzielenie odpowiedzi na pytanie: Jakie inne parametry materiałowe Doktorantka brała pod uwagę?*

W **Rozdziale 4** omówiono metodykę badań w następującym układzie: koncepcja i plan badań, dane wejściowe zawierające przypadek modelowy języka ze zmianą nowotworową oraz przypadek walidacyjny, projektowanie (metodyka projektowania, segmentacja plików, obróbka siatki, projektowanie modeli i oprzyrządowania), badania materiałowe (zakres i plan badań materiałowych, badania twardości modeli rzeczywistych, wymagania stawiane materiałom, dobór materiałów, ocena technologiczna materiałów, opracowanie i ocena próbek), wytwarzanie (zakres i przebieg wytwarzania, wytwarzane przyrostowe), badanie i ocena wyrobów (zakres i przebieg oceny wyrobów, ocena technologiczna wyrobów, ocena dokładności wykonania, ocena wskaźników ekonomicznych, ocena użytkowa, badania fokusowe). Metodyka badań została szczegółowo i poprawnie przedstawiona, jednak niektóre kwestie w mojej opinii wymagają rozszerzenia.

***Uwaga 2.** Uwaga ta łączy się z uwagą nr 1. Podczas doboru materiałów głównym badanym parametrem materiałowym była twardość materiałów.*

*Proszę o udzielenie odpowiedzi na pytanie: Dlaczego tylko taki parametr został wybrany? Czy w celu dokładniejszego doboru materiałów nie powinno zastosować się innych parametrów?*

**Rozdział 5** prezentuje uzyskane wyniki w pracy. Wyniki zostały przedstawione w następującym podziale: wymagania dla poszczególnych funkcji idealnego modelu anatomicznego, wyniki procesu projektowania, wyniki doboru materiałów, wyniki procesu wytwarzania, wyniki oceny obiektywnej i oceny subiektywnej. Bardzo istotnym elementem tego rozdziału jest wskazanie korelacji oceny subiektywnej i obiektywnej wraz z dyskusją wyników i weryfikacją autorskiej metodyki. Kolejno Doktorantka przedstawia wnioski końcowe wraz z potencjałem dalszego rozwoju. Wyniki zostały ukazane w sposób bardzo wnikliwy i szczegółowy, stanowiąc logiczną całość. Doktorantka udowodniła hipotezy badawcze.

***Uwaga 3.** Na str. 156 pracy przedstawiona została tabela 16 dotycząca wyceny niekomercyjnej dla wszystkich testowanych połączeń materiałów, która zawiera kwotę całkowitą będącą sumą kwoty za formę FDM, materiał na język i materiał na guza. W ostatniej kolumnie zawarto czas całkowity. Na kolejnych stronach pracy zamieszczono opis poszczególnych czasów wykonania również w kontekście*

transparentności i twardości. W mojej opinii rozszerzenie tabeli o dodatkowe kolumny zawierające czas wydruku, czas wiązania modelu guza, czas wiązania modelu pełnego wyrobu, wartości transparentności i twardości, do których Doktorantka nawiązuje w tekście pracy, razem z zawartym opisem w tekście pracy dałoby bardziej przejrzyste podsumowania. Analogicznie uwaga odnosi się do tabeli 17 ze strony 158.

**Uwaga 4.** Na str. 159 pokazano dwie tabele 18 i 19. Tabela 18 dotyczy wyceny niekomercyjnej dla modelu badawczego i dwóch modeli weryfikacyjnych, natomiast tabela 19 dotyczy wyceny komercyjnej. Tabele różnią się liczbą kolumn. W mojej opinii w tabeli 19 brakuje kolumny: procent od przykładu badawczego.

**Uwaga 5.** Na str. 171 przedstawiono tabelę 26 Średnie wartości dla twardości i oceny subiektywnej konkretnych materiałów oraz rys. 5.38 Rozkład średnich ocen twardości względem średnich ocen użytkowników. Napisano, że dane z tabeli naniesiono w postaci punktów na wykres. Proszę o wyjaśnienie : Dlaczego patrząc na tabelę jest 6 wierszy, a na wykresie jest 15 punktów? Patrząc na opis w tekście pracy wykres nie odpowiada tabeli.

**Rozdział 6** stanowi podsumowanie pracy. Wskazano oryginalne osiągnięcia w pracy. Ponadto zaproponowano kierunek rozwoju dalszych prac, dotyczący poszerzenia zakresu i obszarów badań obejmujących podnoszenie poziomu imitacji tkanek.

**Uwagi edytorskie:**

1. Na str. 21 na rys. 2.7 są napisy w języku angielskim, powinny zostać zastąpione napisami w języku polskim,
2. Na str. 22 jest nadmiarowy przecinek,
3. Na str. 23 jest nadmiarowa kropka,
4. Na str. 25 jest: *ze perspektywy*, a powinno być: *z perspektywy*,
5. Doktorantka często używa zwrotu : **oparta o**. Zgodnie z interpretacją Słownika języka polskiego PWN powinno być: **oparta na** (<https://sjp.pwn.pl/poradnia/haslo/W-oparciu-o;18463.html>),
6. W niektórych przypadkach wskazane byłyby opisy poszczególnych części rysunku (a, b) w podpisie rysunku, np. rys. 2.20, str. 44,
7. Na str. 70 jest: *w zależności wybranej*, a powinno być: *w zależności od wybranej*,



8. Na str. 95 jest: *wywarzania*, a powinno być: *wytwarzania*, jest: *przed wszystkim*, a powinno być: *przede wszystkim*,
9. Na str. 117 jest: *korków*, a powinno być: *kroków*,
10. Na str. 120 powołano się na 3 rysunki bez podania ich numerów,
11. Na str. 125 powołano się na rys. XX bez podania numeru,
12. Na str. 137 powołano się na dwa rysunki bez podania numeru i rysunek X,
13. Na str. 147 podano numer rysunku: 2.23, a powinno być: 5.23,
14. Na str. 159 jest:  $+/\neq$ , a powinno być:  $+/-$ ,
15. Na str. 160 jest *kobkretnych*, a powinno być: *konkretnych*,
16. Na str. 161 powołano się na rysunek bez podania numeru,
17. Na str. 170 jest „*każdy przypadek jest inny i nie można o powtarzalności podczas operacji w tym obszarze*” powinno być np. „*każdy przypadek jest inny i nie można **mówić** o powtarzalności podczas operacji w tym obszarze*”,
18. Na str. 175 jest: *klady*, a powinno być: *klasy*, jest: *opisowa*, a powinno być: *opisową*,
19. Na str. 176 powołano się na tabelę bez podania numeru.

### III. OCENA METODOLOGICZNEJ I METODYCZNEJ KONCEPCJI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Na podstawie przeprowadzonej analizy w rozprawie doktorskiej i procedury rozwiązywania postawionych zadań badawczych, metodologiczną i metodyczną koncepcję rozprawy doktorskiej oceniam bardzo pozytywnie, ponieważ zawiera ona w ujęciu ogólnym opracowanie oceny materiałów i technologii w procesie szybkiego wytwarzania pomocy przed- i śródoperacyjnych.

Za oryginalne i ważne pod względem naukowym oraz użytecznym, rezultaty badań uzyskane przez Doktorantkę, uznaję:

1. opracowanie metodyki wytwarzania i oceny zindywidualizowanych modeli anatomicznych imitujących tkanki miękkie do zastosowania przed- i śródoperacyjnego;
2. opracowanie doboru materiałowego wraz z jego weryfikacją;
3. opracowanie doboru technologicznego obejmującego stosowanie rozwiązań niskobudżetowych, dzięki czemu wyrób może być potencjalnie wdrożony jako jeden z podstawowych elementów przygotowania przedoperacyjnego, obok podstawowej diagnostyki takiej jak wywiad czy badanie obrazowe pacjenta;
4. opracowanie wytycznych do prowadzenia poprawnego wywiadu lekarskiego, który uzupełniony o konsultację z lekarzem radiologiem daje możliwość dostarczenia funkcjonalnego modelu anatomicznego w stosunkowo krótkim czasie i bez nadmiernego angażowania w proces lekarza.



Opracowanie takie było możliwe poprzez określenie parametrów podczas oceny subiektywnej i obiektywnej wyrobów;

5. przedstawienie weryfikacji opracowanej metodyki wytwarzania modelu anatomicznego imitującego tkanki miękkie na podstawie istniejącego przypadku klinicznego.

Podczas przygotowania rozprawy doktorskiej Doktoranta wykazała się dojrzałością naukową. O właściwym przygotowaniu mgr inż. Magdaleny Żukowskiej do prowadzenia prac badawczych świadczą: rzeczowa analiza literatury, zastosowanie właściwej wiedzy z zakresu doboru materiałów i technologii w procesie szybkiego wytwarzania pomocy przed- i śródoperacyjnych, poprawny dobór narzędzi do badań, autorskie opracowanie procedur badawczych, przeprowadzenie badań w warunkach zbliżonych do rzeczywistych i bazowanie na danych rzeczywistych oraz weryfikacja możliwości zastosowania opracowanej oceny materiałów i technologii w procesie szybkiego wytwarzania pomocy przed- i śródoperacyjnych oraz umiejętność wskazania kierunków dalszych badań. Doktorantka wykazała postawione hipotezy badawcze.

**Podsumowując stwierdzam, że zadania badawcze, które podjęła Doktorantka uzupełniają oraz poszerzają wiedzę z zakresu oceny materiałów i technologii w procesie szybkiego wytwarzania pomocy przed- i śródoperacyjnych. Rozprawę doktorską mgr inż. Magdaleny Żukowskiej oceniam pozytywnie.**

### **III. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY**

Przytoczone uwagi mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają wartości osiągniętych w pracy doktorskiej rezultatów. Mają one na celu pomóc w doskonaleniu warsztatu naukowego Doktorantki i stać się jedynie inspiracją i zachęcić do prowadzenia dalszych badań. Doktorantka udowodniła, że potrafi prowadzić badania oraz rozwiązywać problemy naukowe.

Biorąc pod uwagę całość pracy stwierdzam, że **przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Żukowskiej pt. „Ocena materiałów i technologii w procesie szybkiego wytwarzania pomocy przed- i śródoperacyjnych” stanowi oryginalną pracę, mieszczącą się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i odpowiada wymaganiom określonym w ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami).** W związku z tym **wniosuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

*Grzegorz Rojale*