

Warszawa, 16.08.2023 r.

Prof. dr hab. inż. Joanna Ryszkowska
Wydział Inżynierii Materiałowej
Politechnika Warszawska
02-507 Warszawa
ul. Wołoska 141



Recenzja

rozprawy doktorskiej pani mgr inż. **Magdaleny Żukowskiej**
pt. „**Ocena materiałów i technologii w procesie szybkiego wytwarzania pomocy przed-
i śródoperacyjnych**”

Podstawą do wykonania recenzji była uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna
Politechniki Poznańskiej z dnia 03 lipca 2023 r, nr.5/II/07/2023

Informacje o ocenianej rozprawie doktorskiej

Rozprawa mgr inż. Magdaleny Żukowskiej „**Ocena materiałów i technologii w procesie
szybkiego wytwarzania pomocy przed- i śródoperacyjnych**”, została wykonana pod opieką
promotora dr hab. inż. Filipa Górskiego, prof. PP i promotora pomocniczego dr inż.
Radosława Wichniarka

Ocena układu rozprawy doktorskiej

Praca o objętości 222 stron zawiera: streszczenie, abstract, spis treści, wprowadzenie, analizę
stanu zagadnienia, cel pracy, problemy i hipotezy badawcze, metodykę badań, wyniki
i podsumowanie, literaturę, spis ilustracji i tabel oraz załączniki. Układ pracy jest typowy dla
rozpraw doktorskich.

Rozprawa mgr inż. Magdaleny Żukowskiej ma typowy dla prac doktorskich układ.
Udział część literaturowej to ok. 30% pracy, co stanowi o właściwej proporcji część
literaturowej i badawczej. Sposób przedstawienia analizy stanu zagadnienia jest niezwykle
przyjazny dla czytającego. W każdym podrozdziale jest podobny układ prezentowania
zagadnień, zaczyna je przedstawienie podstawowych definicji, klasyfikacji i dopiero
Doktorantka przechodzi do omawiania prezentowanych zagadnień. Tak uporządkowany
sposób opisu ułatwia czytającemu ocenę zawartości pracy z danego obszaru wiedzy. Jest to
szczególnie istotne w przypadku zagadnień poruszanych w pracy obejmujących różne obszary
wiedzy, poznawane od niezwykle krótkiego czasu. W analizie stanu zagadnienia Autorka

posłużyła się wieloma schematami i tabelami porządkującymi wiedzę o omawianych zagadnieniach. Schematy w części doświadczalnej w sposób uporządkowany przedstawiają kolejne etapach badań i ocen prowadzonych w ramach pracy. Praca jest bardzo obszerna. Została napisana poprawnym językiem, ale pojawiają się w niej błędy stylistyczne. Pojawiają się też błędy interpunkcji. Ponadto na końcach wiersza pozostały w wielu miejscach samotne literki. Pojawiają się też błędy np. „z *pośród*” zamiast poprawnej formy „spośród”, bądź niezręczne sformułowania typu: *zdatny do*.... Autorka wielokrotnie posługuje się zwyczajowymi pojęciami stosowanymi w trakcie pracy, a nie sformułowaniami naukowymi, lub nazwami zaczerpniętymi z języka angielskiego np. *spacing*. W pracy pojawiają się błędy edytorskie, zwłaszcza w drugiej części pracy np. zabrakło w kilku miejscach w tekście numerów rysunków.

Ocena zastosowanego piśmiennictwa

Autorka rozprawy w bibliografii zawarła 125 pozycji. W tym 12 pozycji to strony internetowe dotyczące statystyk, materiałów i ich właściwości. Jedynie 13 pozycji to odnośniki po polsku, a pozostałe są publikacjami po angielsku, co stanowi ok. 90%. Jedynie 5 publikacji pochodzi z roczników poniżej 2011 roku. W pracy zawarto więc większość publikacji nie starszych niż 20- to letnie. Większość publikacji dotyczy technologii szybkiego wytwarzania, wytwarzania przyrostowego – technik druku 3D, projektowania i wytwarzania modeli anatomicznych, a zwłaszcza modeli przed- i śródoperacyjnych. Zacytowane przez Doktorantkę pozycje literatury zostały dobrane we właściwy sposób, a ich zawartość została wykorzystana poprawnie. Ponadto warto podkreślić, że mgr inż. Magdalena Żukowska w bardzo przystępny dla czytającego sposób wykorzystwała zacytowane publikacje, porządkując wiedzę w przygotowanych na ich podstawie schematach i tabelach.

Ocena celu rozprawy

W rozdziale: „Cel pracy, problemy i hipotezy badawcze”, mgr inż. Magdalena Żukowska przedstawiła problemy badawcze wynikające z braku: ustandaryzowanego schematu postępowania przy wytwarzaniu modeli imitujących tkanki miękkie z użyciem technik szybkiego wytwarzania (Rapid Manufacturing) oraz ustandaryzowanych metod oceny przez odbiorców końcowych. Aby uszczegółowić ogólnie zdefiniowane problemy badawcze doktorantka postawiła następujące pytania badawcze:

- Jakie parametry materiałowe umożliwią poprawną imitację narządów zbudowanych z tkanek miękkich oraz zmian nowotworowych?

- Jakie wskaźniki techniczno-ekonomiczne odgrywają największą rolę w ocenie wyrobu?
- Jakie cechy i funkcje modelu muszą być uwzględnione w procesie produkcyjnym, aby poddany ocenie końcowej obiekt spełniał wymagania?
- Jakie parametry jakościowe muszą być spełnione aby wytworzony model stanowił funkcjonalną pomoc przed- i śródoperacyjną?
- Jak zaklasyfikować wyrób medyczny, którym jest pomoc przed- i śródoperacyjna?

Na podstawie przedstawionych problemów badawczych Doktorantka sformułowała cele pracy. Jej głównym celem było opracowanie i walidacja metodyki szybkiego wytwarzania modeli anatomicznych imitujących tkanki miękkie z użyciem metod niskobudżetowych, w oparciu o istniejące ogólne schematy postępowania, jak również ocena tych modeli ze szczególnym uwzględnieniem dokładności kształtowo-wymiarowej, twardości i jakości powierzchni oraz wskaźników czasowo-ekonomicznych. Do celów szczegółowych pracy jej Autorka zaliczyła następujące działania:

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

Autorka rozprawy posługując się analizą literatury, założeniami do pracy, problemami badawczymi oraz jej celem postawiła dwie hipotezy badawcze:

- zastosowanie niskobudżetowych technik szybkiego wytwarzania (tj. metody FDM oraz odlewania próżniowego) pozwala na uzyskanie modeli przed- i śródoperacyjnych imitujących tkanki miękkie ze zmianami nowotworowymi spełniających wymagania techniczne i ekonomiczne na poziomie porównywalnym do wyrobów uzyskanych technikami wysokobudżetowymi (np. metodą PolyJet, SLS lub SLA)
- standaryzacja schematu postępowania dla wybranych tkanek miękkich ze zmianami nowotworowymi pozwala wytworzyć wyrób o relatywnie niezmiennym wskaźniku ekonomicznym dla wybranego narządu, niezależnie od różnic anatomicznych wynikających z konkretnego przypadku medycznego (tj. geometrii/anatomii organu i guza).

Potrzeby medycyny w zakresie wytwarzania modeli anatomicznych stale rosną. Znaczące jest zapotrzebowanie na modele narządów z tkanek miękkich a ilość dotychczas prowadzonych prac w tym zakresie jest mała, ponadto na co wskazała Doktorantka brak

ustandaryzowanego schematu postępowania przy wytwarzaniu takich modeli z użyciem technik szybkiego wytwarzania oraz metod ich oceny przez odbiorców końcowych. Mgr inż. Magdalena Żukowska w bardzo staranny sposób opisała problemy badawcze wynikające z dotychczasowego stanu badań i procesu wykorzystania modeli anatomicznych narządów z tkanek miękkich z użyciem technik szybkiego wytwarzania i na tej podstawie sformułowała cele rozprawy.

Cele rozprawy zostały właściwie i jasno sformułowane, z uwzględnieniem aktualnych potrzeb badawczych. Autorka powiązała je z czynnikami wpływającymi na możliwość ich wdrożenia do praktyki medycznej m.in. dzięki zastosowaniu niskobudżetowych metod wytwarzania. W celu rozprawy skoncentrowała się też na ocenie opracowanych modeli z uwzględnieniem wielu czynników t.j.: dokładność kształtowo-wymiarowa, twardość, jakość powierzchni oraz wskaźniki czasowo-ekonomiczne, ale też na ocenie modeli przez końcowych odbiorców.

Ocena zastosowanych metod badawczych

Autorka rozprawy metodykę pracy w ramach rozprawy opisała w rozdziale „Metodyka badań”. Po omówieniu koncepcji i planu badań przedstawiła dane wejściowe do przygotowania modelu anatomicznego opisujące konkretny przypadek medyczny. Po tym rozdziale opisała metodykę badań w podziale na etapy pracy służące realizacji celów pracy: projektowanie, badania materiałowe, wytwarzanie wyrobów oraz badania i ocenę wyrobów. W rozdziałach opisujących metodykę każdego z etapów badań Autorka rozprawy w postaci schematów przedstawiła kolejne etapy postępowania przy opracowywaniu modelu oraz starannie je opisała. W części związanej z projektowaniem Doktorantka oparła się o założenia inżynierii odwrotnej, do której podstawą był żywy organ ludzki poddany badaniu radiologicznemu. Po procesie obrazowania kolejne etapy działań dotyczyły dopasowania elementów modelu do rzeczywistego organu, a następne związane były z projektowaniem narzędzi do procesu wytwarzania formy odlewniczej. Proces projektowania związany był z trzema etapami: segmentacją, obróbką wykańczającą i projektowaniem narzędzi. Do realizacji tych zadań wykorzystwała ogólnodostępne programy. W ramach badań materiałowych służących doborowi właściwego materiału do wytwarzania modeli anatomicznych organów z tkanek miękkich przeprowadzono 3 etapy selekcji. Podstawą do kolejnych etapów eliminacji materiałów był wywiad lekarski oraz przydatność do przetwarzania niskobudżetowymi technologiami. Etapy selekcji uzupełniono badaniami twardości. Wytypowano i przeanalizowano przydatność 16 typów materiałów przetwarzanych z zastosowaniem techniki odlewania próżniowego druku 3D (DLP, SLA,

i FDM). Przydatność materiałów oceniano na podstawie oceny technologicznej materiałów, oceny subiektywnej wyrobów z tych materiałów: podatności na cięcie i szycie. Doktorantka opisała wytwarzanie wyrobów z wyselekcjonowanych materiałów z zastosowaniem FDM i odlewania próżniowego. Dla każdej z metod została przygotowana procedura postępowania z zastosowaniem, której wytworzono wyroby. Wyroby wytwarzano wg. różnych strategii. Odmienne strategie wytwarzania przyjęto dla tkanek zdrowych i dla tkanek guza. Do oceny wytworzonych wyrobów mgr. Żukowska zastosowała ocenę obiektywną i subiektywną. Ocena obiektywna obejmowała: określenie technologiczności finalnych wyrobów, ocenę dokładności kształtowo-wymiarowej form, elementu guza i wyrobów finalnych w procesie skanowania przestrzennego, ocenę wskaźników czasowo-ekonomicznych w oparciu o zastosowane technologie i materiały, badanie ankietowe wyrobów w procesie selekcji materiałów, przeprowadzenie operacji symulowanej na modelach języka ze zmianą nowotworową. Ocena subiektywna obejmowała: ocenę odwzorowania właściwości mechanicznych tkanek miękkich zdrowych i chorych, próbę podatności na cięcie i badanie palpacyjne, ocenę grupy fokusowej prowadzoną w odniesieniu do przeprowadzonego badania na finalnych wyrobach oraz rozszerzoną dyskusję w zakresie wymagań i oczekiwań.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest pracą interdyscyplinarną. Jej realizacja wymagała zastosowania wielu technik badawczych, analiz i ocen, a wśród nich wielu oryginalnych. Sposób opisu metodyki badań jest nietypowy, ale jest właściwie dobrany do charakteru prowadzonych badań i ich interdyscyplinarnego charakteru. Zawiera staranny opis badań, opis zastosowanych narzędzi i metodykę ich prowadzenia.

Ocena merytoryczna pracy

We wprowadzeniu do pracy Doktorantka scharakteryzowała istotę pracy i uzasadniła potrzebę podjęcia tematyki pracy. Autorka rozprawy zainteresowała się wytwarzaniem pomocy przed- i śródoperacyjnych imitujących tkanki miękkie. Takie spersonalizowane modele autonomiczne są przydatne lekarzom, a dotychczas jest niewiele publikacji dotyczących takich modeli wytwarzanych z materiałów o podobnej charakterystyce jak tkanki miękkie. Autorka pracy założyła, że takie modele będą formowane technikami wytwarzania przyrostowego z grupy szybkiego wytwarzania. Takie procesy pozwalają na szybką reakcję, na zapotrzebowanie lekarzy w sytuacjach kryzysowych. Gdyż umożliwiają tworzenie modeli w krótkim czasie, przy niskich kosztach, a procesy są dokładne.

Autorka rozprawy przedstawiła istotność technologii szybkiego wytwarzania dla rozwoju przemysłu. Są to technologie będące elementem czwartej rewolucji przemysłowej,

umożliwiający wytwarzanie elementów o skomplikowanych kształtach, przy małoseryjnej produkcji, z użyciem taniego oprzyrządowania. Technologie te rozwijają się równolegle z postępowaniem w obszarze wytwarzania przyrostowego nazywanego drukiem 3D.

Niewątpliwie jak podkreśla Doktorantka wytwarzanie przyrostowe umożliwia wytwarzanie wyrobów o wysokiej jakości, co jest wynikiem rozwoju różnych metod druku 3D, wdrażaniem tych nowych rozwiązań i nowych materiałów dedykowanych do tych procesów.

Procesy wytwarzania przyrostowego umożliwiły w ostatnich latach znaczący postęp w wielu obszarach związanych z medycyną oraz inżynierią i produkcją medyczną. Możliwości wytwarzania przyrostowego sprzyjają personalizacji produktów t.j. implanty, protezy czy modele anatomiczne.

Medycyna jest nadal niedofinansowana, co powoduje, że konieczne są rozwiązania tanie i wydajne. Ponadto w wielu sytuacjach kryzysowych elementy trzeba dostarczyć, w krótkim czasie przy zachowaniu ich wysokiej jakości. Stąd też poszukiwanie rozwiązań związanych z zastosowaniami wytwarzania przyrostowego w wielu dziedzinach produkcji medycznej. Rozwój w obszarze nowych technologii na potrzeby medycyny wymaga współpracy pomiędzy wieloma dziedzinami nauki: inżynierią mechaniczną, inżynierią biomedyczną, inżynierią materiałową oraz medycyną. Dzięki opracowaniu nowych rozwiązań możliwe będzie wdrażanie procedur medycznych sprzyjających szybszemu powrotowi pacjentów do zdrowia, przy zmniejszonych kosztach procedur medycznych.

Szybka reakcja w sytuacjach kryzysowych wymaga współpracy z lekarzami oraz metod oceny elementów należących do grupy wyrobów medycznych, które są dostosowane do indywidualnych potrzeb pacjentów. Brak jest wypracowanych schematów współpracy z lekarzami i metod oceny wytwarzanych wyrobów, dlatego Autorka rozprawy w pracy zainicjowała rozważania nad tymi zagadnieniami.

Kolejna część pracy to analiza stanu zagadnienia, w tej części mgr. inż. Magdalena Żukowska opisała techniki przyrostowe stosowane w medycynie. Opisała podstawowe definicje dotyczące m.in.: wytwarzania przyrostowego, sposobów klasyfikacji tych metod oraz ich zastosowań. Następnie w części pt. Technologie, Autorka opisała techniki przyrostowe najczęściej stosowane w prototypowaniu i produkcji wyrobów medycznych. Opisała też urządzenia stosowane do realizacji procesów technologicznych tymi technikami czyli drukarki 3D. Sklasyfikowała też drukarki i opisała je. W rozdziale tym znalazł się też opis znanej od lat technologii odlewania próżniowego materiałów polimerowych. Jest to technologia wspierająca rozwój wytwarzania przyrostowego, gdyż może być wykorzystywana do wytwarzania form do produkcji małoseryjnej.

Istotnymi z punktu widzenia stosowania technik przyrostowych w procesach wytwarzania wyrobów są materiały. Doktorantka opisała je w podrozdziale pt. Materiały i kryteria doboru. Mgr inż. Magdalena Żukowska sklasyfikowała materiały stosowane w wytwarzaniu przyrostowym i opisała wybrane z nich, ich opis powiązała z metodami druku 3D, do których są dedykowane. W rozdziale tym znalazł się też opis zastosowań technik przyrostowych w medycynie i produkcji medycznej. Doktorantka przedstawiła główne obszary zastosowań druku 3D w medycynie: modele medyczne, akcesoria wspomagające zewnątrznie, w tym protezy i ortezy, instrumentarium chirurgiczne i komponenty sprzętu medycznego oraz biodruk 3D. Opisała wybrane zależności pomiędzy materiałami, technologiami i pożądaną funkcjonalnością wyrobów stosowanych w każdym z obszarów zastosowań druku 3D w medycynie.

Drugi rozdział: „Opisu stanu zagadnienia”, zawiera opis procesu „Projektowania i wytwarzania modeli anatomicznych”. W tej części pracy znalazł się opis podstawowych koncepcji modeli anatomicznych, ich funkcje, przedstawiono też wybrane definicje dotyczące modeli anatomicznych. Ponadto przedstawiono obszary zastosowań modeli anatomicznych, trendy rozwojowe z nimi związane oraz stosowane technologie i materiały.

Kolejny rozdział pt.: „Wytwarzanie i ocena modeli przed- i śródoperacyjnych” zawiera opis modeli operacyjnych, definicje i klasyfikacje z nimi związane, wymagania i zakres ich zastosowań, opis problemu oceny modeli operacyjnych oraz aspekty techniczno- ekonomiczne ich wytwarzania i stosowania.

Analizę stanu zagadnienia zamyka podsumowanie analizy literatury, w którym Doktorantka przedstawiła wymagania dotyczące modeli, opis istniejących rozwiązań i ich niedoskonałości oraz przesłanki do podjęcia prac w ramach pracy doktorskiej.

Następnie Autorka rozprawy przedstawiła trzeci rozdział pt.: Cel pracy, problemy i hipotezy badawcze. Rozdział ten Autorka rozpoczęła od przedstawienia problemów badawczych związanych z procesem produkcji modeli anatomicznych, po czym sformułowała pytania badawcze. Następnie Doktorantka sformułowała główny cel badawczy oraz pięć celów szczegółowych. Ponadto sformułowano dwie hipotezy badawcze. Ocenę tej części pracy przedstawiono we wcześniejszej części recenzji.

W czwartym rozdziale mgr inż. Magdalena Żukowska przedstawiła opis metodyki badań. Ocenę tej części rozprawy przedstawiono we wcześniejszej części recenzji.

Część pracy nazwaną „Wyniki badań” Doktorantka przedstawiła w jedenastu podrozdziałach. Pierwszy podrozdział to Wprowadzenie, w którym sprecyzowała wymagania będące podstawą do realizacji procesów technologicznych wykorzystanych w pracy. W drugim

podrozdziale zostały przedstawione wyniki procesu projektowania języka i guza. Projekt i jego opis nie budzi zastrzeżeń. Trzeci podrozdział zawiera wyniki trzech etapów badań materiałowych. W pierwszym etapie tych badań do oceny wybranych materiałów została wykorzystana ocena podatności na cięcie i szycie oraz ocena trwałości szwów i próbek. W tym etapie do oceny materiałów zastosowano też badania twardości i zamglenia próbek. W wyniku tych badań do dalszych badań wytypowano materiały wytwarzane według różnych strategii o twardościach zbliżonych do twardości tkanek miękkich o niskim zamgleniu. Przeanalizowano też wpływ sposobu przygotowania form do kształtowania modeli na zamglenie próbek.

W drugim etapie dobierano materiały do wytwarzania modeli tkanek języka i tkanek guza, które różnią się twardością. W trzecim etapie analiz materiałowych wytypowano trzy materiały do imitacji tkanek zdrowych i dwa do tkanek chorych. Istotnym jest, że Doktorantka przeanalizowała ceny i dostępność materiałów zaproponowanych do wytwarzania modeli. Omówiła też cechy technologiczne materiałów po ostatnim etapie selekcji t.j. lepkość, czas życia, czas wiązania mieszanek. Po tych analizach przedstawiła ocenę każdego z wytypowanych materiałów. W czwartym podrozdziale zostały przedstawione wyniki procesów wytwarzania technikami przyrostowymi FDM i Poly-Jet form i modeli. Doktorantka opisała wyniki porównania czasu wytwarzania i zużycia materiałów do ich kształtowania. Omówiła wyniki procesów odlewania dwumateriałowych dziewięciu modeli technikami omówionymi w strategii pracy. W piątym podrozdziale Autorka przedstawiła wyniki oceny obiektywnej: dokładności kształtowo-wymiarowej, technologiczności wyrobów oraz wskaźników ekonomicznych. Po tej części Autorka w kolejnych podrozdziałach, skupiła się nad oceną subiektywnej, zawierającą wyniki badania ankietowego wyrobów próbnych oraz finalnych, przedstawiła też wyniki badań grupy fokusowej oraz wyniki analizy korelacji oceny subiektywnej i obiektywnej. W kolejnych podrozdziałach Doktorantka przedstawiła: dyskusję wyników, weryfikację metodyki, wnioski oraz opis potencjału dalszego rozwoju zindywidualizowanych modeli anatomicznych. Podrozdziały te przedstawiono w uporządkowany i jasny sposób, nie budzący zastrzeżeń co do interpretacji wyników. Część doświadczalną pracy zamyka podsumowanie. Autorka wskazała w nim na konieczność kontynuowania badań nad opracowaniem modeli anatomicznych imitujących tkanki miękkie innych organów. Po tym rozdziale Autorka zamieściła literaturę, spis ilustracji, spis tabel oraz załączniki.

Po analizie zawartości pracy przedstawionej powyżej można stwierdzić, że mgr inż. Magdalena Żukowska podjęła w rozprawie bardzo istotną i aktualną tematykę dotyczącą

modeli anatomicznych pomocnych przed i w trakcie operacji. Do formowania modeli zastosowała bardzo szybko rozwijające się techniki szybkiego wytwarzania należące do grupy technik wytwarzania przyrostowego. Praca dotyczy także niezwykle istotnego z punktu rozwoju współpracy z lekarzami schematu wspólnej pracy, ale też metod oceny modeli anatomicznych, co jest niezwykle istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa pacjentów.

We wcześniejszej części recenzji odniosłam się do celu pracy. Jego sformułowanie i sposób przedstawienia oraz uzasadnienia oraz hipotezy badawcze zostały jasno i poprawnie sformułowane. Do metodyki badań zastosowanych w pracy także odniosłam się już we wcześniejszej części recenzji. Metodyka badań została przedstawiona w bardzo przejrzysty sposób. Metody i techniki badawcze zostały właściwie dobrane i opisane, co było szczególnie trudne ze względu na interdyscyplinarny charakter pracy.

Ocena omówienia wyników badań

Wyniki badań Doktorantka przedstawiła i omówiła we właściwy sposób, mimo, że było to wyjątkowo trudne zadanie, ze względu na interdyscyplinarny charakter pracy. W trakcie omawiania wyników znalazły się odniesienia do wyników badań przedstawionych w literaturze, jednakże ze względu na nieznaczną ilość publikacji dotyczących modeli tkanek miękkich było to także trudne. Wyniki analiz zostały we właściwy sposób omówione i zinterpretowane.

Ocena możliwości praktycznego zastosowania wyników badań

Modele anatomiczne tkanek miękkich do wytwarzania pomocy przed- i śródoperacyjnych są potrzebne, zarówno na etapie edukacji służby medycznej, ale także w sytuacjach wymagających szybkich interwencji chirurgicznych. Ponieważ w ramach pracy Doktorantka zaproponowała system współpracy z lekarzami wymagający niewielkiego zaangażowania ich czasu stwarza szansę to na wdrożenie nowych rozwiązań proponowanych w ramach rozprawy. Lekarze zgłaszają zapotrzebowanie na modele zaproponowane w pracy. Warto podkreślić, że propozycje procesów wytwarzania modeli przedstawione w pracy są tanie, umożliwiają ich wytwarzanie w krótkim czasie. Co także sprzyja ich wdrożeniu do praktyki medycznej.

Ocena oryginalności rozwiązania problemu naukowego

Problem naukowy postawiony przez Doktorantkę: ocena materiałów i technologii w procesie szybkiego wytwarzania pomocy przed- i śródoperacyjnych wymagał oryginalnego podejścia

do jego realizacji. Konieczne było opracowanie procedur badawczych, procedur oceny wyrobów, ale też procedur współpracy ze środowiskiem medycznym.

Uwagi i pytania dotyczące rozprawy

- W pracy Autorka zamiast nazwy Twardościomierz dla urządzenia do pomiaru twardości używa nazwy Durometr
- Pomiar twardości odbywa się na powierzchni materiału, jednak pomiar odbywa się wgłębnikami, co wskazuje, że nie jest to cecha powierzchni materiału. Potwierdzeniem tego są wyniki oznaczania twardości próbek o różnej grubości.
- W pracy do barwienia materiałów zastosowano pigmenty. Warto pamiętać, że pigmenty zmieniają przeświecalność, jeśli chcemy zmienić barwę bez zmiany przeświecalności należy zastosować barwniki.
- Opis materiałów w pracy jest wyjątkowo ograniczony pojawiają się tylko nazwy grup do których należą np. silikony i żywice. Podczas, gdy np. w grupie żywic jest wiele podgrup epoksydowe, estrowe, eterowe, fenolowe, formaldehydowe, mocznikowe, silikonowe i in.
- TPU nie jest materiałem gumowym, a jest to termoplastyczny poliuretan, który może być materiałem gumopodobnym.
- W omawianiu wyników oceny zamglenia Autorka używa pojęcia „Haze”, może warto zastosować odpowiednik po polsku.
- Warto przeanalizować sposób doszczelniania form. Czy nie zaobserwowano powstawania bąbli przy doszczelnianiu plasteliną.

Ocena czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Żukowskiej jest bardzo interesującą pracą naukową. Doktorantka wykazała się wiedzą teoretyczną, doświadczeniem badawczym i umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Wyniki badań związanych z rozprawą doktorską przedstawiła w czterech recenzowanych publikacjach z listy JCR, których jest pierwszym autorem, jest też współautorem łącznie 23 prac, które cytowano 537 razy.

Podsumowanie oceny rozprawy doktorskiej

Biorąc pod uwagę przedstawione opinie stwierdzam, iż praca **mgr inż. Magdaleny Żukowskiej** pt. „Ocena materiałów i technologii w procesie szybkiego wytwarzania pomocy przed- i śródoperacyjnych”, odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim przez obowiązującą ustawę.

Doktorantka zrealizowała cele pracy i potwierdziła postawione hipotezy badawcze. Dlatego wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej.

Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Żukowskiej odznacza się oryginalnością zastosowanych metod i narzędzi badawczych. Aby zrealizować cele pracy Doktorantka musiała opracować metody służące sformułowaniu wymagań stawianych opracowywanym modelom, oraz procedury służące wytwarzaniu modeli, ale też opracować narzędzia oceny obiektywnej (np. t.j. ciecie, szycie, stabilność szycia i zachowanie materiałów po tych procesach) i subiektywnej.

Praca posiada też wyjątkowe walory poznawcze, które pozwoliły wytworzyć modele anatomiczne imitujące tkanki miękkie, pozwoliły też na przygotowanie schematów współpracy ze środowiskiem medycznym oraz przygotować procedury oceny modeli anatomicznych. Dzięki uzyskanym wynikom rozprawy praca ma też wysokie walory wdrożeniowe. Wymienione zalety rozprawy mgr inż. Magdaleny Żukowskiej są dla mnie podstawą do wnioskowania o jej wyróżnienie.

