

Łódź dnia 5 maja 2026 r.

Dr hab. inż. Maciej Boguń

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Jakuba Szarego

nt. „*Projekt i realizacja ortezy stabilizującej staw kolanowy przy zastosowaniu druku 3D oraz powłok kompozytowych*”

Promotor pracy: **dr hab. Marcin Barburski, prof. Uczelni**

Recenzja rozprawy doktorskiej została wykonana na podstawie uchwały nr 6/20/2024-2028 z dnia 27 lutego 2026 roku Rady dyscypliny inżynieria materiałowa oraz pisma Zastępcy Przewodniczącego Rady Pani Prof. dr hab. inż. Katarzyny Grabowskiej z dnia 6 marca 2026 r.

Zgodnie z art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2018 poz. 1668 z późn. zm.) rozprawa doktorska została oceniona w aspekcie: oryginalności rozwiązania problemu naukowego, posiadania ogólnej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie inżynierii materiałowej i umiejętności prowadzenia samodzielnej pracy naukowej przez Doktoranta.

Rozprawa doktorska realizowana była w ramach Programu „Doktorat Wdrożeniowy V” finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

1. Tematyka badawcza będąca przedmiotem rozprawy doktorskiej i jej znaczenie dla rozwoju nauki oraz gospodarki

Przedstawiona do oceny dysertacja doktorska Pana mgr inż. Jakuba Szarego dotyczy zaprojektowania i przeprowadzenia badań spersonalizowanej ortezy stawu kolanowego. W tym przypadku istotne jest posiadanie wiedzy związanej zarówno z inżynierią materiałową, a przede wszystkim z wytwarzaniem materiałów kompozytowych, oceną ich właściwości oraz wiedzą dotyczącą wprowadzania wyrobów medycznych na rynek. Tematyka pracy realizowanej w ramach rozprawy doktorskiej jest bezpośrednio związana z działalnością przedsiębiorstwa produkującego m.in. wyroby medyczne stosowane w rehabilitacji. Zaproponowane w pracy rozwiązanie ukierunkowane jest na opracowanie zarówno struktury materiałowej, jak także rozwiązań technologicznych w obszarze spersonalizowanej ortezy, która w sposób wydatni wpłynie na proces rekonwalescencji i rehabilitacji pacjenta m.in. po zabiegach chirurgicznych. W chwili obecnej na rynku wyrobów medycznych znajduje się wiele rozwiązań z zakresu wyrobów wspomagających powrót pacjenta do sprawności ruchowej po uszkodzeniach stawu kolanowego, niemniej jednak biorąc pod uwagę zmiany w sylwetkach społeczeństwa coraz częściej wymagane jest stosowanie wyrobów „dedykowanych” konkretnej osobie, tak aby zapewnić odpowiedni komfort oraz właściwy proces rehabilitacji. Rozwój techniki umożliwia w tym przypadku podjęcie działań umożliwiających synergię pomiędzy różnymi procesami,

które z jednej strony wpłyną korzystnie na proces leczenia, ale także będą miały wymierne efekty ekonomiczne zarówno dla pacjenta jak i producenta wyrobu. Urazy stawu kolanowego stanowią istotny problem w dzisiejszym społeczeństwie, związany m.in. z dużymi obciążeniami, którymi poddawane są stawy chociażby ze względu na aktywność sportową lub różnego rodzaju wypadki komunikacyjne. Wiele zespołów naukowych i przedsiębiorstw opracowuje rozwiązania z tego zakresu, które w sposób wydajny mają ułatwić funkcjonowanie pacjentom, jak także skrócić czas rekonwalescencji, poprzez stosowanie optymalnych rozwiązań. Jednocześnie w tych działaniach istotnie ważnym aspektem jest zapewnienie odpowiedniego komfortu pacjentowi, który bardzo często musi użytkować ortezę w dłuższym interwale czasowym. Doktorant na bazie studium literaturowego wykazał konieczność prowadzenia prac w zakresie nowych materiałów wychodzących naprzeciwko potrzebom rynkowym, chociażby ograniczeniu masy ortozy, czy jej właściwego dopasowania do sylwetki. Zawarte w części teoretycznej informacje związane z procesem projektowania ortez, biomechaniki stawu kolanowego uwypuklają światowe trendy w tym zakresie. Istotny w tym przypadku staje się zarówno proces projektowania, konstruowania oraz doboru optymalnych rozwiązań materiałowych zapewniających odpowiednie właściwości wyrobowi medycznemu, co w konsekwencji wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo pacjenta. Podjęta współpraca pomiędzy przedsiębiorstwem MDH oraz Politechniką Łódzką w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy V” umożliwiła Panu mgr inż. Jakubowi Szaremu realizację prac niezmiernie istotnych z punktu widzenia wykorzystania różnych włókienniczych struktur materiałowych

i łączeniu ich w układach kompozytowych. Równocześnie wykorzystanie metod addytywnych w wytwarzaniu spersonalizowanych wyrobów wpłynąć będzie korzystnie na ograniczenie powstających odpadów poprodukcyjnych (eliminacja odlewów, wytwarzania form itp.), co w wydajny sposób ograniczy koszt ich produkcji oraz wpisuje się w ogólne trendy dotyczące Gospodarki o Obiegu Zamkniętym. Uzyskane w ramach dysertacji doktorskiej wyniki badań wpłynąć mogą niewątpliwie na powstanie nowych procedur, wyrobów medycznych o szerokim zakresie wykorzystania, co w konsekwencji przyczyni się do rozwoju dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa.

Reasumując, moim zdaniem tematyka pracy doktorskiej jest aktualna i wpisuje się w ogólnoświatowe trendy prac naukowych i aplikacyjnych, a zdefiniowany przez Doktoranta problem badawczy, który podjął się rozwiązania jest oryginalny. Uzyskane wyniki badań będą miały bezpośredni wpływ na poszerzenie wiedzy w zakresie inżynierii materiałowej, a w szczególności wykorzystania różnych struktur włókienniczych w materiałach kompozytowych do zastosowań w produkcji wyrobów medycznych.

2. Poprawność zdefiniowania celu i hipotez badawczych

Pan mgr inż. Jakub Szary jako cel główny swojej rozprawy doktorskiej wyznaczył sobie opracowanie, wykonanie i weryfikację spersonalizowanej ortozy stawu kolanowego. Do wytworzenia ramy ortozy użyty został autorsko zaproponowany hybrydowy kompozyt oparty na połączeniu rdzenia wykonanego w technologii druku 3D z zewnętrznymi strukturami włókienniczymi. Do otrzymywania rdzenia materiału kompozytowego użyto technologii spiekania w łożu proszku PA 12 (z ang. *Powder Bed Fusion*), natomiast jako warstwy zewnętrzne w badaniach użyto materiałów włókienniczych w różnej postaci: tkanin, plecionek, haftu technicznego testując włókna węglowe, szklane oraz lniane. W wyniku przeprowadzonego studium literaturowego Doktorant w pracy postawił dwie hipotezy badawcze. Pierwsza z nich polegała na założeniu, iż w wyniku zastosowania na elementach polimerowych uzyskanych w technologii druku 3D warstw zewnętrznych w formie struktur włókienniczych impregnowanych żywicą epoksydową nastąpi poprawa właściwości mechanicznych

w porównaniu do samego elementu polimerowego. Natomiast druga z hipotez badawczych zakładała możliwość uzyskania indywidualnie dopasowanej ortezy stawu kolanowego o wymaganych właściwościach mechanicznych przy użyciu technologii przyrostowej wzmacnianej strukturami włókienniczymi. Cel główny oraz hipotezy badawcze zostały zdefiniowane prawidłowo i korelują one bezpośrednio z tematem rozprawy doktorskiej. Osiągnięcie celu głównego i udowodnienie postawionych hipotez badawczych wymagało od Doktoranta przeprowadzenia szeregu badań z wyznaczonymi celami szczegółowymi, co związane było zarówno z testowaniem różnych struktur włókienniczych, modyfikacją powierzchni rdzenia materiału kompozytowego, czy analizą adhezji warstw włókienniczych do jego powierzchni. Realizacja szeregu badań umożliwiła Panu mgr inż. Jakubowi Szaremu wytypowanie najkorzystniejszych warunków formowania ramy i przeprowadzenia procesu wytwarzania ostatecznej ortezy od etapu skanowania sylwetki poprzez cały proces technologiczny, aż do końcowego wyrobu, zweryfikowanego w teście czteropunktowego zginania. Doktorant w wyniku realizacji badań objętych pracą osiągnął zamierzony cel główny i zweryfikował postawione w pracy tezy badawcze. Pewne zastrzeżenie w mojej ocenie budzi brak szczegółowego opisu wyboru plecionki z włókna węglowego do realizacji właściwych badań, gdyż zamieszczone w pracy badania wstępne oparte były na wykorzystaniu struktur włókienniczych bazujących na włóknach szklanych. Ważnym elementem pracy byłoby także na wstępie określić warunki brzegowe (właściwości mechaniczne końcowego wyrobu), tak aby jednoznacznie określić przydatność ortezy w warunkach rzeczywistych. Niemniej jednak uzyskane wyniki badań zginania opracowanego wyrobu wykazały jego wyższe właściwości mechaniczne w porównaniu z innymi konkurencyjnymi rozwiązaniami. Tak więc należy w tym przypadku uznać, iż cel pracy został osiągnięty. Równocześnie przeprowadzone badania pozwoliły na weryfikację postawionych hipotez badawczych. W mojej opinii cel główny oraz hipotezy badawcze zostały przedstawione prawidłowo i oceniam ten aspekt pracy pozytywnie. Doktorant wykazał się w tym przypadku umiejętnościami właściwego wyznaczenia celów, zaproponowaniem odpowiedniej metodyki badawczej, analizą uzyskiwanych wyników, które były podstawą ich osiągnięcia.

3. Struktura i zakres dysertacji doktorskiej oraz prezentacja wyników badań

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska liczy 133 strony i została podzielona na dziewięć głównych rozdziałów, obejmujących wstęp, część teoretyczną i eksperymentalną, podsumowanie wraz z wnioskami oraz bibliografię. Jednocześnie w pracy doktorskiej Pan mgr inż. Jakub Szary umieścił streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz stosowanych skrótów. Założony układ prac jest typowy dla rozpraw doktorskich w dziedzinie nauk inżynierskich i technicznych.

W pierwszym rozdziale pt. „Wstęp” Doktorant przedstawił podstawę podjęcia się realizacji badań w omawianym zakresie. Jednocześnie określony został cel główny badań oraz hipotezy badawcze. Dla określonego celu głównego oraz wskazanych tez badawczych przedstawiony został zakres pracy, pokazujący z jednej strony kolejność realizacji poszczególnych badań, jak także umożliwiającą osiągnięcie zamierzonego celu i weryfikację przedstawianych hipotez badawczych. Jak już wcześniej wskazano w niniejszej opinii Doktorant podjął się badań w obszarze istotnej tematyki dotyczącej medycyny spersonalizowanej, która wpisuje się w ogólnoświatowe trendy badań naukowych i prac aplikacyjnych. Postawiony cel główny i tezy badawcze zostały sformułowane w sposób prawidłowy, a zakres pracy jest właściwy i umożliwia uzyskanie końcowego wyrobu, jakim jest indywidualna orteza stawu kolanowego. Część teoretyczną dysertacji Doktorant podzielił na sześć podrozdziałów. W pierwszej kolejności przedstawiając budowę i biomechanikę stawu kolanowego. Stanowi to element

poznawczy, który wskazuje na złożoność stawu kolanowego i jego mechanikę. Autor rozprawy przedstawił informacje na jakie obciążenia i ruchy narażony jest właśnie ten staw, co jest niezmiernie istotne przy projektowaniu „ruchomych” ortez. Odpowiednie dobrane ograniczenia na poszczególnych etapach rekonwalescencji są bowiem kluczowe dla właściwego procesu leczenia i powrotu do pełnej sprawności. W kolejnym *rozdziale 2.2* Pan mgr inż. Jakub Szary przedstawił rodzaje ortez, dzieląc je na profilaktyczne, pooperacyjne, odciążające oraz funkcjonalne. Opisując tego rodzaju wyroby wskazał bezpośrednio na ich rolę w procesie leczenia określonych schorzeń. Biorąc pod uwagę, iż niniejsza praca dotyczy ortozy funkcjonalnej Doktorant opisał zarówno jej budowę oraz określił wymagania użytkowe. W tym przypadku warto byłoby zwrócić szerszą uwagę na właściwości mechaniczne ortez, gdyż te właśnie właściwości są brane pod uwagę szczególnie w dalszych rozważaniach niniejszej pracy. W części teoretycznej przedstawione zostały także zagadnienia związane z produkcją indywidualnych – spersonalizowanych aparatów ortopedycznych stabilizujących staw kolanowy. Opisane zostały procesy zbierania pomiarów anatomicznych od pacjentów, m.in. metodą odlewu gipsu czy skanowania 3D. W chwili obecnej właśnie skanowanie 3D odgrywa największe znaczenie w zakresie pobierania wymiarów niezbędnych do projektowania ortez i ich eksportowaniu do programów projektowych typu CAD/CAM. W części teoretycznej znajdują się także informacje na temat materiałów i technologii wytwarzania kompozytów z rdzeniem drukowanym 3D. Doktorant przedstawił w tym przypadku przykłady różnych struktur przestrzennych oraz w kolejnym podrozdziale omówił rodzaje technologii przyrostowych w zastosowaniach inżynierskich i medycznych. Omówione zostały m.in. metody spiekania w łożu proszkowym, ekstruzji i natrysku materiału, fotopolimeryzacji.

W *tabeli 1* Autor przedstawił właściwości mechaniczne materiałów uzyskanych z różnych tworzyw i przy zastosowaniu różnych technologii przetwórstwa. Kolejny podrozdział został poświęcony technice formowania kompozytów z żywic duroplastycznych. Przedstawiono w nim ogólne informacje związane z zasadą formowania tego typu kompozytów oraz pojawiające się z tym procesem problemy. *Rozdział 2.4.3 „Włókna techniczne stosowane jako wzmocnienia kompozytów”* stanowi częściowy przegląd włókien wykorzystywanych jako zbrojenie kompozytów. Sam tytuł rozdziału został dość niefortunnie nazwany, gdyż nie wszystkie przedstawione w nim rodzaje włókien można wskazać jednoznacznie jako „techniczne”. Wymieniono bowiem włókna lniane i konopne czy aramidowe, które są także stosowane na cele odzieżowe. Doktorant w tym rozdziale stosuje dość nieprecyzyjne sformułowania oraz skróty myślowe przypisując chociażby ogólną charakterystykę włókien do grupy włókien technicznych np. „*Włókna te charakteryzują się wysokim stosunkiem długości do średnicy ...*”. Wśród włókien syntetycznych wymienione zostały włókna węglowe, co przy tak zaproponowanym podziale jest sformułowaniem niewłaściwym. Jednocześnie zbyt kolokwialnie opisano proces produkcji włókien węglowych „*... opiera się na procesie pirolizy polimerowych substratów organicznych, najczęściej poliakrylonitrylu (PAN), rzadziej smoły*”. Warto w tym przypadku zwrócić uwagę, iż do produkcji włókien węglowych stosowane są prekursorowe włókna poliakrylonitrylowe (PAN), czy paki węglowe. Możliwe jest także uzyskanie włókien węglowych z innych prekursorów, np. włókien wiskozowych, które są włóknami sztucznymi. Niemniej jednak największe znaczenie w przemyśle jako prekursor włókien węglowych mają włókna poliakrylonitrylowe, dzięki wysokiej wydajności procesu i uzyskiwaniu wysokich właściwości mechanicznych. W rozdziale tym Doktorant pomimo wskazania włókien konopnych jako zbrojenia kompozytu nie opisał ich w szerszym zakresie jak w przypadku innych włókien. Niestety w tej części pominięto także inne wysokosprawne włókna, które wykorzystywane są w materiałach kompozytowych. Kolejny *rozdział 2.4.4* poświęcony został strukturalnym włókienniczym stosowanym jako wzmocnienia kompozytów. Pan mgr inż. Jakub Szary przedstawił w tym kontekście informacje na temat plecionek, tkanin,

dzianin oraz haftu technicznego. Pominęto w tym rozdziale włókniny, które są dość powszechnie stosowanym materiałem włókienniczym w różnego rodzaju kompozytach o wysokich właściwościach mechanicznych, jak także wysokiej „poręczności” z punktu widzenia formowania kompozytów warstwowych. Ostatni rozdział części teoretycznej stanowi przedstawienie informacji w zakresie oceny zgodności wyrobu medycznego z wymaganiami Unii Europejskiej. Rozdział ten stanowi uzupełnienie informacji o złożoności całego procesu projektowania i otrzymywania wyrobu medycznego przed jego wprowadzeniem na rynek.

Doktorant część eksperymentalną dysertacji rozpoczyna od przedstawienia badań wstępnych dotyczących kompozytów warstwowych. Podstawowy element warstwowego materiału kompozytowego stanowi poliamidowy rdzeń uzyskany metodą druku 3D, który został wzmocniony różnymi materiałami włókienniczymi. W tej części pracy Pan mgr inż. Jakub Szary przedstawił zarówno materiały i metody badawcze, które zostały użyte w pracach eksperymentalnych oraz analizie właściwości. Scharakteryzowane zostały właściwości mechaniczne zarówno w teście zginania, jak także rozciągania. Przeprowadzone badania wykazały, iż w zależności od zastosowanej formy materiału włókienniczego możliwe jest uzyskanie różnych parametrów mechanicznych, przy czym istotne jest, iż ich poziom jest wyższy w porównaniu do właściwości samego rdzenia wykonanego w technologii druku 3D. W kolejnym rozdziale przeprowadzona została analiza wpływu przygotowania powierzchni drukowanego rdzenia na adhezję połączeń klejonych w próbie ścinania. Doktorant w tym przypadku wykorzystał trzy rodzaje obróbki powierzchni, a mianowicie piaskowanie, obróbkę wibrościerną oraz wygładzanie chemiczne. Dodatkowo w przypadku obróbki powierzchni poprzez piaskowanie stosowano wariant z dodaniem do żywicy proszku poliamidowego stosowanego w procesie druku. Dla wszystkich wariantów dokonano oceny makroskopowej oraz wyznaczono parametry chropowatości, kąta zwilżania, swobodnej energii powierzchniowej oraz dokonano testu ścinania. Przeprowadzone badania wykazały, iż na właściwości połączenia warstw istotny wpływ ma sposób przygotowania powierzchni próbek polimerowych (PA 12), a najlepsze połączenie uzyskiwano w przypadku zastosowania piaskowania wraz z dodatkiem proszku poliamidowego do żywicy. W rozdziale 5 zamieszczone zostały wyniki badań dotyczące wytwarzania kompozytu wielowarstwowego. Dokonana została analiza pojedynczych warstw bazujących na hafcie technicznym i pleciance. Badania w tym przypadku wykonano stosując różną orientację struktury włókienniczej w przedziale 0° do 90° . Wyliczony został objętościowy udział włókien oraz przeprowadzono badania przy użyciu tomografii komputerowej. Z przeprowadzonych badań wynika, iż najlepsze właściwości mechaniczne uzyskiwane były w przypadku ułożenia 0° . W podsumowaniu tego rozdziału Doktorant dokonuje porównania właściwości kompozytu wielowarstwowego z obecnie stosowanymi materiałami w produkcji ortez. Uzyskane wyniki świadczą o dużym potencjale tego rozwiązania i przeprowadzenia części wdrożeniowej bazującej na zaproponowanym układzie. Pewnym zastrzeżeniem do tej części pracy jest brak szczegółowego uzasadnienia stosowania materiału węglowego, bowiem przedstawione wyniki badań wstępnych oparte były jedynie na włóknach szklanych. Jednocześnie nie dokonano oceny wpływu materiału „podkładowego” w przypadku stosowania haftu technicznego na adhezję pomiędzy warstwami. Ważnym z punktu widzenia przyszłościowych prac wdrożeniowych jest możliwość przewidywania właściwości finalnych rozwiązań materiałowych, dlatego też przeprowadzone w ramach rozdziału 6 prace związane z modelowaniem matematycznym stanowią istotny element poznawczy. Doktorant wykorzystał dwa modele matematyczne, które skonfrontował z danymi eksperymentalnymi, co pozwoliło na opracowanie metodyki o potencjalnym wykorzystaniu w procesie początkowego projektowania wyrobów kompozytowych. Jednym z najważniejszych rozdziałów pracy ze względu na cel programu „Doktorat wdrożeniowy V” stanowi rozdział 7, który dotyczy uzyskania prototypu indywidualnie dopasowanej ortozy stawu kolanowego. W tym fragmencie

pracy Pan mgr inż. Jakub Szary przedstawił proces otrzymywania spersonalizowanego wyrobu medycznego, począwszy od skanowania 3D kończyny pacjenta poprzez kolejne etapy projektowania, produkcji elementów składowych i ramy ortezy, a kończąc na uzyskaniu gotowego wyrobu. Przeprowadzony proces wykazał możliwości uzyskania funkcjonalnej spersonalizowanej ortezy stawu kolanowego o odpowiednich właściwościach mechanicznych i opłacalności ekonomicznej. Końcowy rozdział pracy stanowi podsumowanie oraz wnioski. Na podstawie przeprowadzonych serii badawczych i zastosowanej metodyki badawczej Doktorant wysunął pięć wniosków końcowych dotyczących części badawczej oraz dwa wnioski związane z częścią wdrożeniową, które świadczą o osiągnięciu celu głównego i udowodnieniu postawionych hipotez badawczych.

Oceniając przedstawiony zakres rozprawy doktorskiej oraz prezentacje wyników badań należy stwierdzić, iż podział na zasadnicze części pracy został przygotowany prawidłowo. W całej pracy można znaleźć błędy redaktorskie, kolokwialne sformułowania np. „smoła”, „mikstur”, „zakotwieniu żywicy” oraz inne skróty myślowe. Natomiast pod względem formy prezentacji uzyskanych wyników badań należy uznać, że praca została przygotowana w sposób właściwy.

Reasumując, poza wskazanymi powyżej uwagami przygotowana przez Pana mgr inż. Jakuba Szarego dysertacja doktorska posiada poprawny układ, a przedstawione wyniki dają możliwość właściwej interpretacji wyników. Doktorant wykazał się umiejętnością właściwego przygotowania programu badań, którego realizacja pozwoliła na osiągnięcie celu głównego pracy oraz weryfikację hipotez badawczych. Świadczy to, iż Pan mgr inż. Jakub Szary posiada odpowiednią wiedzę teoretyczną oraz umiejętność prowadzenia prac badawczych i właściwej interpretacji wyników badań.

4. Uwagi i spostrzeżenia do rozprawy doktorskiej

Pan mgr inż. Jakub Szary w przygotowanej rozprawie doktorskiej poza wskazanymi we wcześniejszej części recenzji uwagami nie ustrzegł się pewnych błędów natury merytorycznej i/lub niedopowiedzeń bądź skrótów myślowych, które wymagają wyjaśnienia na dalszych etapach przewodu doktorskiego. Poniżej przedstawiona została lista uwag i spostrzeżeń do niniejszej pracy:

- ✓ *strona 34* Doktorant stwierdza „*Najczęściej spotykanymi włóknami w kompozytach są włókna syntetyczne, tj. włókna węglowe*” jest to błędne stwierdzenie. Proszę o wyjaśnienie podstaw tego stwierdzenia;
- ✓ *na stronie 34 rozdział 2.4.3* i w dalszej części rozdziału Doktorant włókna lnu zalicza do włókien technicznych, proszę o wyjaśnienie tej klasyfikacji;
- ✓ *strona 37 w rozdziale 2.4.4* przy omówieniu struktur włókienniczych stosowanych jako wzmocnienia pominięto grupę materiałów włókninowych. Proszę o wyjaśnienie, dlaczego nie uwzględniono włóknin, które znajdują szerokie zastosowanie w wytwarzaniu materiałów kompozytowych;
- ✓ *strona 67 tabela 8* przedstawiono wyniki dla próbki z żywicą, do której dodano 20% „proszku” PA12, Czy określono rozmiar ziaren? Jaki wpływ może mieć wielkość ziaren modyfikatora na efekt połączenia warstw w kompozycie? Czy przeprowadzono proces homogenizacji, jeżeli tak to w jakich warunkach?
- ✓ *stronie 67* Doktorant stwierdza: „... ze względu na chropowaty i porowaty charakter powierzchni ...”, w pracy nie przedstawiono badań porowatości materiału, a użyte stwierdzenie „*porowaty charakter powierzchni*” jest niewłaściwe,
- ✓ *strona 68* Autor na podstawie danych w tabeli stwierdza w podsumowaniu, iż uzyskane powierzchnie odznaczają się „*wysoką zwilżalnością*”, proszę o wyjaśnienie tego stwierdzenia w odniesieniu do danych zawartych w *tabeli 8*;

- ✓ na stronie 71 opisany został sposób przygotowania wzmocnienia przy użyciu haftu na podkładce poliestrowej. Proszę o wyjaśnienie wpływu podkładki poliestrowej na adhezję do innych warstw kompozytu;
- ✓ strona 113 tabela 18 podano wariant O4, brak jednak charakterystyki tego wariantu;
- ✓ strona 119 Doktorant stwierdza „Haft techniczny pozwala precyzyjnie kształtować włókna ...” proszę o wyjaśnienie tego stwierdzenia;

Wskazane powyżej uwagi i zastrzeżenia nie umniejszają wartości poznawczej niniejszej rozprawy doktorskiej. Na podstawie przeprowadzonej analizy treści merytorycznych dysertacji Pana mgr inż. Jakuba Szarego stwierdzam, że Doktorant na podstawie przeprowadzonego przeglądu literaturowego właściwie przedstawił problem badawczy i dobrał metodykę badawczą służącą opracowaniu i wdrożeniu nowego rozwiązania z zakresu spersonalizowanych ortez stawu kolanowego. Wykazał w ten sposób umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz posiadania niezbędnej wiedzy teoretycznej z zakresu inżynierii materiałowej.

5. Wniosek końcowy

Dysertacja doktorska mgr inż. Jakuba Szarego stanowi oryginalną pracę naukową, realizowaną w ramach Programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Doktorat wdrożeniowy V”. Wyniki jej realizacji umożliwią podjęcie dalszych prac nad uzyskaniem gotowych wyrobów medycznych stosowanych jako spersonalizowane ortozy stawu kolanowego. Przedstawione w recenzji uwagi i spostrzeżenia nie umniejszają jej walorów poznawczych, a stanowią wskazówki dla dalszego rozwoju naukowego Doktoranta.

Podsumowując stwierdzam, iż przedstawiona do oceny rozprawa doktorska spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z art. 187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U.2018 poz. 1668 z późn. zm.) w dyscyplinie naukowej inżynieria materiałowa i w związku z czym wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Jakuba Szarego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



