

Bydgoszcz, 26.11.2024 r.

Dr hab. inż. Krzysztof Moraczewski, prof. UKW
Wydział Inżynierii Materiałowej
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
ul. Chodkiewicza 30
85-065 Bydgoszcz

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

pt. „Ocena wpływu oddziaływania czynników środowiskowych na strukturę i właściwości mechaniczne elementów z tworzyw polimerowych wytwarzanych technikami przyrostowymi”

Autor rozprawy: mgr inż. Marcin Piotr Głowacki

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Adam Mazurkiewicz, prof. PBŚ

Promotor pomocniczy: dr inż. Katarzyna Skórczewska

Dziedzina: Nauki inżynieryjno – techniczne

Dyscyplina: Inżynieria mechaniczna

Podstawy opracowania recenzji:

- Uchwała Rady Naukowej Dyscypliny inżynieria mechaniczna Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich nr 7/10/2024/2025 z dnia 22 października 2024 r. wraz z pismem 2/RNCS.520.15.2024 z dnia 30 października 2024 r. od Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny inżynieria mechaniczna dr hab. inż. Łukasza Muślewskiego, prof. PBŚ o wyznaczeniu na Recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora.
- Rozprawa w formie zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna pt. „Ocena wpływu oddziaływania czynników środowiskowych na strukturę i właściwości mechaniczne elementów z tworzyw polimerowych wytwarzanych technikami przyrostowymi”

Informuję, że tematyka recenzowanej rozprawy jest zgodna z obszarem moich zainteresowań naukowych. Oświadczam jednocześnie, że nie prowadziłem i nie prowadzę z Doktorantem żadnych wspólnych badań naukowych oraz że nie jesteśmy wspólnie autorami jakiegokolwiek publikacji naukowej.

1. WSTĘP

Druk 3D, znany również jako technologia addytywna lub przyrostowa, stanowi jedno z najbardziej innowacyjnych osiągnięć współczesnej inżynierii i przemysłu. W ciągu ostatnich dwóch dekad dynamicznie zyskał na znaczeniu, otwierając nowe możliwości w prototypowaniu, produkcji oraz personalizacji produktów. Szczególną uwagę w tym obszarze przyciągają materiały polimerowe, które dzięki swojej wszechstronności, niskim kosztom oraz właściwościom mechanicznym stały się fundamentem wielu technologii druku 3D.

Polimery stosowane w technologiach addytywnych obejmują szeroką gamę materiałów od termoplastów, takich jak PLA i ABS, po zaawansowane tworzywa, takie jak PEEK czy elastomery termoplastyczne. Ich różnorodność pozwala na dostosowanie właściwości końcowego produktu do specyficznych potrzeb, od wytrzymałości mechanicznej, przez odporność chemiczną, aż po elastyczność.

Druk 3D, jako nowoczesna technologia wytwarzania, znajduje coraz szersze zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Druk przestrzenny wykorzystywany jest np. w architekturze, budownictwie, modelarstwie, elektronice, nauce, przemyśle motoryzacyjnym, kosmicznym i obronnym, a także w medycynie. Elementy formowane tą metodą cechują się dużą elastycznością projektową, oszczędnością materiału oraz możliwością wytwarzania złożonych kształtów w krótkim czasie. Jednak ich właściwości mechaniczne, trwałość i funkcjonalność w dużym stopniu zależą od czynników środowiskowych, na które są narażone w czasie użytkowania. Wydrukowane elementy narażone na szkodliwe czynniki, które mogą skutkować przyspieszoną degradacją, co wiąże się z ograniczoną trwałością. Dlatego istotne jest podejmowanie prac badawczych mających na celu analizę wpływu szkodliwych warunków na zmienność właściwości w trakcie użytkowania.

Biorąc pod uwagę powyższe, przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska autorstwa Pana mgr inż. Marcina Piotra Głowackiego w pełni wpisuje się w aktualne kierunki badań naukowych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz aktualne potrzeby przemysłu przetwórstwa tworzyw polimerowych.

2. OCENA FORMALNA

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest poprawna pod względem formalnym. Jest to praca o charakterze analityczno – eksperymentalnym o typowym dla tego typu prac układzie, a jej podstawę stanowi zbiór artykułów naukowych. Recenzowana rozprawa składa się z pięciu opublikowanych artykułów naukowych, które poprzedzone są częścią opisową,

w której Doktorant przedstawił m.in. wstęp do tematyki rozprawy doktorskiej, hipotezę i cele badawcze, spis artykułów naukowych stanowiących podstawę do nadania stopnia doktora, uzasadnienie spójności tematycznej cyklu publikacji naukowych, metodykę badawczą oraz wyniki badań składających się na rozprawę doktorską oraz podsumowanie.

Wszystkie przedstawione do oceny osiągnięcia naukowe, które stanowią zbiór powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zostały opublikowane w zagranicznych czasopismach naukowych o dużej wartości naukowej:

- [P1] Marcin Głowacki, Mazurkiewicz Adam, Słomion Małgorzata, Skórczewska Katarzyna, Resistance of 3D-Printed Components, Test Specimens and Products to Work under Environmental Conditions-Review, *Materials* 2022, 15, 6162.
- [P2] Marcin Głowacki, Katarzyna Skórczewska, Krzysztof Lewandowski, Piotr Szewczykowski, Adam Mazurkiewicz, Effect of Shock-Variable Environmental Temperature and Humidity Conditions on 3D-Printed Polymers for Tensile Properties, *Polymers* 2023, 16, 1.
- [P3] Marcin Głowacki, Adam Mazurkiewicz, Katarzyna Skórczewska, Krzysztof Lewandowski, Emil Smyk, Ricardo Branco, Effect of Thermal Shock Conditions on the Low-Cycle Fatigue Performance of 3D-Printed Materials: Acrylonitrile Butadiene Styrene, Acrylonitrile-Styrene-Acrylate, High-Impact Polystyrene, and Poly(lactic acid), *Polymers* 2024, 16, 1823.
- [P5] Marcin Głowacki, Katarzyna Skórczewska, Krzysztof Lewandowski, Adam Mazurkiewicz, Piotr Szewczykowski, Evaluation of the Effect of Mineral Oil Exposure on Changes in the Structure and Mechanical Properties of Polymer Parts Produced by Additive Manufacturing Techniques, *Materials* 2022, 15, 6162.
- [P5] Marcin Głowacki, Adam Mazurkiewicz, Katarzyna Skórczewska, José Miguel Martínez Valle, Emil Smyk, Change in the Low-Cycle Performance on the 3D-Printed Materials ABS, ASA, HIPS, and PLA Exposed to Mineral Oil, *Polymers* 2024, 16, 1120.

Ostatnią część rozprawy doktorskiej stanowi prezentacja aktywności naukowej Doktoranta zawierająca wykaz publikacji naukowych, rozdziałów w monografiach naukowych oraz patentów i zgłoszeń patentowych. Do rozprawy doktorskiej załączono również kopie artykułów naukowych stanowiących podstawę dysertacji i oświadczenia współautorów.

Praca jest napisana poprawnym językiem naukowym, choć czasami zdarzają się pewne drobne niedoskonałości, nieprecyzyjne określenia oraz literówki. Stosowane pojęcia

oraz terminologia nie budzą zastrzeżeń i są zgodne z terminologią stosowaną w inżynierii mechanicznej. Zamieszczone w tekście rysunki oraz tabele poprawnie prezentują dokonania i osiągnięcia Doktoranta. Doktorant nie ustrzegł się jednak pewnych błędów redakcyjnych w części rozprawy doktorskiej prezentującej wyniki badań składających się na rozprawę doktorską m.in.:

- Wykres na rysunku 6 nie przedstawia krzywych naprężenie – odkształcenia dla materiału ABS. Doktorant omyłkowo przedstawił wykres dotyczący PLA, stąd wartości wyników statycznych testów właściwości mechanicznych przy rozciąganiu dla materiału ABS zamieszczone w tabeli 7 nie odpowiadają przedstawionemu wykresowi.
- W tytułach tabel 8, 9 oraz 10 doktorant błędnie wskazuje, którego materiału dotyczy dana tabela. We wszystkich wskazuje na ABS, a w rzeczywistości tabele dotyczą odpowiednio materiałów ASA, PLA oraz HIPS.
- Podpisy rysunków 15 – 18 nie zgadzają się z załączonym tekstem opisującym uzyskane zmiany. Doktorant prawdopodobnie wykorzystał tekst z poszczególnych publikacji nie dostosowując jednak jego treści do zmienionej kolejności obrazów SEM.

Wskazane błędy nie wpływają jednak na ogólny, bardzo pozytywny, odbiór przygotowanego opisu wyników badań, a uzupełnienie ewentualnych braków i poprawne informacje znajdują się w załączonych publikacjach naukowych, które stanowią podstawę oceny rozprawy doktorskiej.

3. OCENA MERYTORYCZNA

3.1. Hipoteza oraz cele badawcze

Stawiana przez Doktoranta hipoteza badawcza brzmi:

„Warunki środowiskowe, takie jak podwyższona i ujemna temperatura, wilgotność, olej mineralny wpływają na zmiany właściwości mechanicznych elementów z tworzyw polimerowych wytwarzanych metodą druku 3D”

W ramach weryfikacji hipotezy badawczej Doktorant sformułował trzy główne cele naukowe rozprawy doktorskiej:

1. Ocena zmian właściwości mechanicznych pod wpływem oddziaływań środowiskowych obejmujących cykle szokowe, gdzie poddano ocenie podatność materiału na zmiany temperatury oraz wilgotności.
2. Ocena zmian właściwości mechanicznych po ekspozycji na olej mineralny w temperaturze pokojowej oraz podwyższonej.

3. Charakterystyka zmian w strukturze materiału zachodzącym pod wpływem tych środowisk.

Postawiona hipoteza jest zasadna i poprawnie sformułowana. Jej brzmienie odpowiada ustaleniom dokonany w ramach przeglądu literatury i aktualnego stanu techniki z obszaru przetwórstwa tworzyw polimerowych technikami przyrostowymi i wpływu oddziaływania czynników środowiskowych na strukturę i właściwości mechaniczne wytworów polimerowych otrzymanych tymi metodami. Również postawione cele badawcze nakreślone są poprawnie i odpowiadają pracom badawczym przeprowadzonym w rozprawie doktorskiej. Dobrany przez Doktoranta zakres prac wraz ze zastosowaną metodyką jest wystarczający do realizacji założonych celów naukowych.

3.2. Artykuły stanowiące jednotematyczny cykl publikacji

Tematyka ocenianego cyklu publikacji naukowych dotyczy badań związanych z oceną wpływu oddziaływania czynników środowiskowych na strukturę i właściwości mechaniczne elementów z tworzyw polimerowych wytwarzanych technikami przyrostowymi. Rezultaty prac badawczych przedstawione zostały w pięciu artykułach opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych:

- Marcin Głowacki, Mazurkiewicz Adam, Słomion Małgorzata, Skórczewska Katarzyna, Resistance of 3D-Printed Components, Test Specimens and Products to Work under Environmental Conditions-Review, Materials 2022, 15, 6162.

W publikacji Doktorant przedstawił aktualny przegląd informacji dotyczących wpływu różnych czynników środowiskowych na właściwości mechaniczne i inne wytwarzanych w technologii druku 3D elementów z materiałów termoplastycznych. Celem przeglądu było przedstawienie aktualnych informacji i zestawienie wyników badań nad wpływem interakcji różnych typów środowisk na właściwości mechaniczne wyrobów termoplastycznych wytwarzanych w technologii 3D. Przedstawiono zmiany w strukturze i właściwościach mechanicznych materiału pod wpływem takich czynników jak: wilgotność, sól, temperatura, promienie UV, benzyna i środowisko ludzkiego ciała. Prezentowany artykuł gromadzi w jednym miejscu informacje dotyczące wpływu warunków środowiskowych na typowe materiały stosowane w technologii druku 3D.

- Marcin Głowacki, Katarzyna Skórczewska, Krzysztof Lewandowski, Piotr Szewczykowski, Adam Mazurkiewicz, Effect of Shock-Variable Environmental

Temperature and Humidity Conditions on 3D-Printed Polymers for Tensile Properties, *Polymers* 2023, 16, 1.

W artykule przedstawiono wyniki badań nad wpływem nagłej zmiany warunków temperaturowych próbek z ABS, ASA, PLA i HIPS poddanych wcześniej kondycjonowaniu w wodzie. Doktorant odzwierciedlił w ten sposób szokowe warunki atmosferyczne występujące podczas zamrażania i rozmrażania, na właściwości próbek wytworzonych przy użyciu technologii druku 3D zastosowanych materiałów polimerowych.

- Marcin Głowacki, Adam Mazurkiewicz, Katarzyna Skórczewska, Krzysztof Lewandowski, Emil Smyk, Ricardo Branco, Effect of Thermal Shock Conditions on the Low-Cycle Fatigue Performance of 3D-Printed Materials: Acrylonitrile Butadiene Styrene, Acrylonitrile-Styrene-Acrylate, High-Impact Polystyrene, and Poly(lactic acid), *Polymers* 2024, 16, 1823.

W artykule Doktorant ocenił wpływ wysokiej wilgotności oraz zmian temperatury na trwałość i wytrzymałość części drukowanych w technologii 3D. Próbkę wykonaną z ABS, ASA, PLA i HIPS poddano cyklicznym zmianom temperatury, najpierw próbki ochładzano do temperatury -20°C , a następnie ogrzewano do 70°C . Po obróbce cieplnej próbki poddano obciążeniu cyklicznemu w celu określenia zmian ich trwałości zmęczeniowej w porównaniu z nieobrobionymi cieplnie próbkami odniesienia.

- Marcin Głowacki, Katarzyna Skórczewska, Krzysztof Lewandowski, Adam Mazurkiewicz, Piotr Szewczykowski, Evaluation of the Effect of Mineral Oil Exposure on Changes in the Structure and Mechanical Properties of Polymer Parts Produced by Additive Manufacturing Techniques, *Materials* 2022, 15, 6162.

W artykule Doktorant opisał przebieg zmian w strukturze i właściwościach mechanicznych kształtek drukowanych metodą 3D pod wpływem oleju mineralnego. Doktorant określił wpływ temperatury pokojowej (23°C) i temperatury podwyższonej (70°C) na wydruki 3D z ABS, ASA, PLA i HIPS wykonane metodą FDM i przechowywane w oleju przez 15, 30 lub 60 dni.

- Marcin Głowacki, Adam Mazurkiewicz, Katarzyna Skórczewska, José Miguel Martínez Valle, Emil Smyk, Change in the Low-Cycle Performance on the 3D-Printed Materials ABS, ASA, HIPS, and PLA Exposed to Mineral Oil, *Polymers* 2024, 16, 1120.

W artykule Doktorant opisał wpływ silnikowego oleju mineralnego na trwałość zmęczeniową próbek polimerowych wytworzonych metodą druku 3D. Próbkę wykonaną z ABS, ASA, PLA i HIPS były przechowywane przez 15, 30 i 60 dni

w kąpeli olejowej w temperaturze 23°C lub temperaturze podwyższonej 70 °C. Aby porównać wpływ przechowywania w oleju, Doktorant przeprowadził testy statyczne, w celu określenia wytrzymałości na rozciąganie, a także określić poziomy obciążen dla testów cyklicznych. Doktorant przeprowadził testy cykliczne, aby wyznaczyć wpływ oleju i temperatury na trwałość zmęczeniową wydrukowanych elementów.

Wykazane do oceny artykuły naukowe są spójne tematycznie, spełniają zatem warunek stawiany osiągnięciu naukowemu, który ma być podstawą nadania stopnia doktora. O powiązaniu tematycznym ocenianych artykułów świadczy przede wszystkim logicznie zaplanowany ciąg badań naukowych, który prowadzi do odpowiedzi na rozwiązywany problem. Zaplanowane prace badawcze przedstawione w kolejnych publikacjach, konsekwentnie zmierzają do realizacji założonych celów rozprawy doktorskiej. Zaprezentowany cykl publikacji został poświęcony badaniom nad wpływem oddziaływania czynników środowiskowych na druki 3D z ABS, ASA, PLA oraz HIPS. Badania obejmowały ekspozycję materiału na zmienne warunki środowiskowe tj. szokową zmianę temperatury lub jednoczesną obecność wody oraz wpływu oleju mineralnego w temperaturze 23°C i podwyższonej 70°C. Materiały poddawane badaniom są wspólne dla wszystkich ocenianych publikacji, co daje kompleksowy obraz wpływu wszystkich zastosowanych warunków na wybrane materiały polimerowe.

We wszystkich artykułach wykazanych do oceny Doktorant był pierwszym i głównym autorem, a jego udział w przygotowaniu i powstaniu każdego z artykułów był przeważający. Udział Doktoranta w przygotowaniu ocenianych artykułów polegał na zaplanowaniu programu badań, przeprowadzeniu większości prac eksperymentalnych, opracowaniu, analizie i wizualizacji wyników oraz ich interpretacji. Wkład Doktoranta w powstanie artykułów będących podstawą do ubiegania się o stopień doktora był zatem wiodący, a opis podejmowanych działań wskazuje na jego pierwszoplanową rolę.

W toku prowadzonych prac badawczych, których wyniki przedstawione są w powyższych artykułach Doktorant przedstawił uzasadnienie podejmowanej tematyki badawczej poparte poprawnie wykonaną analizą literatury tematu i aktualnego stanu techniki.

Zastosowana przez Doktoranta metodyka badawcza została dobrana poprawnie do zakresu przeprowadzonych prac badawczych, a dokonana przez Niego obróbka, prezentacja, analiza i interpretacja danych jest właściwa. Wyciągnięte przez Doktoranta wnioski są prawidłowe i poparte otrzymanymi wynikami. Wśród zaproponowanych metod badawczych brakuje jednak istotnej pod względem badanych zjawisk techniki badawczej jaką jest różnicowa kalorymetria skaningowa (DSC). Włączenie DSC do zastosowanej metodyki

badawczej umożliwiłoby lepsze poznanie zmian zachodzących podczas oddziaływania czynników środowiskowych wykorzystanych przez Doktoranta. Potwierdzeniem przydatności tej metody badawczej może być m.in. przytoczone przez Doktoranta w publikacji P2 wyjaśnienie przyczyny występowania obserwowanych zmian w wytrzymałości przy statycznym rozciąganiu. Doktorant pisze (tłumaczenie z języka angielskiego): „Zaobserwowano niewielki wzrost wytrzymałości na rozciąganie, przy jednoczesnym zmniejszeniu odkształcenia przy zerwaniu. Chociaż nie zaobserwowano żadnych zmian w module sprężystości, może to wskazywać na zmianę struktury krystalicznej materiału. Zwiększona temperatura zastosowana w przypadku PLA może powodować zwiększeniu ilości fazy krystalicznej, co wpływa na wzrost wartości właściwości mechanicznych.” Stwierdzenie to mogłoby zostać poparte wynikami pomiaru stopnia krystaliczności PLA wykonanymi za pomocą DSC, co jednoznacznie wyjaśniłoby przyczyny obserwowanych zmian.

W toku prac badawczych Doktorant wykazał, że zastosowane warunki środowiskowe o zmiennej charakterystyce mogą synergicznie wpływać na zmiany strukturę fizyczną i chemiczną materiału, w zależności od jego rodzaju. Ponadto obecność wody może powodować jej migrację do wewnątrz przez przerwy międzywarstwowe w pomiędzy pasmami filamentu. Prowadzi do późniejszego zamrożenia wody i zmiany jej objętości, powodując w ten sposób uszkodzenie połączenia międzyfazowego warstw filamentu i osłabiając tym samym strukturę wydruku. Po obróbce cieplnej próbki poddano dodatkowo obciążeniu cyklicznemu w celu określenia zmian w ich trwałości zmęczeniowej w stosunku do próbek referencyjnych nieobrobionych cieplnie. Wyniki testów cyklicznych wykazały zmniejszenie trwałości próbek wykonanych z ASA i HIPS. Materiał ABS okazał się odporny na wpływ zmiennych warunków środowiskowych, podczas gdy materiał PLA wykazał niewielki wzrost wytrzymałości. Biorąc pod uwagę szeroki zakres zmian obserwowanych dla różnych materiałów Doktorant poprawnie zauważył, że obserwowane zjawiska są wynikiem wzajemnej zależności między porowatością, absorpcją wody i obciążeniem zmęczeniowym. Na podstawie wyników przeprowadzonych testów Doktorant słusznie stwierdza, że to ABS jest najbardziej odpowiednim materiałem dla elementów, które będą pracować w środowisku o zwiększonej wilgotności i dużych zmianach temperatury.

Przeprowadzone przez Doktoranta prace badawcze dostarczyły również ważnych informacji o wpływie oleju mineralnego na zastosowane w rozprawie doktorskiej materiały. Doktorant wykazał, że ponownie to ABS jest najbardziej odpowiednim spośród badanych materiałów do pracy w środowisku oleju mineralnego. Polimer ten był najmniej wrażliwy na środowisko oleju mineralnego. Właściwości mechaniczne ABS w warunkach oleju

mineralnego były najbardziej stabilne i nie zmieniały się znacząco nawet po kondycjonowaniu w podwyższonych temperaturach. Ponad to zmiany w strukturze ABS były znacznie mniejsze niż zmiany obserwowane w przypadku innych materiałach polimerowych. Przeprowadzone przez Doktoranta prace badawcze wykazały, że dla pozostałych badanych tworzyw polimerowych stabilność parametrów mechanicznych nie była tak dobra. Ogólnym trendem był spadek udarności w wyniku oddziaływania czynnika zewnętrznego, co w konsekwencji może zwiększyć podatność wydrukowanych elementów na uszkodzenia i pęknięcia podczas obróbki i użytkowania.

Do wskazanych przez Doktoranta najważniejszych osiągnięć naukowych rozprawy doktorskiej należą:

- Określenie optymalnych parametrów wydruków.
- Zaprojektowanie własnej metodyki badań.
- Ocenę zmian właściwości mechanicznych wydruków z wybranych tworzyw sztucznych pod wpływem czynników występujących w środowisku ich pracy, takich jak: wilgoć, podwyższona oraz obniżona temperatura czy olej mineralny.
- Określenie zmian w strukturze wydruków zachodzących pod wpływem tych czynników.
- Wyznaczenie krzywych zmęczeniowych materiałów poddanych działaniu czynników środowiskowych.
- Określenie zmian chemicznych materiałów zachodzących pod wpływem czynników środowiskowych.
- Wykorzystanie do badań szeregu różnych metod, w tym: testy mechaniczne, metody obrazowe pokazujące zmiany w strukturze próbek, metody oceny zmian w składzie chemicznym oraz stabilności termicznej materiału.

Wymienione najważniejsze osiągnięcia naukowe rozprawy doktorskiej są w większości poprawnie sformułowane i zgodne z rezultatami przedstawionymi w ocenianych artykułach naukowych. Prezentowane wyniki i wnioski przeprowadzonych prac badawczych umożliwiają stwierdzenie, że postawiona hipoteza badawcza została potwierdzona.

Wątpliwości budzi jedynie wskazane przez Doktoranta osiągnięcie związane z określeniem optymalnych parametrów wydruków. Działania te zgodnie z deklaracją Doktoranta zostały przeprowadzone w badaniach wstępnych. Badania wstępne obejmowały wykonanie statycznej próby rozciągania oraz próby udarności, na podstawie których dokonano wyboru optymalnych parametrów wydruku wszystkich tworzyw. Niestety w ocenianej rozprawie oraz

w załączonych publikacjach nie przedstawiono bardziej szczegółowych wyników tych badań. Brak tych informacji uniemożliwia zatem ocenę tego osiągnięcia. Osiągnięcie to stanowi jednak jedynie niewielką część nowości naukowej będącej rezultatem rozprawy doktorskiej i nie stanowi najważniejszego aspektu naukowego rozprawy. Brak opisu tego osiągnięcia nie obniża zatem wysokiej wartości merytorycznej recenzowanej pracy.

W toku oceny rozprawy doktorskiej nasuwa się jednak kilka wątpliwości/uwag/pytań dotyczących merytorycznego aspektu pracy:

1. Czemu w metodyce badawczej nie uwzględniono badań różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC)?
2. Co może być przyczyną stopienia ze sobą poszczególnych warstw filamentu będącego przyczyną oddziaływania zastosowanych czynników zewnętrznych?
3. Doktorant w pkt. 7.6. podaje, że w celu stwierdzenia możliwości zajścia zmian w strukturze chemicznej materiału kształtek pod wpływem czynników środowiskowych w opracowanych testach, przeprowadzono badania metodą analizy termogravimetrycznej TG oraz metodą spektroskopii w podczerwieni FTIR. Czy metoda TG jest odpowiednią metodą badawczą do analizy zmian w strukturze chemicznej?

Wskazane wątpliwości i uwagi nie wpływają jednak na ostateczną – wysoką – ocenę recenzowanej rozprawy doktorskiej i stanowią raczej podstawę do dalszej dyskusji i wskazanie Doktorantowi dalszych kierunków prac badawczych.

3.3. Podsumowanie oceny merytorycznej

Podsumowując ocenę merytoryczną osiągnięcia będącego podstawą recenzowanej rozprawy doktorskiej można stwierdzić, że prowadzone przez Doktoranta prace badawcze mają bez wątpienia nowatorski i innowacyjny charakter, a uzyskana wiedza stanowi duży wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna. Uzyskane wyniki mają duże znaczenie naukowe, stanowiąc istotne uzupełnienie wiedzy w obszarze użytkowania elementów z tworzyw polimerowych otrzymywanych metodami przyrostowymi. Przeprowadzone przez Doktoranta prace badawcze dostarczyły szereg istotnych informacji zarówno z naukowego jak i praktycznego punktu widzenia na temat wpływu oddziaływania czynników środowiskowych na elementy wykonane metodą druku 3D. Uzyskana wiedza rozszerza informacje o wpływie zastosowanych czynników zewnętrznych na wybrane właściwości ostatecznych produktów. Wiedza ta może być wykorzystana w procesach planowania potencjalnych zastosowań elementów wytworzonych metodami przyrostowymi.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Zakres recenzowanej rozprawy doktorskiej kwalifikuje ją do dziedziny nauk inżynieryjno – technicznych oraz dyscypliny inżynieria mechaniczna. Praca doktorska Pana mgr inż. Marcina Głowackiego odznacza się wysokim poziomem naukowym i analitycznym, wnosząc cenny wkład do dyscypliny. Oceniane praca stanowi wartościowe pod względem merytorycznym, poznawczym i aplikacyjnym osiągnięcie naukowe. Prezentowany przez Doktoranta poziom merytoryczny, bogaty warsztat badawczy, umiejętność rozpoznawania problemów naukowych oraz biegłość w ich rozwiązywaniu świadczą o jego dojrzałości naukowej. W oparciu o przeprowadzoną ocenę pracy doktorskiej stwierdzam tym samym, że:

Rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Piotra Głowackiego pt. „Ocena wpływu oddziaływania czynników środowiskowych na strukturę i właściwości mechaniczne elementów z tworzyw polimerowych wytwarzanych technikami przyrostowymi” spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023 poz. 742 z późn. zm.) i może stanowić podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Wnoszę zatem o dopuszczenie mgr inż. Marcina Piotra Głowackiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

26.11.24 