

Dr hab. inż. Andrzej Kazberuk, prof. PB
Wydział Mechaniczny
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45C
15-351 Białystok

Białystok, 10.02.2026 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Izabeli Abramczyk

pt. „*Analiza wpływu procesu trawienia implantów wytworzonych metodą addytywną ze stopu Ti6Al4V ELI na ich wybrane właściwości fizyko-chemiczne*”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania niniejszej recenzji stanowi Uchwała Nr 4/12/2025/2026 Rady Naukowej Dyscypliny inżynieria mechaniczna Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich z dnia 9 grudnia 2025 r., podjęta na podstawie art. 190 ust. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571 z późn. zm.), w sprawie wyznaczenia recenzentów w postępowaniu o nadanie stopnia doktora mgr inż. Izabeli Abramczyk.

Zgodnie z treścią powyższej uchwały zostałem wyznaczony na recenzenta rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Izabeli Abramczyk, przygotowanej pod kierunkiem dr hab. Inż. Bogdana Ligaja.

Podstawę formalną stanowi również Zawiadomienie nr 3/NB.520.12.2025 oraz pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny inżynieria mechaniczna Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich z dnia 11 grudnia 2025 r. Pana Dr hab. Inż. Łukasza Muślewskiego, prof. PBŚ, informujące o powołaniu mnie na recenzenta oraz przekazujące rozprawę doktorską do oceny.

Postępowanie doktorskie mgr inż. Izabeli Abramczyk zostało wszczęte w dniu 17 listopada 2025 r. i prowadzone jest zgodnie z przepisami ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*.

2. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska dotyczy analizy wpływu procesu trawienia chemicznego, w tym wariantu wspomaganego falami ultradźwiękowymi, na wybrane właściwości

fizykochemiczne oraz mechaniczne elementów wykonanych ze stopu Ti6Al4V ELI wytwarzanych metodą addytywną. Tematyka pracy lokuje się na pograniczu technologii materiałowych, inżynierii powierzchni oraz inżynierii mechanicznej, przy czym zasadniczy ciężar badań położono na zagadnienia poprocesowej modyfikacji powierzchni elementów wytwarzanych metodami addytywnymi.

Praca ma charakter eksperymentalny i aplikacyjny. Jej celem jest ocena wpływu parametrów procesu trawienia (czas trwania procesu oraz zastosowanie fal ultradźwiękowych) na zmiany chropowatości, morfologii i składu chemicznego powierzchni, a także na wybrane właściwości mechaniczne badanych elementów. W pracy uwzględniono zarówno próbki normatywne, jak i elementy o uproszczonej geometrii, w pracy określone jako implanty indywidualne.

Rozprawa liczy łącznie 160 stron. Zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim, wykaz skrótów, symboli i jednostek oraz obszerną część ilustracyjną. Praca została podzielona na siedem rozdziałów. Układ rozprawy jest klasyczny i typowy dla prac o charakterze badawczym: po rozdziale wprowadzającym i przeglądzie literatury przedstawiono problem badawczy, tezę, cel i zakres badań, następnie szczegółowo opisano materiały i metody badawcze, zaprezentowano wyniki badań w trzech etapach oraz dokonano ich analizy i podsumowania.

Część literaturowa (licząca 121 pozycji oraz wykaz norm, patentów i kart materiałowych) obejmuje zagadnienia związane z technologiami addytywnymi stopów tytanu, obróbką poprocesową, w szczególności trawieniem chemicznym, oraz wpływem modyfikacji powierzchni na właściwości użytkowe materiałów. Część eksperymentalna obejmuje badania chropowatości, ubytku masy, składu chemicznego powierzchni, obserwacje mikroskopowe oraz badania właściwości mechanicznych w warunkach statycznego rozciągania i czteropunktowego zginania.

Sformułowany problem badawczy, teza oraz cele pracy są ze sobą spójne i konsekwentnie realizowane w kolejnych rozdziałach rozprawy. Autorka przyjęła trzystopniowy program badań, obejmujący badania wstępne, badania próbek normatywnych oraz badania elementów konstrukcyjnych, co nadaje pracy przejrzystą strukturę logiczną. Praca ma charakter technologiczno-inżynierski, a uzyskane wyniki odnoszą się przede wszystkim do praktycznych aspektów modyfikacji powierzchni elementów wytwarzanych metodami addytywnymi.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa ma charakter eksperymentalny i technologiczny. Autorka podjęła temat istotny z punktu widzenia współczesnych technologii wytwarzania addytywnego elementów metalowych, w szczególności w kontekście obróbki poprocesowej stopu Ti6Al4V ELI. Zakres badań jest szeroki i obejmuje zarówno zagadnienia modyfikacji powierzchni, jak i wybrane właściwości mechaniczne materiału oraz elementów konstrukcyjnych o uproszczonej geometrii implantu.

Dobór literatury należy ocenić jako obszerny, aktualny i adekwatny do zakresu pracy. Wykorzystane źródła obejmują podstawowe opracowania dotyczące technologii addytywnych, obróbki powierzchni oraz właściwości użytkowych stopów tytanu. Trzon bibliografii stanowią publikacje z czasopism o ugruntowanej pozycji, co pozwala uznać, że praca została poprawnie osadzona w aktualnym stanie wiedzy. Nieliczne pozycje o charakterze ogólnym nie wpływają istotnie na całościową ocenę tej części rozprawy.

Część dotycząca badań fizykochemicznych powierzchni została opracowana poprawnie pod względem zakresu zastosowanych metod. Autorka konsekwentnie analizuje wpływ czasu trawienia oraz zastosowania fal ultradźwiękowych na chropowatość, ubytek masy, skład chemiczny oraz morfologię powierzchni. Wyniki przedstawiono w sposób czytelny, a obserwowane trendy są spójne z ogólną wiedzą inżynierską dotyczącą intensyfikacji procesów trawienia chemicznego. Interpretacja tej części ma charakter opisowy i aplikacyjny, co odpowiada przyjętemu profilowi pracy.

Z punktu widzenia inżynierii mechanicznej istotnym elementem rozprawy są badania właściwości mechanicznych, obejmujące jednoosiową próbę statycznego rozciągania próbek normatywnych oraz badania elementów konstrukcyjnych w warunkach czteropunktowego zginania. Sam fakt włączenia badań wytrzymałościowych do pracy o charakterze technologicznym należy ocenić pozytywnie, gdyż pozwala on odnieść wyniki badań powierzchniowych do potencjalnych zastosowań konstrukcyjnych.

Jednocześnie należy zauważyć, że opis metodyki badań rozciągania jest zbyt lakoniczny w stosunku do znaczenia tych wyników dla dalszej analizy. W pracy brakuje jednoznacznej informacji o geometrii próbek, ich orientacji względem kierunku budowy w procesie addytywnym oraz dokładnego opisu procedury pomiarowej. W przypadku materiałów wytwarzanych metodami AM są to informacje kluczowe dla interpretacji wyników wytrzymałościowych i porównywalności badanych serii próbek.

Najwięcej wątpliwości budzi część rozprawy poświęcona badaniom elementów konstrukcyjnych w warunkach czteropunktowego zginania. Autorka nie przedstawiła schematu obciążenia próbek, lokalizacji punktów podparcia ani punktów przyłożenia sił, co uniemożliwia jednoznaczne określenie rozkładu momentów zginających. Dodatkowo badany element charakteryzuje się zmiennym przekrojem poprzecznym oraz obecnością otworów stanowiących koncentratory naprężeń, co wymaga szczególnie precyzyjnego podejścia do analizy wytrzymałościowej.

W pracy wprowadzono pojęcia „wytrzymałości na zginanie próbki jako całości” oraz „lokalnej wytrzymałości na zginanie w rejonie otworu”, jednak nie przedstawiono aparatu matematycznego ani wzorów umożliwiających weryfikację sposobu ich wyznaczenia. Brak wykresów przebiegu obciążenia i ugięcia ($F-f$) sprawia, że interpretacja zachowania materiału w zakresie sprężystym i plastycznym ma charakter opisowy i nie pozwala na obiektywną ocenę nośności badanych elementów.

Również interpretacja wpływu procesu trawienia chemicznego na właściwości mechaniczne wymaga ostrożności. W kilku miejscach pracy sugeruje się poprawę parametrów wytrzymałościowych w wyniku procesu ubytkowego, co z punktu widzenia

mechaniki materiałów nie znajduje jednoznacznego uzasadnienia. Obserwowane zmiany wartości R_m i $R_{p0,2}$ mogą być związane z niedokładnością wyznaczenia rzeczywistych wymiarów próbek po trawieniu, a nie z rzeczywistą zmianą właściwości materiałowych rdzenia.

Należy również zwrócić uwagę na ograniczoną informację dotyczącą liczby próbek poddanych badaniom oraz brak pełnej analizy statystycznej wyników. W wielu przypadkach prezentowane są jedynie wartości średnie i odchylenia standardowe, bez jednoznacznego wskazania liczebności próby, co ogranicza możliwość oceny istotności obserwowanych różnic.

Pomimo wskazanych ograniczeń, całość badań została przeprowadzona w sposób systematyczny i spójny z przyjętym celem pracy. Autorka wykazała się dużym nakładem pracy eksperymentalnej. Uzyskane wyniki mają charakter aplikacyjny i mogą stanowić punkt wyjścia do dalszych, pogłębionych analiz mechanicznych, zwłaszcza w zakresie jednoznacznego opisu nośności i trwałości elementów konstrukcyjnych wytwarzanych metodami addytywnymi.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

1. Opis procesu addytywnego

Opis procesu wytwarzania próbek metodą DMLS ma charakter zbyt ogólny i ogranicza się do danych technicznych urządzenia. W pracy zabrakło kluczowych parametrów procesu, takich jak prędkość skanowania, grubość warstwy czy strategia skanowania, co utrudnia pełną charakterystykę materiału badawczego oraz interpretację uzyskanych wyników mechanicznych.

2. Dokumentacja geometrii próbek i elementów konstrukcyjnych

Jakość dokumentacji rysunkowej próbek, w szczególności elementów przeznaczonych do badań wytrzymałościowych, jest niewystarczająca. Rysunki nie pozwalają na jednoznaczną identyfikację geometrii ani ocenę istotnych wymiarów, co utrudnia analizę mechaniki badanych elementów.

3. Metodyka badań wytrzymałościowych

Opis metodyki badań jednoosiowego rozciągania oraz czteropunktowego zginania jest niepełny. Brakuje jednoznacznych informacji o geometrii i orientacji próbek, schemacie obciążenia oraz kryterium zniszczenia. W konsekwencji interpretacja wyników wytrzymałościowych ma w części charakter opisowy.

4. Interpretacja wyników mechanicznych

W pracy pojawiają się sformułowania sugerujące poprawę właściwości wytrzymałościowych w wyniku procesu trawienia chemicznego. Interpretacje te wymagają większej ostrożności, gdyż proces ubytkowy nie może prowadzić do wzrostu właściwości rdzenia materiału bez zmiany jego struktury, której w pracy nie wykazano.

5. Opracowanie statystyczne i prezentacja wyników

W wielu przypadkach nie podano liczby badanych próbek, a wyniki przedstawiono

głównie w postaci wartości średnich i odchyłeń standardowych. Powielanie tych samych danych w tabelach i na wykresach zwiększa objętość pracy, nie wnosząc dodatkowej wartości poznawczej.

6. Spójność oznaczeń i redakcja

W pracy występują niekonsekwencje w oznaczeniach próbek oraz drobne uchybienia redakcyjne, które utrudniają śledzenie wyników poszczególnych etapów badań.

Wymienione uwagi nie podważają ogólnej wartości rozprawy ani znacznego nakładu pracy Autorki, lecz wskazują na obszary, które wymagają doprecyzowania i większej staranności metodologicznej.

5. Wniosek końcowy

Przedstawiona rozprawa doktorska dotyczy aktualnego i istotnego zagadnienia z zakresu inżynierii mechanicznej, związanego z oceną wpływu obróbki po wytwarzaniu addytywnym na właściwości materiałów i elementów. Praca ma charakter eksperymentalny i aplikacyjny, została oparta na obszernym programie badań obejmującym analizę właściwości fizykochemicznych powierzchni oraz wybrane badania wytrzymałościowe.

Pomimo wskazanych w recenzji uwag krytycznych, dotyczących głównie metodyki i interpretacji części badań mechanicznych, należy podkreślić, że Autorka wykonała znaczący zakres prac doświadczalnych, wykazała się umiejętnością planowania i realizacji badań technologicznych oraz poprawnie sformułowała i zweryfikowała postawiony problem badawczy. Praca jest logicznie uporządkowana, a jej cele i teza pozostają spójne z przedstawionymi wynikami.

Uzyskane rezultaty mają charakter aplikacyjny i mogą stanowić punkt wyjścia do dalszych, pogłębionych analiz, w szczególności w zakresie jednoznacznego opisu właściwości mechanicznych elementów o złożonej geometrii wytwarzanych metodami addytywnymi. Rozprawa potwierdza, że Autorka posiada ogólną wiedzę teoretyczną w zakresie inżynierii mechanicznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Na tej podstawie stwierdzam, że opiniowana rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez ustawę *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571 z późn. zm.). W związku z powyższym **wnioskuje o dopuszczenie Pani mgr inż. Izabeli Abramczyk do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.**

