

R.D.JMa. 36.51.2026
Dr hab. inż. Marek Hebda, prof.PK
Politechnika Krakowska
Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki
Katedra Inżynierii Materiałowej

Kraków, 15 styczeń 2026r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Knapika
pod tytułem

„Opracowanie i wytworzenie certyfikowanych materiałów odniesienia proszków stali i stopów niklu na potrzeby kontroli jakości procesu produkcji z zastosowaniem technologii przyrostowych”

wykonanej pod opieką promotora
Prof. dr hab. inż. Piotr Konieczka, Politechnika Gdańska

opracowana na zlecenie
Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Politechniki Śląskiej
zgodnie z uchwałą z dnia 28 października 2025 roku
(pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Prof. dr hab. inż. Adama Grajcar z dnia 31.10.2025 r.)

Przedmiot i zakres rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Piotra Knapika pod tytułem „Opracowanie i wytworzenie certyfikowanych materiałów odniesienia proszków stali i stopów niklu na potrzeby kontroli jakości procesu produkcji z zastosowaniem technologii przyrostowych” wykonana pod opieką promotora Pana prof. dr hab. inż. Piotr Konieczka, z Politechniki Gdańskiej.

Recenzowana rozprawa doktorska została zrealizowana w ramach programu Doktorat Wdrożeniowy we współpracy z Łukasiewicz - Górnośląski Instytut Technologiczny, pod opieką Pana dr. inż. Michała Kubeckiego.

Praca o objętości 1627 stron napisana została w języku polskim i ma charakter eksperymentalno-badawczy. Układ rozprawy jest klasyczny, z podziałem na część teoretyczną i doświadczalną, podzielony na 14 rozdziałów, w których zaprezentowano przejrzyste i czytelne 61 rysunków oraz 72 tabele. Bibliografia zawiera 128 pozycji literaturowych

Biuro Dziekana

zgodnych z tematyką rozprawy. Praca zakończona jest dwoma załącznikami: załącznik nr 1 - Certyfikat wzorca składu chemicznego IMZ 316L PWD 154, i załącznik nr 2 - Certyfikat wzorca składu chemicznego IMZ IN 718 PWD.

Należy podkreślić bardzo dobry poziom edycyjny pracy zarówno od strony przygotowania tekstu, jak i szaty graficznej. Nieliczne błędy interpunkcyjne i językowe, nie wpływają na mój wysoce pozytywny odbiór całej dysertacji.

Tematyka podjęta w recenzowanej rozprawie doktorskiej autorstwa Pana mgr inż. Piotra Knapika wpisuje się w aktualne i istotne kierunki badań naukowych związanych z dynamicznym rozwojem technologii przyrostowego wytwarzania materiałów.

Charakterystyka rozprawy

Doktorant w rozprawie skoncentrowała się na zagadnieniach związanych z charakterystyką proszków metalicznych, przeznaczonych do zastosowania jako certyfikowane materiały odniesienia w procesach przyrostowych, co stanowi istotny wkład w rozwój standaryzacji tych technologii.

Tytuł recenzowanej rozprawy „*Opracowanie i wytworzenie certyfikowanych materiałów odniesienia proszków stali i stopów niklu na potrzeby kontroli jakości procesu produkcji z zastosowaniem technologii przyrostowych*” odzwierciedla treści zawarte w pracy. Należy jednak zauważyć, że użyte w tytule rozprawy określenie „*wytworzenie*” może być interpretowane jako sformułowanie nadmiernie daleko idące. Analiza treści pracy wskazuje bowiem, iż badany materiał proszkowy ma charakter komercyjny i został pozyskany od producenta powiązanego z globalnym liderem w obszarze technologii druku 3D. W związku z powyższym zasadna byłaby modyfikacja tytułu rozprawy poprzez pominięcie tego terminu, co pozwoliłoby na jego lepsze dopasowanie do faktycznego zakresu zrealizowanych badań.

Pod względem formalnym rozprawa została opracowana poprawnie, jej struktura odpowiada przyjętym zasadom, a treść poszczególnych rozdziałów rozmieszczona jest zgodnie z postawionymi celami.

Praca rozpoczyna się wstępem, który stanowi syntetyczne wprowadzenie do problematyki podejmowanej w rozprawie doktorskiej (rozdział pierwszy). Autor przedstawia w nim podstawowe informacje dotyczące technologii wytwarzania przyrostowego oraz ich ewolucji i aktualnych kierunków rozwoju. Następnie zwraca uwagę na istotne znaczenie proszków stali nierdzewnych oraz stopów niklu, podkreślając ich kluczową rolę w technologiach addytywnego wytwarzania metali. Wskazuje również, że właściwości proszków metalicznych, takie jak skład chemiczny, morfologia cząstek, rozkład wielkości oraz stabilność chemiczna i fizyczna, w sposób bezpośredni determinują poprawność i powtarzalność procesów wytwarzania przyrostowego.

Autor podkreśla, iż pomimo rosnącego i powszechnego zastosowania proszków metalicznych w technologiach addytywnych, oferta rynkowa metrologicznie wiarygodnych certyfikowanych materiałów odniesienia w postaci proszków jest obecnie bardzo ograniczona. Ponadto dostępne materiały nierzadko nie spełniają obowiązujących wymagań normatywnych.

W konsekwencji zagadnienie opracowania proszkowych certyfikowanych materiałów odniesienia należy uznać za uzasadnione i odpowiadające rzeczywistym potrzebom laboratoriów badawczych, jednostek certyfikujących oraz przemysłu.

Rozdział drugi stanowi wprowadzenie do części doświadczalnej pracy, której prezentację zamyka rozdział trzynasty, poświęcony omówieniu wyników badań eksperymentalnych. W rozdziale tym Pan mgr inż. Piotr Knapik sformułował cel rozprawy, definiując go jako opracowanie oraz certyfikację dwóch materiałów odniesienia w postaci metalicznego proszku, zgodnie z obowiązującymi wymaganiami normatywnymi. Uważam, że zamieszczenie w tym miejscu wniosków wynikających z przeprowadzonych badań nie było w pełni uzasadnione, gdyż treści te powinny zostać przedstawione w dalszej części pracy, po zakończeniu odpowiednich analiz doświadczalnych.

W podrozdziale 2.2 Doktorant sformułował cztery tezy badawcze, których istota sprowadza się do wykazania możliwości opracowania uniwersalnej, operacyjnej oraz metrologicznie poprawnej metodyki certyfikacji proszkowych materiałów odniesienia, zgodnej z aktualnie obowiązującymi normami, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiego poziomu jakości oraz pełnej identyfikowalności metrologicznej.

Ponadto w rozdziale drugim Autor zaprezentował szczegółowy plan postępowania badawczego, obejmujący: preselekcję oraz ocenę jakości partii proszków, przygotowanie jednostek materiałowych, ocenę jednorodności międzyopakowaniowej i wewnątrzpakowaniowej, badania stabilności krótkoterminowej (transportowej) oraz długoterminowej, przeprowadzenie porównania międzylaboratoryjnego i przypisanie wartości certyfikowanych, a także wyznaczenie budżetu niepewności.

Teza i cele pracy zostały sformułowane prawidłowo i jasno określają kierunki badań, które należało zrealizować aby je udowodnić. Ponadto, dotyczą one zarówno aspektów naukowo-badawczych jak również mają istotne znaczenie użytkowe, co Doktorant w sposób jednoznaczny podkreślił w rozprawie.

W rozdziale trzecim Pan mgr inż. Piotr Knapik przedstawił wyniki analiz czterech partii proszków metalicznych: dwóch partii stali 316L oraz dwóch partii nadstopów niklu (Inconel 625 i Inconel 718), pochodzących od dwóch niezależnych dostawców. Przeprowadzone badania wykazały istotne różnice w jednorodności analizowanych partii. Na podstawie uzyskanych wyników do dalszych etapów badań zakwalifikowano proszki stali 316L oraz nadstopu niklu Inconel 718 pochodzące od dostawcy B. Partie proszków od dostawcy A odrzucono na etapie preselekcji z uwagi na nadmierną zmienność składu chemicznego, wyrażoną współczynnikiem zmienności (CV) przekraczającym 5% dla wielu oznaczanych pierwiastków.

Rozdział czwarty zawiera opis procesu podziału wyselekcjonowanych partii proszków na 130 jednostek materiałowych o masie 70 ± 1 g każda. Proces ten przeprowadzono z zachowaniem pełnej identyfikowalności, z wykorzystaniem grawitacyjnego systemu dozowania, który zapewniał jednorodne napełnienie poszczególnych opakowań.

Rozdział piąty poświęcono walidacji zastosowanych procedur analitycznych, obejmującej ocenę selektywności, liniowości, granic wykrywalności i oznaczalności (LOD/LOQ), precyzji w warunkach powtarzalności oraz precyzji pośredniej, a także poprawności i niepewności pomiaru. Uzyskane wyniki potwierdziły wysoką jakość metod analitycznych, o czym świadczą współczynniki determinacji R^2 przekraczające wartość 0,999, odzyski mieszczące się w akceptowalnym zakresie 82–115% oraz stabilne, odpowiednio oszacowane niepewności pomiarowe.

W rozdziale szóstym Pan mgr inż. Piotr Knapik przedstawił wyniki badań jednorodności wyselekcjonowanych proszków stali 316L oraz nadstopu niklu Inconel 718. Badania jednorodności przeprowadzono w oparciu o 117 oznaczeń dla każdego pierwiastka, obejmujących analizy 13 losowo wybranych jednostek opakowaniowych, z których pobrano po trzy porcje materiału z trzech warstw. Otrzymane wyniki, opracowane zgodnie z wymaganiami obowiązujących norm, pozwoliły na stwierdzenie wysokiej jednorodności głównych składników stopowych (Cr, Ni, Mn, Co) w obu matrycach materiałowych, przy współczynniku zmienności (CV) nieprzekraczającym 2%.

W rozdziale siódmym Autor przedstawił wyniki badań międzylaboratoryjnych materiałów odniesienia ze stali 316L oraz nadstopu niklu Inconel 718, które poddano analizie statystycznej zgodnie z wymaganiami normy ISO 13528, z zastosowaniem odpornego estymatora Hubera. W ramach tego etapu przeprowadzono również oszacowanie niepewności charakterystyki przypisanych wartości.

Rozdział ósmy poświęcono ocenie stabilności krótkoterminowej i długoterminowej certyfikowanych materiałów odniesienia w postaci proszków stali 316L oraz nadstopu niklu Inconel 718, przeprowadzonej zgodnie z normą ISO 33405:2024. Okresy ważności materiałów oszacowano metodą regresji liniowej w podejściu prognostycznym, przyjmując wartości 70 miesięcy dla stali 316L oraz 75 miesięcy dla nadstopu niklu Inconel 718, co odpowiada najkrótszemu przewidywanemu czasowi, po którym zawartość dowolnego pierwiastka mogłaby przekroczyć dopuszczalny zakres wynikający z rozszerzonej niepewności pomiarowej.

W rozdziale dziewiątym opracowano pełen budżet niepewności wartości certyfikowanych, natomiast w rozdziale dziesiątym przedstawiono informacje dotyczące certyfikowanych materiałów proszkowych stali 316L oraz nadstopu niklu Inconel 718. Materiały te otrzymały nazwy zgodne z obowiązującą w Łukasiewicz - Górnośląskim Instytucie Technologicznym nomenklaturą: IMZ 316L PWD oraz IMZ IN 718 PWD i stanowią odpowiednio załączniki nr 1 i nr 2 recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Rozdział jedenasty przedstawia standardową procedurę operacyjną opracowaną dla certyfikacji proszkowych materiałów odniesienia, natomiast w rozdziale dwunastym Autor zamieścił syntetyczne podsumowanie poszczególnych etapów pracy doktorskiej wraz z oceną spełnienia zakładanych hipotez badawczych. Pracę zamykają wnioski zawarte w rozdziale trzynastym oraz spis literatury w rozdziale czternastym. Około 65% cytowanej literatury

stanowią publikacje opublikowane w ciągu ostatnich pięciu lat, co wskazuje na silne osadzenie rozprawy w aktualnym stanie wiedzy oraz uwzględnienie najnowszych osiągnięć badawczych w analizowanym obszarze.

Merytoryczna ocena rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Knapika pt. *„Opracowanie i wytworzenie certyfikowanych materiałów odniesienia proszków stali i stopów niklu na potrzeby kontroli jakości procesu produkcji z zastosowaniem technologii przyrostowych”* stanowi oryginalne opracowanie, które ze względu na tematykę oraz zastosowaną metodologię badań mieści się w obszarze dyscypliny inżynieria materiałowa.

Należy podkreślić szeroki zakres metod analitycznych oraz statystycznych zastosowanych przez Doktoranta w trakcie realizacji pracy. Wyniki są spójne, rzetelnie opracowane i właściwie zinterpretowane.

Uważam, że problematyka naukowo-badawcza podjęta w rozprawie doktorskiej przez Pana mgr inż. Piotra Knapika jest wysoce aktualna i posiada znaczący potencjał aplikacyjny. Wybór tematyki rozprawy, jak i materiałów do badań, należy uznać za trafny i uzasadniony.

Do najważniejszych osiągnięć Pana mgr inż. Piotra Knapika należy zaliczyć opracowanie:

- certyfikowanych materiałów proszkowych stali 316L oraz nadstopu niklu Inconel 718,
- uniwersalnego modelu postępowania obejmującego wszystkie etapy procesu, od przygotowania partii i oceny jednorodności, przez badania stabilności, przypisanie wartości certyfikowanych oraz wyznaczenie niepewności, aż po sporządzenie certyfikatów i instrukcji użytkowania, zapewniający metrologiczną wiarygodność uzyskanych wartości certyfikowanych i umożliwiający odtworzenie procedury przy certyfikacji innych proszków metalicznych.

Dokładne zapoznanie się z treścią rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Knapika skłania do sformułowania pod adresem Doktoranta kilku pytań dotyczących niektórych jej fragmentów:

- Proszę o wyjaśnienie, w jaki sposób Doktorant rozumie stosowany w pracy termin „wytworzenie” w kontekście „wytworzenia certyfikowanych materiałów” lub „wytworzenia materiałów odniesienia”.
- W podsumowaniu na stronie 136 oraz w podrozdziale 2.2 Tezy pracy doktorskiej Doktorant wskazuje, że opracowane procedury mają zastosowanie niezależnie od różnic chemicznych i morfologicznych materiałów. Proszę o wyjaśnienie, na czym polegała różnica w morfologii pomiędzy proszkiem stali 316L a nadstopem niklu Inconel 718.
- Proszę o wyjaśnienie przyczyn różnicy w rzeczywistym czasie prowadzenia monitoringu stabilności materiałów odniesienia, wynoszącego 41 miesięcy dla proszku stali 316L oraz 52 miesiące dla proszku nadstopu niklu Inconel 718 (str. 125).

- W kontekście badań stabilności krótkoterminowej proszę o doprecyzowanie, przez ile miesięcy materiał był przechowywany w warunkach przemysłowych oraz z której warstwy zbiornika pobierano „pięć porcji analitycznych” do oznaczeń.
- Proszę o wyjaśnienie, dlaczego w danych z porównania międzylaboratoryjnego dla proszków stali 316L oraz nadstopu niklu Inconel 718 (tabele 52 i 53) liczba dostępnych wyników dla niektórych pierwiastków wynosi zaledwie dwa lub trzy.
- Proszę o informację, ile jednostek opakowaniowych każdego z materiałów przekazano do badań międzylaboratoryjnych.
- W pracy, na stronie 68 Autor stwierdza: „Uzyskana niska zmienność składu potwierdziła prawidłowe wykonanie porcjowania materiału”, natomiast na stronie 76: „Stabilny rozkład wyników potwierdził skuteczność procesu podziału proszku na opakowania jednostkowe”. Proszę o wyjaśnienie, w jaki sposób Doktorant rozumie zależność pomiędzy zmiennością składu chemicznego a procesem podziału proszku na jednostkowe opakowania.
- Proszę o informację, w jaki sposób pobierano próbki z poszczególnych warstw materiału w badaniach jednorodności materiału wewnątrz jednostki i między jednostkami opakowaniowymi.
- Proszę o wyjaśnienie, jakie kryterium zastosowano przy wyborze dostawców proszków przeznaczonych do certyfikacji. Ponadto proszę o informację, czy dostarczony materiał pochodził z jednej serii produkcyjnej oraz jakie metody wytwarzania proszków stosowali dostawcy A i B.

W pracy znajdują się również nieliczne błędy redakcyjne, przykładowo:

- W tabeli ze skrótami zastosowano poprawne określenie „nadstop niklu Inconel 718”, natomiast w treści rozprawy Autor posługuje się określeniem „stop niklu Inconel 718”. Zasadne byłoby ujednoczenie nomenklatury w całej pracy w celu zapewnienia jej spójności terminologicznej.
- Na stronie 102 zapis „W tabeli 56 i 57 zestawiono wartości certyfikowane składników proszku 316L oraz IN 718” jest niezgodny z opisami zamieszczonymi nad tabelami 56 i 57.
- Zasadne byłoby takie sformatowanie tekstu, aby wykres wraz z odpowiadającą mu tabelą oraz opisem znajdowały się na jednej stronie, co ułatwiłoby czytelność prezentacji wyników.
- W opisie drugiej tezy bardziej uniwersalne byłoby zastąpienie informacji o losowym doborze 10-13 jednostek partii odniesieniem do procentowego udziału próbek w całej partii. Takie sformułowanie uniezależnia treść tezy od bezwzględnej liczby jednostek w partii, której wielkość nie jest znana na etapie zapoznawania się z jej treścią, a jednocześnie zwiększa jej ogólny i normatywny charakter.
- W pracy zamiennie stosowane są określenia „długoterminowy” oraz „długookresowy”, jednak bardziej zasadne byłoby konsekwentne stosowanie określenia „długoterminowy”.
- W pracy należałoby dokonać korekty w miejscach użycia zwrotu „odlepiszczanie/odlepiszczaniu”, aby zapewnić zgodność z nomenklaturą techniczną.
- Zawarty w pracy spis skrótów i akronimów nie obejmuje wszystkich terminów stosowanych w rozprawie, takich jak np. GD-MS, GD-OES, CARG, MBI czy MME. W związku z tym uzasadnione byłoby nadanie mu tytułu „Spis ważniejszych skrótów i akronimów”, co lepiej odzwierciedliło by jego zakres.

- Należałoby wprowadzić korektę wyjaśnienia terminu „Producent CRM”, które w pracy zostało przypisane trzykrotnie do trzech różnych anglojęzycznych skrótów.

Przytoczone powyżej uwagi traktuję raczej jako formę dyskusji z Doktorantem, które nie umniejszają merytorycznej wartości rozprawy i nie wpływają na ocenę realizacji całości pracy. Rozprawa Pana mgr inż. Piotra Knapika zawiera wartościowe wyniki, które świadczą o jego kompetencjach, umiejętnościach w zakresie planowania badań oraz doświadczeniu w ich przeprowadzeniu. Opracowana rozprawa dotyczy aktualnej problematyki badawczej i w wielu miejscach wnosi nowe, istotne treści o znaczących walorach poznawczych oraz aplikacyjnych.

Ocena końcowa rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Piotra Knapika pt. „*Opracowanie i wytworzenie certyfikowanych materiałów odniesienia proszków stali i stopów niklu na potrzeby kontroli jakości procesu produkcji z zastosowaniem technologii przyrostowych*” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oraz wykazuje na dobre teoretyczne przygotowanie Kandydata w danej dyscyplinie naukowej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa jest napisana przejrzysto i prawidłowo przeprowadzona od strony eksperymentalnej. Autor sformułował oryginalny problem naukowy, który ma ważne znaczenie zarówno od strony badawczej, jak i technologicznej. Doktorant wykazał się biegłością w wykorzystaniu nowoczesnych metod badawczych stosowanych w inżynierii materiałowej, a także umiejętnością poprawnego i przekonującego przedstawiania wyników badań. Wszystkie stwierdzenia w omówieniu wyników oraz wnioskach są odpowiednio udokumentowane w pracy i nie budzą zastrzeżeń. Rezultaty przeprowadzonych analiz przedstawione w rozprawie stanowią istotny wkład w rozwój standaryzacji technologii przyrostowych. Praca charakteryzuje się wysokim poziomem merytorycznym i znaczną wartością aplikacyjną.

Oceniając całość przesłanej do recenzji rozprawy doktorskiej pt. „*Opracowanie i wytworzenie certyfikowanych materiałów odniesienia proszków stali i stopów niklu na potrzeby kontroli jakości procesu produkcji z zastosowaniem technologii przyrostowych*” stwierdzam, że praca Pana mgr inż. Piotra Knapika spełnia wymagania określone w Art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn. zm.), i wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Autora do publicznej obrony.

Prof. Marek Hebda

/podpis odręczny/