Imię i nazwisko recenzenta:
Dariusz Bartocha
Dane adresowe:
Politechnika Śląska w Gliwicach
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Katedra Odlewnictwa
Ul. Towarowa 7
44-100 Gliwice

15.05.2026 Gliwice
(data i miejsce)

Recenzja pracy doktorskiej

Daniel Robert Gruszka
(imię i nazwisko doktoranta / doktorantki)

pod tytułem: Badanie mechanizmów procesowych oraz materiałowych addytywnego wytwarzania form i rdzeni metodą Binder Jetting

przygotowanej pod kierunkiem:

Prof. dr hab. inż. Rafał Dańko
(imię i nazwisko promotora)

dr hab. inż. Angelika Kmita, prof. AGH
(imię i nazwisko promotora / promotora pomocniczego)

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

Podstawa prawna art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" (z późn. zm.)

Opinia dotycząca przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawiera trzy elementy:

1) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria materiałowa;
2) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta ubiegającego się o nadanie stopnia doktora;
3) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

2. Charakterystyka i opis rozprawy

Zasadność podjęcia tematu

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgr inż. Daniela Gruszki jest badanie i analiza materiałowych i procesowych aspektów techniki addytywnego wykonywania form i rdzenni odlewniczych metodą Binder Jetting, która coraz szerzej i dynamiczniej zastępuje w odlewniach klasyczne metody wytwarzania form i rdzeni. Technologia ta posiada niewątpliwie wiele niezaprzeczalnych zalet, ale

także wady i ograniczenia. Analiza szerokiego zbioru źródeł literaturowych w tym obszarze pozwoliła Doktorantowi na zidentyfikowanie braków wiedzy i danych niezbędnych do efektywnego wykorzystania tej technologii w produkcji odlewów. Już na wstępie rozprawy stwierdza On, że „pomimo istotnych postępów w technologii BJ, proces nadal napotyka na szereg wyzwań, a są to:

- konieczność optymalizacji parametrów druku dla różnych typów piasków i spoiw,
- minimalizacja naprężeń cieplnych i odkształceń podczas obróbki cieplnej,
- redukcja emisji gazów formierskich oraz zapewnienie stabilności wymiarowej i powtarzalności wytwarzania.

Istnieje także potrzeba dalszych badań nad mechanizmami łączenia ziaren osnowy, infiltracji struktur porowatych/ziarnowych przez spoiwo oraz wpływem właściwości masy formierskiej na jakość wytworzonego odlewu." Definiuje tym samym lukę badawczą i wskazuje zakres pracy. Nie można się z tym nie zgodzić i stwierdzić należy, że podjęcie badań w tej tematyce jest jak najbardziej uzasadnione i podyktowane naglącą potrzebą branży odlewniczej.

Ocena ogólna pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa jest opracowaniem o szerokim spektrum dotyczącym badań nad wykorzystaniem techniki druku 3D do wytwarzania form i rdzeni odlewniczych, liczy 147 stron i jest podzielona na 8 rozdziałów z licznymi podrozdziałami. W analizie dostępnych materiałów i źródeł literaturowych Autor zastosował klasyczne podejście od ogółu do szczegółu, rozpoczynając od historii rozwoju technik przyrostowych poprzez scharakteryzowanie dostępnych metod druku 3D ze szczególnym uwzględnieniem tych wykorzystywanych pośrednio lub bezpośrednio w produkcji odlewów na szczegółowej analizie materiałów na formy i rdzenie wykonywane przyrostowo oraz modelach połączeń międzyziarnowych skończywszy. Liczba i dobór źródeł, a są to aż 203 pozycje głównie publikacje naukowe w większości opublikowane po roku 2020, z nielicznymi stronami internetowymi i kartami charakterystyki materiałów, oraz ich analiza świadczą o dobrym przygotowaniu teoretycznym Doktoranta do planowania i prowadzenia badań zarówno w zakresie podjętej tematyki jak i ogólnie w zakresie inżynierii materiałowej. W dalszej części pracy po przedstawieniu celu i tez zamieszczony jest szczegółowy opis wielu zastosowanych metod badawczych i w konsekwencji metodyki o szerokim spektrum, a następnie w tym samym porządku zaprezentowane zostały uzyskane wyniki badań.

Obie części, analiza literatury zajmująca 32 strony i badania własne zajmujące 75 stron pozostają niemal w idealnych proporcjach tradycyjnie zalecanych dla tego typu opracowań. Zastosowany trójpoziomowy podział treści pracy generujący wiele podrozdziałów sprawia wrażenie niepotrzebnego rozdrobnienia, ale logika, konsekwencja i skrupulatność w takiej konstrukcji treści pracy zastosowana przez Autora znakomicie ułatwia poruszanie się w wielowątkowej strukturze i jej odbiór. Pod względem językowym i edycyjnym praca jest przygotowana na dobrym poziomie chociaż Doktorant nie ustrzegł się pewnych niedociągnięć, należy do nich kilka razy występujące powtórzenia całych zdań, a nawet akapitu, pewne zastrzeżenia można także mieć odnośnie jakości/czytelności niektórych rysunków. Pomimo tego generalnie dysertacja jest opracowana dobrym poziomie.

Ocena merytoryczna pracy

Poziom merytoryczny rozprawy oceniam wysoko, Doktorant jasno określił cel badań, którym była ilościowa ocena wpływu wybranych właściwości fizykochemicznych spoiw oraz parametrów

procesu BJ na właściwości technologiczne i emisyjne drukowanych form i rdzeni odlewniczych. Nakreślił drogę do jego osiągnięcia wraz z doborem narzędzi i metod badań, począwszy od elementarnych, jak określenie odczynu PH czy analiza sitowa po zaawansowane techniki badawcze jak połączone analiza termograwimetryczna ze skaningową kalorymetrią różnicową czy badanie gazotwórczości mas formierskich z analizą gazów i pyłów metodami chromatografii i dyfrakcji laserowej. Zastosowanie tak szerokiego i zróżnicowanego wachlarza metod badawczych jest w zupełności uzasadniony ponieważ były one niezbędne do osiągnięcia postawionego celu i udowodnienia sformułowanych tez. Dwie z trzech postawionych w pracy tez, chociaż są one dość ogólne można uznać za poprawne, druga jest raczej oczywistym stwierdzeniem co potwierdza sam Autor uznając ją za udowodnioną już na etapie formułowania tezy trzeciej.

Badania zostały zrealizowane w trzech etapach: 1- badania właściwości komponentów mas formierskich, 2- wykonanie i badania właściwości wydruków dla różnych wartości parametrów procesowych oraz 3- regeneracja osnowy i badania wydruków wykonanych z jej użyciem. Wyniki uzyskane na poszczególnych etapach badań w zupełności wystarczyłyby do osiągnięcia celu, ale Doktorant dokonał dodatkowo swego rodzaju ich weryfikacji w eksperymencie z użyciem drukowanej metodą BJ formy z zaprojektowanymi kanałami konformalnego chłodzenie. W eksperymencie dowiedziono możliwości sterowania procesem oddawania ciepła a zatem i przebiegiem krzepnięcia odlewu i co za tym idzie jego strukturą i właściwościami poprzez zastosowanie w formie wewnętrznych kanałów konfromalnego chłodzenia o odpowiednio zaprojektowanej konstrukcji. Wydaje się, że jedynym racjonalnym sposobem wykonania formy konformalnej jest technika BJ, a odpowiedni dobór jej cech geometrycznych i fizykochemicznych nie byłby możliwy bez wiedzy i danych uzyskanych w wyniku zrealizowanych w ramach pracy badań. Stosując takie podejście Doktorant potwierdza umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych zarówno w zakresie ich planowania i praktycznej realizacji ale także analizy wyników oraz krytycznej ich weryfikacji eksperymentalnej. Pewien niedosyt powoduje jedynie brak analizy uzyskanych wyników w aspekcie ich komplementarności.

Bardzo szerokie spektrum zastosowanych metod badawczych wynikające z interdyscyplinarnego charakteru podjętych badań oraz wielość poprawnie zrealizowanych badań i analiz zasługuje na uznanie. Pomimo generalnie dobrego poziomu merytorycznego dysertacji Doktorant nie ustrzegł się jednak pewnych niedociągnięć rodzących pytania wymagające odpowiedzi czy skłaniających do polemiki.

Uwagi krytyczne i pytania.

Doktorant dokonuje dosyć niefortunnego uproszczenia używając terminu zwilżalność określając nim cechę ciekłych spoiw – „…właściwości żywic syntetycznych to lepkość, zwilżalność i odporność termiczna…" – kiedy zwilżalność najogólniej odnosi się do stopnia zwilżenia danej powierzchni przez określoną ciecz, a na wartość kata zwilżania, który jest miarą zwilżalności wpływają napięcie powierzchniowe cieczy i swobodna energia powierzchniowa ciała stałego. Prowadzi to do dość niefortunnych stwierdzeń np. Rozdział 8 - Wniosek 2 – „…niska lepkość i szybka zwilżalność sprzyjają…" - miarą zwilżalności jest kąt zwilżania zatem niska/wysoka lub dobra/zła zwilżalność.

Badania zdolności do zwilżania kwarcu żywic BJ1, BJ2 i SMS1 były prowadzone z użyciem płytki ze szkła kwarcowego w czasie 1h, kinetyka zwilżania przez żywicę SMS1 znacząco odbiegała od pozostałych szczególnie w początkowej fazie mimo to po upływie jednej godziny osiąga najmniejszą

wartość kąta zwilżania co w mojej opinii prowadzi do zbyt daleko idących wniosków. W technologii druku 3D ziarna osnowy wstępnie pokryte są katalizatorem podobnie w klasycznym przygotowaniu masy SMS także w pierwszej kolejności do osnowy wprowadza się utwardzacz co może wpływać na jej zwilżalność przez żywice w wyniku zmiany energii powierzchniowej i rozpoczęcia reakcji sieciowania. Czy były prowadzone badania w tym zakresie? Czy może to być prawdopodobną przyczyną dużo niższej wytrzymałości próbek referencyjnych (Tabela 26, Rys. 49)?

Str. 50 – „Tak przygotowaną masę formierską wsypuje się do odpowiednich matryc, które odwzorowują kształt docelowego odlewu" - to zbyt daleko posunięte uproszczenie i niestety terminologicznie błędne.

Str. 68 – „…kształt kanciasty oraz częściowo wydłużony, co może oddziaływać na sposób ich upakowania i parametry przepuszczalności. Jednocześnie duża część ziaren ma kształty zbliżone do izometrycznych, co sprzyja, równomiernemu formowaniu warstw." – Jest to subiektywna ocena jakościowa i nie może prowadzić do podobnych stwierdzeń gdzie podstawą powinna być analiza ilościowa. Czy Doktorant podjął próbę takiej oceny badanej osnowy? I co Doktorant rozumie pod pojęciem kształt izometryczny?

Str. 78 – Wyniki analizy termicznej wykazały znaczące różnice w przebiegu degradacji termicznej żywic BJ1 i BJ2 (Tabela 19) – Jakie to może mieć przełożenie na proces odlewania i w konsekwencji jakość odlewu?

Str. 84 – Tabela 24. Uzyskanie niemal dwukrotnie wyższej wytrzymałości na zginanie próbek wydrukowanych z użyciem o niemal połowę mniejszego udziału spoiwa jest dość zaskakujące? – Jaka jest tego prawdopodobna przyczyna?

Str. 95 – „…potwierdza negatywny wpływ obecności pozostałości spoiwa na właściwości mechaniczne masy." – Jak długo regenerat po eksploatacji był sezonowany i czy czas sezonowania może mieć to wpływ na właściwości masy? Czy były prowadzone takie analizy?

Str. 98 – „…przy napięciu zasilania głowicy drukującej 110 V, co odpowiadało wyższemu poziomowi nasycenia spoiwem…" – Dlaczego do wytworzenia formy doświadczalnej użyto takich parametrów drukowania, skoro dla niższego napięcia zasilania uzyskano wyższe właściwości mechaniczne masy?

Str. 111 – „…mikrostruktura zachowuje właściwy charakter dla żeliwa GJS 500-7, z **przewagą** ferrytu (ok. 25 %)…" - ?

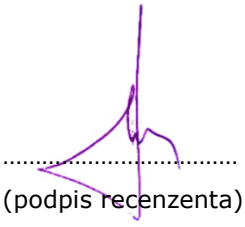
Str. 119 – Rozdział 7.6, Wniosek 2 - abstrahując od jego słuszności i poparcia w uzyskanych wynikach, nie odnosi się do tezy drugiej. Stwierdzenie udowodnienia tej tezy Autor zamieszcza we wniosku trzecim dotyczącym potwierdzenia tezy trzeciej niejako zgadzając się z opinią zamieszczoną w recenzji powyżej o niefortunnym sformułowaniu tezy drugiej, której potwierdzenie Doktorant zawarł już w treści tezy trzeciej.

3. Wniosek końcowy

Powyższe uwag i niedociągnięcia w żadnym aspekcie nie umniejszają merytorycznej wartości rozprawy, a być może będą one przydatne przy przygotowaniu publikacji czy kontynuowaniu badań w tym obszarze. Kandydat w sposób bardzo dobry zidentyfikował problem badawczy, wyznaczył cel, zaplanował adekwatny do jego osiągnięcia zakres badań i narzędzia badawcze oraz opracował metodykę o wyjątkowo szerokim spektrum. Dowodzi to posiadania wiedzy teoretycznej nie tylko z

zakresu inżynierii materiałowej, ale także z dyscyplin pokrewnych czego niewątpliwie wymagała interdyscyplinarna problematyka podjętych badań. Poprawnie zrealizował zaplanowany zakres badawczy przez co osiągnął postawione sobie cele, a tym samym zrealizował zakres merytoryczny pracy wykazując słuszność postawionych tez. Podjął problem ilościowej ocena wpływu właściwości fizykochemicznych spoiw oraz parametrów procesu Binder Jetting na właściwości form i rdzeni odlewniczych. Wiedza w tym zakresie w ujęciu ilościowym jest niezwykle istotna w procesie projektowania technologii odlewania z wykorzystaniem form i rdzeni wytwarzanych addytywnie, a z uwagi na dynamicznie rosnące zastosowanie tej techniki w odlewniach niezwykle aktualnie wymagana. Mgr inż. Daniel Gruszka wykazał się znaczącą wiedzą w zakresie planowania badań, doboru metod badawczych jak i umiejętności praktycznej realizacji badań oraz wieloaspektowej analizy. Ponadto zaplanowanie i przeprowadzenie eksperymentu z użyciem drukowanej formy z zaprojektowanymi chłodzącymi kanałami konformalnymi do sterowania procesem krzepnięcia odlewu poprzez intensyfikację odbioru ciepła, który był niejako weryfikacją uzyskanych wyników badań świadczą pozytywnie o Jego przygotowaniu do pracy badawczej oraz zdolności do samodzielnego zaplanowania i przeprowadzenia eksperymentu naukowego oraz krytycznej analizy uzyskanych wyników.

Reasumując uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Daniela Gruszki ma charakter oryginalnej pracy naukowej i zawiera istotne elementy poznawcze. Wykazał się On wiedzą umożliwiającą samodzielne prowadzenie badań naukowych, a Jego praca jest oryginalnym, z akcentami utylitarnymi, osiągnięciem stanowiącym istotny wkład w stan wiedzy w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Na podstawie szczegółowej analizy rozprawy doktorskiej mgr inż. Daniela Gruszki pt. „Badanie mechanizmów procesowych oraz materiałowych addytywnego wytwarzania form i rdzeni metodą Binder Jetting”, wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Rafała Dańki, **stwierdzam, że spełnia ona wymagania określone określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn.zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.**



.....

(podpis recenzenta)