

Wrocław, 09.01.2026 r.

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Naplocha
Katedra Inżynierii Elementów Lekkich, Odlewnictwa i Automatyki
Wydział Mechaniczny
Politechnika Wrocławska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Michała Starczewskiego, pt.: „Poprawa jakości odlewów tłokowych wykonywanych z siluminów okołoeutektycznych”,
której promotorem jest dr hab. inż. Anna Janina Dolata, prof. Politechniki Śląskiej.

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została opracowana na podstawie pisma RDIMa.512.4.2025 RM prof. dr. hab. inż. Adama Grajcara Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej z dnia 28 października 2025 r. oraz uchwały podjętej przez Radę Dyscypliny Inżynieria Materiałowa.

2. Tematyka pracy i jej cel

Przedłożona do recenzji praca doktorska mgr. inż. Michała Starczewskiego podejmuje niezwykle istotną z punktu widzenia praktyki przemysłowej problematykę optymalizacji procesów odlewniczych w produkcji komponentów silnikowych. Tematyka rozprawy koncentruje się na identyfikacji oraz ocenie parametrów technologicznych przygotowania ciekłego stopu aluminium, które determinują jakość odlewów tłokowych. Autor słusznie zauważa, że mimo globalnych trendów elektryfikacji napędów, zapotrzebowanie na zaawansowane technologicznie tłoki do silników spalinowych i sprężarek utrzyma się w najbliższych dekadach, co czyni badania nad doskonaleniem ich wytwarzania w pełni uzasadnionymi i aktualnymi.

Głównym celem pracy jest opracowanie rozwiązań materiałowo-technologicznych pozwalających na istotne zmniejszenie poziomu brakowości odlewów tłokowych. Autor dąży do zminimalizowania występowania wad odlewniczych poprzez precyzyjne sterowanie procesem przygotowania ciekłego metalu, co bezpośrednio przekłada się na obniżenie kosztów produkcji oraz ograniczenie negatywnego wpływu procesów metalurgicznych na środowisko naturalne.

W części teoretycznej i badawczej Autor dokonał szczegółowej analizy modelu produkcyjnego w warunkach firmy Złotecki Sp. z o.o., identyfikując obszary krytyczne procesu. Analiza ta wykazała, że kluczowym źródłem zmienności procesowej i braku stabilności jakościowej są parametry związane z przygotowaniem ciekłego metalu. Realizacja tak postawionego celu wymagała sformułowania i wykonania następujących zadań badawczych:

1. Analiza parametrów technologicznych i konstrukcyjnych, w tym zbadanie wpływu składu chemicznego stopu, konstrukcji formy oraz zabiegów przygotowawczych na powstawanie wad odlewniczych.

2. Ocena właściwości materiałowych i technologicznych. Przeprowadzenie kompleksowych badań leżności, indeksu gęstości (DI), mikro- i makrostruktury oraz właściwości mechanicznych stopu w różnych warunkach procesowych.

3. Opracowanie procedury kontroli zawodorowania stopu obejmującej wyznaczenie optymalnego wskaźnika indeksu gęstości (DI), który pozwoliłby na zrównoważenie ryzyka wystąpienia porowatości gazowej i mikroporowatości skurczowej.

4. Optymalizacja gospodarki materiałami wsadowymi. Opracowanie i wdrożenie nowych zasad sortowania i przygotowania zawrotów produkcyjnych.

Efektem końcowym pracy było wdrożenie opracowanych standardów w warunkach przemysłowych, co pozwoliło na wymierną redukcję liczby braków. Podjęta przez Autora tematyka łączy w sobie rzetelną wiedzę z zakresu metalurgii stopów aluminium z praktycznym podejściem inżynierskim, stanowiąc cenne studium nad poprawą efektywności nowoczesnej odlewni.

Tak sformułowane zadania o charakterze badawczym i użytecznym, a także zdefiniowane cele pracy, w moim przekonaniu niosą ze sobą pierwiastek nowości i stanowią oryginalny wkład w rozwój technologii odlewnictwa stopów aluminium. Zakres zrealizowanych prac obejmuje dwa zasadnicze filary: diagnostykę i stabilizację parametrów metalurgicznych przygotowania stopu oraz wdrożenie systemowych rozwiązań w zakresie gospodarki materiałami wsadowymi.

Tematyka rozprawy ma charakter interdyscyplinarny, łącząc w sposób komplementarny zagadnienia z zakresu inżynierii materiałowej, metalurgii procesowej, diagnostyki wad odlewniczych oraz statystycznego sterowania procesem. Takie podejście pozwoliło na wypracowanie rozwiązań o wysokim potencjale aplikacyjnym, odpowiadających na realne potrzeby współczesnego przemysłu odlewniczego

3. Ocena redakcyjnej formy rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska liczy 113 stron i posiada klasyczną strukturę, obejmującą studium literaturowe oraz opis badań własnych. Część teoretyczna, wraz z wprowadzeniem i wykazem oznaczeń, zajmuje 35 stron i jest ujęta w cztery podrozdziały. Autor koncentruje się w nich na perspektywach rynku tłoków silnikowych, charakterystyce stopów aluminium oraz klasyfikacji wad odlewniczych. Treść ta jest przedstawiona w sposób poprawny i uporządkowany, choć autor operuje głównie na faktach o znacznym stopniu ogólności, dobrze ugruntowanych w literaturze technicznej. Język pracy jest poprawny i zrozumiały, a dobór piśmiennictwa wystarczający dla nakreślenia tła podjętej problematyki.

Prace własne stanowią około dwóch trzecich objętości rozprawy i są ułożone w sposób sekwencyjny. Układ rozdziałów badawczych jest logiczny, co pozwala na identyfikację poszczególnych etapów realizacji celu pracy. Każdy z nich stanowi element składowy opisu wpływu parametrów technologicznych na strukturę i właściwości odlewów tłokowych. Autor koncentruje się na rzetelnym przedstawieniu uzyskanych danych, rezygnując z rozbudowanych opisów teoretycznych na rzecz dokumentacji procesowej. Większość wyników została zilustrowana w sposób czytelny, choć użyte fotografie cechują się prostotą i często dotyczą zagadnień praktycznych.

W pracy Doktorant właściwie łączy wątki koncepcyjne z wykonawstwem technicznym, kładąc nacisk na parametry istotne z punktu widzenia procesu produkcyjnego. Całość rozprawy sprawia wrażenie spójnej i pragmatycznej dokumentacji badawczej, pozbawionej zbędnych ozdobników.

4. Wyniki badań i wnioski

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska stanowi wynik wielowątkowej analizy procesu technologicznego wytwarzania odlewów tłokowych, ze szczególnym uwzględnieniem etapów

przygotowania ciekłego metalu. Doktorant postawił sobie za cel wykazanie związku między parametrami metalurgicznymi stopu a finalną jakością produktów, co w warunkach przemysłowej produkcji seryjnej jest zagadnieniem o kluczowym znaczeniu ekonomicznym i technicznym. Praca łączy w sobie elementy kontroli procesowej, technologii odlewnictwa oraz materiałoznawstwa, tworząc spójny opis dążenia do stabilizacji systemu w specyficznych warunkach odlewni kokilowej.

W pierwszej części badawczej Autor skoncentrował się na charakterystyce środowiska produkcyjnego, co zaowocowało opracowaniem szczegółowego modelu procesu. Należy zauważyć, że ta część pracy charakteryzuje się dużym stopniem szczegółowości w zakresie opisu procedur wewnętrzzakładowych. Autor poddał analizie wymagania jakościowe, systemy instrukcji oraz normy zakładowe. Choć z punktu widzenia teoretycznego opisy te mogą wydawać się zbyt mocno osadzone w sferze zarządzania produkcją, to stanowią one niezbędny kontekst dla dalszych działań badawczych.

Szczególnie istotnym elementem wstępnego etapu prac jest identyfikacja węzłów cieplnych w konstrukcji odlewu tłoka. Doktorant, opisując strefy o opóźnionym krzepnięciu, odwołuje się do faktów dobrze znanych w literaturze fachowej, jednak ich zestawienie z konkretną geometrią wyrobu pozwala na lepsze zrozumienie mechanizmów powstawania wad odlewniczych. Autor słusznie zauważa, że dysproporcje w grubości ścian w poszczególnych sekcji tłoka wymuszają specyficzne podejście do parametrów zasilania i chłodzenia formy. Opracowany i przedstawiony na rys. 48 model procesu odlewania tłoków jest udaną próbą syntezy tych wszystkich czynników, wskazującą na konieczność monitorowania stopu jako elementu decydującego o sukcesie całego cyklu wytwórczego. Model ten, choć uproszczony, stanowi istotny wkład w metodologię badawczą, gdyż pozwala na wyodrębnienie etapów procesu mających decydujący wpływ na występowanie defektów strukturalnych, takich jak porowatość gazowa czy mikroskurecze, będące centralnym punktem zainteresowania inżynierii materiałów odlewniczych.

Kluczowy zakres prac obejmował badania porównawcze dwóch partii stopów (WT-1 i WT-2) o zróżnicowanych parametrach przygotowania i wytworzenia. Autor przyjął tu logiczną ścieżkę badawczą, zakładającą pobór próbek w różnych momentach procesu: po topieniu, po rafinacji oraz po określonym czasie wytrzymywania metalu w piecu. Takie podejście pozwala na

monitorowanie i bieżącą ocenę zmian zachodzących w stopie, co jest znacznie cenniejsze niż końcowa analiza próbek wykonanych przy stałych parametrach.

W warstwie metodologicznej na uwagę zasługuje wykorzystanie stanowiska do badania indeksu gęstości (DI). Autor w sposób rzetelny dokumentuje procedurę ważenia próbek krzepnących w warunkach ciśnienia atmosferycznego oraz obniżonego (0,08 bar). Choć opis samej wagi i oprogramowania MK 3000 jest dość techniczny i momentami przypomina instrukcję obsługi, to wyniki uzyskane za pomocą tego narzędzia stanowią trzon merytoryczny pracy. Wykazanie, że indeks DI jest czułym wskaźnikiem stopnia zagazowania i czystości stopu, pozwoliło Autorowi na sformułowanie konkretnych zaleceń technologicznych. Warto zaznaczyć, że w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i materiałowa, takie praktyczne wykorzystanie parametrów fizycznych do sterowania procesem jest podejściem pożądanym i wartościowym.

Badania mikrostruktury oraz właściwości mechanicznych zostały przeprowadzone poprawnie, choć ich opis cechuje się pewną powierzchownością. Autor odnotował występowanie typowych dla stopów Al-Si składników strukturalnych, wskazując na różnice w ich rozdrobnieniu w zależności od zastosowanej rafinacji. Należy jednak zauważyć, że interpretacja tych różnic ma charakter głównie jakościowy. Praca zyskałaby na wartości, gdyby Doktorant zdecydował się na bardziej zaawansowaną analizę statystyczną rozkładu wydzielen, co pozwoliłoby na uniknięcie sformułowań o „naturalnym rozrzucie wyników” bez głębszego uzasadnienia ich źródła.

Zastosowanie analizy termicznej i derywacyjnej (ATD) pozwoliło na monitorowanie subtelnych różnic w procesie krystalizacji, które wynikają z czystości chemicznej i gazowej stopu. Autor słusznie założył, że właściwości mechaniczne odlewu są pochodną procesów zachodzących podczas chłodzenia, a te z kolei są determinowane przez zabiegi rafinacyjne i modyfikacyjne.

Podobnie, badania leżności i twardości, mimo że dały wyniki zbliżone dla obu stopów, zostały przeprowadzone z dużą dbałością o powtarzalność pomiarów. Autor słusznie skonstatował, że moduł sprężystości pozostaje niemal niezmienny, co dowodzi, że procesy optymalizacji technologicznej skupiają się przede wszystkim na eliminacji wad strukturalnych (ciągłości materiału), a nie na modyfikacji właściwości samej osnowy.

Niewątpliwą zaletą rozprawy jest jej silne osadzenie w realiach przemysłowych. Autor poświęcił dużo uwagi gospodarce zawrotami produkcyjnymi, co w nowoczesnym przemyśle jest

tematem niezwykle aktualnym. Wykazanie, że niesortowany i zanieczyszczony wsad prowadzi do gwałtownego wzrostu brakowości, jest wnioskiem o dużej wadze praktycznej. Opracowanie nowych procedur przygotowania zawrotów, które bezpośrednio przyczyniły się do spadku odrzutów z 8,8% do poziomu poniżej 4,2%, jest najlepszym dowodem na skuteczność działań podjętych przez Doktoranta.

Podsumowując, na podstawie analizy przedłożonej rozprawy doktorskiej, na szczególne uznanie zasługuje:

1. Skuteczna identyfikacja i parametryzacja źródeł zmienności procesowej, co pozwoliło na przejście od intuicyjnego prowadzenia wytopu do sterowania opartego na mierzalnych wskaźnikach.
2. Opracowanie autorskiego modelu produkcyjnego, który systematyzuje wiedzę o powstawaniu wad w specyficznych warunkach odlewania tłoków i może stanowić bazę dla systemów eksperckich.
3. Wykazanie roli wodoru jako czynnika kompensującego skurcz objętościowy. Autor słusznie zauważył, że zbyt niski wskaźnik DI jest równie niekorzystny jak zbyt wysoki, co pozwala na precyzyjne opisanie optymalnego procesu metalurgicznego (DI ok. 1,5%).
4. Rzetelność w prowadzeniu badań przemysłowych. Autor potrafił zachować rygor badawczy w trudnych warunkach odlewni, co potwierdza spójność wyników uzyskanych na stanowisku ATD oraz w badaniach mechanicznych.
5. Wymierny sukces aplikacyjny, wyrażony znacznym obniżeniem kosztów produkcji oraz ograniczeniem wpływu procesu na środowisko poprzez lepsze wykorzystanie surowców.

Pomimo pozytywnego wydźwięku pracy, należy wskazać na pewne niedociągnięcia, które wynikają z faktu, że Autor prowadził badania o charakterze wdrożeniowym, z konieczności koncentrując się na aspektach bardziej inżynierskich niż typowo naukowych. Momentami narracja traci charakter analityczny na rzecz czysto opisowego, co jest szczególnie widoczne w rozdziałach dotyczących stopów aluminium czy przygotowania kokilarki. Informacje te, choć ważne dla firmy, w pracy doktorskiej mogłyby zostać ograniczone do niezbędnego minimum. Ponadto, w interpretacji wyników badań mikrostrukturalnych i technologicznych zabrakło nieco głębszego poszukiwania przyczyn zjawisk. Doktorant odnotowuje np. spadek lejności po rafinacji czy nietypowe zmiany zagazowania po długim czasie przetrzymywania stopu, ale nie

podejmuje próby szerszego wyjaśnienia tych procesów w oparciu o fizykochemię metali. Praca zyskałaby na jakości, gdyby Autor częściej zadawał pytanie „dlaczego?”, zamiast ograniczać się do stwierdzenia „odnotowano zmianę”. Także terminologia bywa niekiedy uproszczona, co wymaga od czytelnika wyłuskania istotnej treści naukowej z gąszczu informacji technicznych.

Mając na uwadze te uwarunkowania, za kluczowe punkty dyskusyjne uznałem:

1. Stopień ogólności części opisowej: Niektóre fragmenty pracy, dotyczące np. aluminium i jego stopów czy historii firmy Złotecki, wydają się zbyt obszerne i nie wnoszą nowych treści do naukowego wymiaru rozprawy.
2. Uproszczenia w analizie mikrostruktury: Wnioski dotyczące rozdrobnienia struktury oparto na obserwacjach jakościowych; praca zyskałaby na wartości, gdyby Autor przeprowadził ilościową ocenę parametrów strukturalnych (np. wielkość ziarna, odległości między ramionami dendrytów).
3. Interpretacja zjawisk rafinacyjnych: na przykład Autor odnotował spadek lejućności po rafinacji czy obniżenia zawartości gazów rozpuszczonych, jednak zabrakło głębszego wyjaśnienia tych zjawisk.

Niezależnie od wskazanych niedociągnięć, recenzowana praca stanowi wartościowy materiał badawczy, który warto doprecyzować w toku dyskusji. W związku z powyższym, proszę Doktoranta o odniesienie się do następujących kwestii, które pozwolą na pełniejszą interpretację uzyskanych wyników:

- Jakie przesłanki fizykochemiczne mogą tłumaczyć zaobserwowany przez Autora spadek wskaźnika DI po 5 godzinach wytrzymywania stopu WT-2, co wydaje się przeczyć zjawisku wtórnego zawodorowania?
- Czy w badaniach mikrostrukturalnych podjęto próbę ilościowej oceny udziału bi-filmów tlenkowych i jak ich obecność korelowała z wynikami testu K?
- Jakie mechanizmy fizykochemiczne decydują o skuteczności procesu alfinizacji w przypadku stosowanych stopów i jak wpływają one na wiązanie wkładki z osnową?
- Czy na podstawie przeprowadzonych badań ATD można precyzyjnie określić wpływ stopnia zawodorowania na temperaturę likwidus lub solidus badanych stopów?

Podsumowując, mimo pewnych niedostatków w warstwie teoretycznej i nadmiernego skupienia się na detalach instruktażowych, praca mgr. inż. Michała Starczewskiego broni się rzetelnością wykonanych badań i ich ogromną wartością praktyczną. Autor udowodnił, że potrafi zidentyfikować złożony problem techniczny i rozwiązać go w sposób metodyczny. Wyniki pracy mają charakter wdrożeniowy i stanowią solidną podstawę do dalszego doskonalenia procesów odlewniczych.

5. Wniosek końcowy

W oparciu o analizę przedłożonej rozprawy doktorskiej należy stwierdzić, że Pan mgr inż. Michał Starczewski po zdefiniowaniu celu oraz zakresu pracy konsekwentnie realizował przyjęty program badań o charakterze technologicznym i materiałowym. Doktorant, koncentrując się na praktycznych aspektach procesu odlewniczego, przeprowadził obszerny i wielowątkowy cykl analiz ukierunkowanych na identyfikację źródeł wad odlewniczych oraz optymalizację przygotowania ciekłego stopu aluminium.

Podsumowując, stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska pt. „Identyfikacja parametrów technologicznych przygotowania ciekłego stopu determinujących jakość odlewów tłokowych” spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Biorąc powyższe pod uwagę, wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr. inż. Michała Starczewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w tym do publicznej obrony rozprawy przed Radą Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej

Krzysztof Naplocha

