

Stalowa Wola, 12.09.2023 r.

**dr hab. inż. Andrzej TRYTEK, prof. PRz**

POLITECHNIKA RZESZOWSKA im. Ignacego Łukasiewicza  
Wydział Mechaniczno-Technologiczny  
Zakład Wytwarzania Komponentów i Organizacji Produkcji  
ul. Kwiatkowskiego 4, 37-450 Stalowa Wola

## **RECENZJA**

rozprawy doktorskiej

**mgra inż. Michała Derenia**

pt.: „*Opracowanie ulepszonego rozwiązania konstrukcyjnego regeneratora termicznego w aspekcie ekonomicznym i ekologicznym*”,

której promotorem jest dr hab. inż. Mariusz Łucarz prof. AGH

Zlecenie wykonania recenzji, otrzymano od Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie prof. dr hab. inż. Agnieszki Kopii pismem RD IMat.510-200-88/2023.

### **1. Tematyka rozprawy**

Wymagania odbiorców odlewów oraz ochrony środowiska i BHP zmuszają producentów do zmian technologicznych aby sprostać tym wyzwaniom. Jednocześnie rosnące koszty produkcji, w tym szczególnie energii przyczyniają się do szukania oszczędności przy równoczesnym zachowaniu wysokiej jakości odlewów i komponentów.

Nowoczesne firmy wprowadzają działania, które skierowane są na zrównoważony rozwój. Sprawia to, że produkcja jest coraz bardziej przyjazna dla środowiska, ekologiczna, niskoenergetyczna i niskoemisyjna. Produkcja wysokojakościowych odlewów z uwzględnieniem wymienionych aspektów sprawia, że to wyzwanie dla przedsiębiorstwa metalurgicznego wymagające pogodzenia wielu czynników technologicznych i ekonomicznych ze skutkami ekologicznymi. Nowe rozwiązania technologiczne są konieczne ale wymagają pozyskania wiedzy poprzez badania i eksperymenty naukowe. Takim trudnym do pogodzenia procesem, który bardzo mocno łączy czynniki ekologiczne, koszty energii i emisję spalin jest proces regeneracji termicznej mas formierskich i rdzeniowych w odlewniach.

Stąd też uważam, że tematyka podjęta w rozprawie doktorskiej mgra inż. Michała Derenia pt.: „*Opracowanie ulepszonego rozwiązania konstrukcyjnego regeneratora termicznego w aspekcie ekonomicznym i ekologicznym*”, jest bardzo trafna i konieczna dla branży odlewniczej w Polsce zarówno pod względem użytecznym jak i poznawczym. Dodatkowo pozytywnym znaczeniem jest realizacja tej pracy w warunkach produkcyjnych odlewni Iwamet Sp. z o.o. w Stalowej Woli.

### **2. Charakterystyka i układ pracy**

Rozprawa doktorska mgra inż. Michała Derenia liczy 127 stron. Składa się z dwóch zasadniczych części: teoretycznej i praktycznej, na które składają się: streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wprowadzenia, następnie część teoretyczna (składająca się z 5 podrozdziałów),

część praktyczna (składająca się z 6 rozdziałów), spis literatury oraz wykazów rysunków, tabel i publikacji Doktoranta. W pracy zamieszczono 36 tabel oraz 87 rysunków i 2 równania. Literatura zawiera 84 pozycje krajowe i zagraniczne, w tym 7 cytowań internetowych.

### 2.1. Część teoretyczna

W części teoretycznej rozprawy (rozdział 2), w podrozdziale 2.1. Autor scharakteryzował metody regeneracji mas formierskich i rdzeniowych w szczególności regenerację termiczną. W podrozdziale 2.2. przedstawił urządzenia do regeneracji termicznej charakteryzując typy stosowanych palenisk, omówił ich działanie oraz przeznaczenie przemysłowe, wady i zalety. Podrozdział 2.3. Doktorant poświęcił współczesnym rozwiązaniom technicznym stosowanym do dopalania gazów odlotowych w reaktorach. Przedstawił metody ograniczające emisję gazów, dopuszczalne stężenia substancji szkodliwych oraz rodzaje reaktorów i pieców. W podrozdziale 2.4. Autor scharakteryzował procesy i związki chemiczne występujące podczas regeneracji termicznej mas formierskich i rdzeniowych. Przedstawił udział żywicy w odlewnictwie, wady i zalety ich oddziaływanie z ciekłym metalem oraz regenerację. W podrozdziale 2.5. Doktorant omówił metody oceny jakości regeneratu instrumentalne oraz badawcze. Szczegółowo omówił metody analizy jakościowej i ilościowej gazów powstających podczas regeneracji mas oraz kinetykę wydzielania gazów podczas destrukcji termicznej spoiw organicznych.

Część teoretyczną i praktyczną oddziela rozdział 3. Tezy oraz cel i zakres pracy. Przedstawione w części teoretycznej informacje oraz wieloletnie doświadczenie przemysłowe Autora przyczyniły się sformułowania trzech tez:

- *„Zastosowanie komory dopalania gazów jako dodatkowego członu uzupełniającego instalacji do regeneracji termicznej, pozwala na ograniczenie emisji gazów powstałych w wyniku spalania zużytego spoiwa syntetycznego z powierzchni ziaren osnowy w obniżonej temperaturze regeneracji.*
- *Obniżenie standardowej temperatury procesu w przestrzeni roboczej regeneratora termicznego, z dodatkowo zastosowaną komorą dopalania wydzielania gazów, zmniejsza zapotrzebowanie energetyczne instalacji, przy jednoczesnym zachowaniu dobrej jakości uzyskiwanej osnowy ziarnowej.*
- *Zastosowanie w regeneratorze termicznym obniżonej temperatury wypalania zużytego spoiwa z mas syntetycznych do 600°C nie pogarsza w istotny sposób parametrów jakościowych wykonywanych odlewów, otrzymanych z zastosowaniem tak uzyskanego regeneratu.”*

Autor postawił dwa główne cele: ekonomiczno-ekologiczny (doprecyzowany czterema celami szczegółowymi) oraz cel jakościowy (z dwoma celami szczegółowymi).

Na podstawie sformułowanych tez oraz postawionych celów Doktorant opracował ośmiopunktowy plan i zakres rozprawy.

### 2.2. Część praktyczna

W rozdziale 4. dotyczącym koncepcji przeprowadzonych badań Autor doprecyzował, że postawione tezy i określone cele pracy odnoszą się do warunków przemysłowych odlewni aluminium Iwamet Sp. z o.o. w Stalowej Woli. W dalszej części Doktorant przedstawił rodzaje stosowanych mas formierskich, ich przygotowanie i przeznaczenie. Jako masę formierską do badań wytypowano masę z żywicą syntetyczną (furfurylową). Masę tę przygotowano i stosowano dla

dwóch typów: I typ – sporządzanie w mieszarko-nasypywarce oraz II typ – sporządzanie w drukarce 3D. Masy te przygotowywano i regenerowano osobno. Masy wyjściowe poddano badaniom: analizie sitowej, odczynu pH, morfologii i składu chemicznego, strat prażenia, wytrzymałości na zginanie oraz przepuszczalności. Autor zaplanował przeprowadzenie regeneracji termicznej w pięciu temperaturach 600°C, 650°C, 700°C, 750°C i 800°C, dla włączonej i wyłączonej komory dopalania spalin. Założono wykonanie form odlewniczych z mas formierskich po regeneracji termicznej oraz wykonanie odlewów. Następnie zaplanowano przeprowadzenie badań penetracyjnych w celu ujawnienia wad powierzchniowych oraz badań rentgenograficznych w celu ujawnienia wad wewnętrznych odlewów. Zaplanowano opracowanie założeń konstrukcyjnych i dobranie parametrów pracy komory dopalania spalin oraz określenie zapotrzebowania energetycznego dla procesu regeneracji termicznej w badanym zakresie temperatur. Wskazano na zmiany konstrukcyjne i modyfikacje jakie należy przeprowadzić w stanowisku regeneratora termicznego dla realizacji celów i założeń programu badań.

W rozdziale 5 rozprawy Doktorant scharakteryzował materiały i metodykę zastosowane w badaniach. Przedstawił właściwości wytypowanych piasków oraz żywic i utwardzaczy. Wykonał analizę sitową piasków i badania mikroskopowe oraz przedstawił etapy procesu regeneracji wraz ze schematem linii regeneracyjnej. W badaniach mas formierskich Autor posługiwał się następującymi metodami badań: analizą sitową, badaniem wytrzymałości na zginanie, przepuszczalnością, stratami prażenia, odczynem pH, morfologią osnowy (z wykorzystaniem elektronowego mikroskopu skaningowego). Jakość odlewów autor ocenił wykorzystując badania penetracyjne (metodę fluorescencyjną PT) oraz badania rentgenowskie RTG. W badaniach regeneratu Autor posłużył się pomiarami stężenia gazów w regeneratorze z nowoopracowaną komorą dopalania. Procedury badań zostały wykonane w warunkach przemysłowych z zastosowaniem norm.

Wyniki badań oraz ich analizę Doktorant przedstawił w rozdziale 6. Wyniki badań zostały zestawione w formie tabel, zdjęć SEM oraz wykresów liniowych i kolumnowych. Autor dokonał także obliczeń zużycia energii elektrycznej i gazu wykorzystywanych w pracy regeneratora termicznego przy różnych parametrach oraz oszacował koszt jednostkowy.

Część praktyczną zakończono podsumowaniem pracy badawczej i wnioskami.

W podsumowaniu, rozdział 7, Autor odniósł się do tez rozprawy i realizacji postawionych celów. Obszernie przedstawił zagadnienia zakresu oddziaływania zanieczyszczeń powietrza na zdrowie człowieka. Dokonał porównania ilości stężeń gazów, z grupy BTEX, w odniesieniu do środowiska (w wodzie, w gruncie, w powietrzu) oraz w wytypowanych miejscach pracy (warsztat samochodowy i motocyklowy, stacja benzynowa, droga miejska, budynki i tereny miejskie) i odniósł się do ilości tych gazów powstających w komorze dopalania spalin podczas regeneracji mas formierskich. Oceniał także jakość odlewów wykonanych z zastosowaniem mas po regeneracji ze zmodyfikowaną komorą dopalania. Oszacował także roczne oszczędności w przypadku zastosowania komory dopalania spalin o nowej konstrukcji oraz obniżenia temperatury w komorze roboczej regeneratora.

Pracę Autor zakończył w rozdziale 8 syntetycznymi wnioskami, które odnoszą się do poszczególnych badań, osiągniętych rezultatów i analiz kosztów.

### 3. Ocena rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Michała Derenia zawiera drobne błędy edytorskie i graficzne. Błędy nie są przytaczane w recenzji, zostały oznaczone w pracy i przesłane Autorowi.

Przytoczę kilka sugestii, na które Doktorant powinien zwrócić uwagę w dalszych opracowaniach naukowych i publikacjach.

- Jakość cytowanych rysunków: ostrość, kontrast, wielkość czcionki (np. rysunki 5, 11, 12, 16).
- Pomiar zawartości węgla (metodą EDS) to trudne zadanie dla naukowca. Jak Doktorant ocenia dokładność pomiarów węgla w spoiwie na powierzchni ziaren (tabele 19, 20, 21, 22, 23) ?
- Strona 82, rozdz. 6.5 Autor pisze: „*Formy wypełniano stopem przygotowanym podczas jednego wytopu*” Jak długi był czas od przygotowania masy formierskiej i wykonanych form odlewniczych do zalania poszczególnych form z różnymi rodzajami osnowy piaskowej ? Jak to mogło wpłynąć na właściwości masy i jakość odlewów ?
- Wyniki badań penetracyjnych, strona 84, Autor pisze np.: „*Nie stwierdzono dużych skupisk oraz wskazań liniowych nieszczelności, a także pęcherzy, które mogłyby dyskwalifikować dany odlew*”, jednocześnie na rysunkach 61, 63, 67, 69, 71 widoczne są punkty sugerujące, że takie wady mogły się pojawić.
- Na rysunku 65 widoczne są wskazania z badań penetracyjnych, które Autor opisuje: „*Widoczne dwa, wskazania pęcherzy są w pełni dopuszczalne i wielkość jest znacznie poniżej wielkości granicznej, dla której wada ta byłaby dyskwalifikująca odlew*”. Jak to zostało ocenione, które to wskazania ? Brak skali porównawczej.
- Rozdz. 6.3, Tab. 17, Autor nieprecyzyjnie stwierdza: „*... że w badanym zakresie temperatura w komorze regeneratora nie ma bezpośredniego, znaczącego wpływu na charakterystykę osnowy ziarnowej.*” Jednakże przedstawione w tabeli 17 wyniki wskazują na różnice szczególnie parametru GG – stopnia jednorodności od 71% do 77% i  $F_g$  – frakcji głównej od 85% do 92%. Są to zmiany wynoszące odpowiednio około 10% i 8% i warto to zaznaczyć.
- Rozdz. 6.3, Tab. 18. i str. 65, Autor nieprecyzyjnie stwierdza: „*W badanym zakresie temperatury regeneracji termicznej poziom przepuszczalności jest wystarczający i zmienia się nieznacznie*”. Jednak przepuszczalność zmienia się z 326 do 390 lub z 393 do 423. Są to znaczne zmiany wynoszące odpowiednio około 21% i 8% i warto to zaznaczyć.

Wymienione powyżej uwagi oraz błędy nie umniejszają wartości naukowej i merytorycznej niniejszej pracy.

### 4. Osiągnięcia Doktoranta

Doktorant zaprezentował w rozprawie oryginalną metodykę badawczą opracowaną dla potrzeb realizacji celu naukowego pracy i udowodnienia postawionych tez.

Autor opracował własny projekt nowej komory dopalania spalin. Opracował założenia konstrukcyjne i technologiczne, które umożliwiły przeprowadzenie badań w warunkach produkcyjnych odlewni Iwamet Sp. z o.o. w Stalowej Woli.

Przeprowadzenie badań w warunkach produkcyjnych, bez wpływu na bieżącą produkcję to trudne wyzwanie dla firmy i dla naukowca. Wieloletnie doświadczenie produkcyjne doktoranta, umiejętność przewidywania i konieczności realizacji odpowiednich prób oraz doświadczeń wskazuje na Jego duże predyspozycje naukowo-badawcze. Proces regeneracji termicznej to trudny

proces, wrażliwy na wiele parametrów i wymagający ścisłej kontroli ze względu na zdrowie i życie obsługi oraz ochronę środowiska i jego koszty. Stąd też wymagał on precyzyjnego planu, który został opracowany i zrealizowany.

Autor przygotował plan badawczy uwzględniający wiele zmiennych parametrów procesu regeneracji termicznej. W planie uwzględnił również ich wpływ na jakość wykonanych odlewów.

Przedstawiona przez Doktoranta nowa konstrukcja komory dopalania spalin może być zastosowana do innych procesów przemysłowych związanych z utylizacją odpadów.

Warto podkreślić, że Doktorant jest również współautorem 10 publikacji i zgłoszenia patentowego P.430443 z 2019 r. „*Sposób regeneracji masy formierskiej*”, co dodatkowo świadczy o bezpośrednim przełożeniu na przemysł i wdrożeniowym charakterze pracy.

## 5. Uwagi i pytania do Doktoranta

Podsumowując recenzję rozprawy doktorskiej mgra inż. Michała Derenia proszę o odpowiedź na poniższe pytania:

1. Czy jest możliwy odzysk ciepła z komory dopalania spalin ?
2. Masa formierska typu II po regeneracji praktycznie nie zmieniła swoich parametrów osnowy (tabele 7 i 13). Natomiast w przypadku regeneracji masy typu I parametry osnowy zmieniły się znacząco (tabele 4 i 9). Jak to można wyjaśnić ?
3. Czy konieczne jest włączenie komory dopalania skoro przy temperaturze regeneracji 800°C bez komory dopalania (tabele 31 i 32, wiersz 10) uzyskuje się zbliżone wyniki jak przy regeneracji 600°C z włączoną komorą dopalania (Tab. 31 i 32, wiersz 3) ?
4. Czy w obliczonych kosztach regeneracji, str. 102 - wzór 1 i 2, uwzględniono koszty serwisowania regeneratora ? Czy wyliczone koszty uwzględniają dodatkowe koszty wykonania konstrukcji komory dopalania ?

## 6. Wniosek końcowy

Rozprawa mgra inż. Michała Derenia pt.: „*Opracowanie ulepszanego rozwiązania konstrukcyjnego regeneratora termicznego w aspekcie ekonomicznym i ekologicznym*”, **spełnia wymagania dotyczące prac doktorskich:**

- Doktorant przedstawione w rozprawie tezy udowodnił i poparł uzyskanymi wynikami badań, które zrealizował zgodnie z przedstawioną koncepcją i planem badawczym,
- przygotował i opracował założenia konstrukcyjne nowej komory dopalania spalin, parametry technologiczne i oryginalną metodykę badawczą, które umożliwiły przeprowadzanie badań w warunkach produkcyjnych,
- opracował wyniki badań w formie graficznej, tabel oraz przedstawił ich opisy i analizę,
- rezultaty zrealizowanej pracy wnoszą nową wiedzę do praktyki odlewniczej w obszarze regeneracji mas i są oryginalnym wkładem naukowo-badawczym w rozwoju tej branży,
- wyniki przeprowadzonych badań zostały wdrożone w produkcji odlewni Iwamet Sp. z o.o.,
- uzyskane wyniki z zakresu konstrukcji komory dopalania spalin mogą być zastosowane w innych obszarach gospodarki związanej z utylizacją odpadów.

Recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Michała Derenia, pt.: „*Opracowanie ulepszanego rozwiązania konstrukcyjnego regeneratora termicznego w aspekcie ekonomicznym i ekologicznym*”, to oryginalne opracowanie, w którym Autor dowiódł umiejętności samodzielnego planowania i rozwiązywania zadań badawczych. Dokonał analizy literatury, przygotował koncepcję i

na tej podstawie opracował plan eksperymentów badawczych. Doktorant wykazuje również dobre predyspozycje do opracowania, interpretacji i analizy wyników badań zarówno w niniejszej pracy jak i dotychczasowym dorobku naukowo-badawczym. Warty podkreślenia jest aspekt praktyczny tej pracy. Jej użyteczny charakter daje możliwość aplikacji w innych zastosowaniach przemysłowych. Przedstawiona do recenzji praca jest bardzo dobrze opracowana a osiągnięcia Doktoranta przedstawione w niniejszej rozprawie, przeprowadzone badania oraz wyniki mają dużą interdyscyplinarną wagę naukową i rozwojową. **Dlatego biorąc to pod uwagę niniejsza rozprawa doktorska mgra inż. Michała Derenia, zasługuje na wyróżnienie.**

Mając na uwadze powyższe stwierdzenia uważam, że rozprawa doktorska mgra inż. Michała Derenia, pt.: „*Opracowanie ulepszonych rozwiązań konstrukcyjnych regeneratora termicznego w aspekcie ekonomicznym i ekologicznym*” spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z późniejszymi zmianami. **Wnoszę, do Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Akademii Górniczo-Hutniczej im Stanisława Staszica w Krakowie, o dopuszczenie do publicznej obrony mgra inż. Michała Derenia.**

