

Dr hab. inż. Marian Niesler

Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny

Ul. K. Miarki 12-14

44-100 Gliwice

Recenzja pracy doktorskiej

Mgr inż. Łukasza Myćki

pod tytułem:

**Badania możliwości wykorzystania biomasy jako reduktora w procesach
redukcji materiałów tlenkowych metali nieżelaznych**

przygotowanej pod kierunkiem: prof. dr hab. inż. Jerzego Łabaja

KATEDRA INŻYNIERII PRODUKCJI

Wydział Inżynierii Materiałowej i Cyfryzacji Przemysłu

Opiekun pomocniczy ze strony przedsiębiorstwa: dr inż. Piotr Madej

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej w Katowicach, uchwałą z dnia 17 marca 2026 r.

2. Charakterystyka i opis rozprawy

Układ pracy jest typowy dla tego rodzaju rozpraw i logicznie prowadzi przez rozumowanie Autora. Recenzowana rozprawa doktorska obejmuje 149 stron, które ujęte są w 16 rozdziałach. Bibliografia zawiera 114 pozycji literaturowych.

Przemysł hutniczy podczas pirometalurgicznej produkcji metali z rud lub surowców wtórnych stosuje jako reduktor, węgiel w postaci koksu metalurgicznego. Zmniejszające się zasoby paliw kopalnych, rosnące opłaty za emisję CO₂ oraz konieczność osiągnięcia neutralności klimatycznej, powoduje konieczność poszukiwania reduktorów alternatywnych dla koksu. Taką alternatywą może być stosowanie reduktora w postaci biomasy.

W prezentowanej rozprawie Autor podjął próbę rozwiązania tego problemu poprzez określenie możliwości zastosowania wytypowanych rodzajów biomasy do redukcji tlenków metali w procesie przetopu żużli metalurgicznych.

W części literaturowej obejmującej rozdziały 1-5 Doktorant dokonał analizy wybranych właściwości fizykochemicznych tlenkowych materiałów metalonośnych. Spośród pyłów, zgarów i żużli metalurgicznych wybrał żużle, stanowiące pod względem ilościowym największą grupę tego typu materiałów. Przedstawił następnie podstawy termodynamiczne redukcji zawartych w nich tlenków metali, szczegółowo opisując redukcję tlenków metali za pomocą węgla, wodoru oraz metodą metalotermiczną. Podał również przykład przemysłowy redukcji żużla zawiesinowego w piecu elektrycznym łukowo-oporowym.

W rozdziale dotyczącym biomasy Doktorant przedstawił mechanizm jej powstawania oraz klasyfikację. Omawiając właściwości fizykochemiczne biomasy zwrócił uwagę na najważniejsze jej cechy jak ciepło spalania, rozmiar i kształt cząstek biomasy, właściwości mechaniczne i co najistotniejsze, udział części lotnych, które z punktu widzenia stosowania w procesach pirometalurgicznych mogą powodować szereg problemów technologicznych.

Omówił potencjał rynkowy tego surowca w skali krajowej, europejskiej i globalnej. Przeprowadził analizę termodynamiczną możliwości zastosowania biomasy jako reduktora tlenków metali zawartych w żużlach.

Pozytywnie oceniam ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Doktorant wykazał się znajomością termodynamicznych podstaw procesu redukcji tlenków metali różnymi reduktorami, ze szczególnym uwzględnieniem biomasy. Wykazał, na podstawie studium literaturowego, że biomasa nie jest praktycznie stosowana w hutnictwie jako alternatywny reduktor. Wskazał, że prowadzone są prace związane z podawaniem surowej biomasy do wielkich pieców lub procesów stalowniczych. Zwrócił uwagę na duży potencjał wdrożeniowy wykorzystania karbonizatu z biomasy jako zamiennik koksiku w procesie spiekania rud żelaza. W przypadku metalurgii metali nieżelaznych te badania są obecnie na niskim poziomie gotowości technologicznej TRL. Na tym tle Autor pokazał lukę badawczą dotyczącą zastosowania biomasy do redukcji tlenków metali.

Teza i cel pracy są jasno sformułowane, a zaproponowany zakres badań przejrzysto prezentuje drogę, jaką Autor zamierza udowodnić tezę i zrealizować cel pracy.

Bardzo ambitna jest teza, którą chce udowodnić Doktorant stwierdzając, że wysoki potencjał uwalnianych części lotnych z biomasy, może stanowić skuteczny reduktor mogący w całości lub częściowo zastąpić koks w procesie redukcji. Zgadzam się co do częściowego zastąpienia koksu, co do całkowitego zastąpienia, mam wątpliwości.

Część badawcza dysertacji została przedstawiona w rozdziałach 8-15. Badania prowadzone były w dwóch etapach. W etapie I, na podstawie danych statystycznych oraz literaturę wytypowano żużel o składzie zbliżonym do żużli z procesu zawiesinowego produkcji miedzi jako materiał metalonośny. Kryterium doboru biomasy był poziom dostępności na rynku krajowym, powszechność stosowania oraz możliwość zastosowania w procesach redukcji. Przygotowano dwanaście gatunków biomasy pochodzenia leśnego i drzewnego oraz rolniczego jako reduktory. Reduktorem referencyjnym był koks metalurgiczny. Przeprowadzono badania fizykochemiczne wybranych właściwości żużła, biomasy oraz koksu. Dla żużła wyznaczono skład chemiczny, temperaturę topnienia oraz lepkość. Dla różnych rodzajów biomasy oraz koksu wyznaczono skład chemiczny, ciepło spalania oraz reaktywność. Następnie wykonano w piecu laboratoryjnym próby redukcji żużła (200 g) z wykorzystaniem wytypowanej biomasy oraz koksu. Ze względu na wysoką zawartość części lotnych oraz reaktywność biomasy, była ona podawana na dno tygla i przykrywana warstwą badanego żużła. Wyniki przetopów redukcyjnych wykazały, że biomasa w postaci makucha rzepakowego spełnia przyjęte kryteria jak: uzysk Cu i Pb w stopach metalicznych, zawartość Cu oraz Pb w żużlach po redukcyjnych (max 1% mas. dla każdego z tych pierwiastków), stopień usunięcia Cu i Pb z żużła wyjściowego. Doktorant stwierdził, że aby usunąć z badanego żużła Cu i Pb do poziomu max 1% mas. w żużlu poredukcyjnym należy zastosować min. 15% mas. dodatek reduktora dla temperatury 1400°C i co najmniej 12% mas. dla 1450°C. Ponadto stwierdził, że odpowiednio dobrana biomasa pozwala na uzyskanie wyników porównywalnych lub nawet korzystniejszych w stosunku do tradycyjnie stosowanego w tych procesach koksu.

Na podstawie wyników z etapu I, w etapie II Autor przeprowadził badania redukcji żużła w skali pilotowej w piecu łukowo-oporowy o mocy 80 kW i pojemności komory roboczej wynoszącej około 20 dm³ wyposażonym w dwie elektrody grafitowe. Optymalne parametry przetopów redukcyjnych to: udział makucha rzepakowego w ilości 12% względem masy żużła oraz temperatura 1450°C. W oparciu o możliwości techniczne oraz doświadczenie biomasa była mieszana z żużlem i podawana do procesu w postaci brykietu o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej, wiązanego bentonitem i ługiem posulfitowym. Testy prowadzono w trzech wariantach. W pierwszym wariacie (P1) reduktorem była wyłącznie biomasa, w drugim (P2) biomasa i koks natomiast w trzecim (P3) sam koks. Doktorant stwierdził, że żużel poredukcyjny otrzymany w wariacie P1 nie spełniał założonych oczekiwań ze względu na zbyt wysoką zawartość Cu (około 2% mas. Cu

i 1% mas. Pb). W wariantcie P2 żużel poredukcyjny spełnił wymagania: zawartość Cu wyniosła 1% mas, a Pb 0,5% mas. Aby spełnić te wymagania konieczne było wzbogacenie procesu w ok. 2% mas. koksu. Bardzo zbliżone wyniki uzyskano w wariantcie referencyjnym P3, co potwierdziło wysoką efektywność redukcyjną makucha rzepakowego, jednakże czas procesu redukcji był dłuższy, a co za tym idzie również zużycie energii elektrycznej i elektrod grafitowych było większe.

Korzystne wyniki uzyskane w wariantcie P2 powinny być wykorzystane do opracowania założeń technologicznych do wdrożenia metody redukcji żużla za pomocą tego typu biomasy i koksu w hutach metali nieżelaznych.

Pozytywnie oceniam sposób realizacji badań przez Doktoranta. Szeroki zakres badań i metodyka badawcza potwierdzają umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta. Dysertacja zakończona jest wnioskami. Wyciągnięte wnioski są logiczne i mają potwierdzenie w prezentowanych wynikach.

Pytania:

1. *Czy żużel pochodził z konkretnej huty miedzi, czy został spreparowany na potrzeby pracy ?*
2. *Czy były robione analizy różnego rodzaju biomasy pod kątem zawartości części lotnych, czy posiłkowano się danymi literaturowymi ?*
3. *Str. 46 Rys.16. Na rysunku mamy opisane: ziarna kawy po ekstrakcji, wysłodki rzepakowe. W tab.5 na str. 47 mamy fusy z parzenia kawy i makuch rzepakowy. Czy mam rozumieć, że są to nazwy wymienne tych biomas ?*
4. *Str.82. Tab.14. Czym może być spowodowana tak duża różnica w masie stopu dla wysłodek melasowych (3,70g) oraz wysłodek niemelasowych (23,11g) ?*
5. *Na str. 108 Doktorant stwierdza: Ze względu na nietypowe zastosowanie metody badania reaktywności biomasy dedykowanej dla reduktorów w hutnictwie brak jest obecnie w literaturze podobnych badań, które można by porównać z uzyskanymi wynikami własnymi. Wyniki dla koksu są natomiast zgodne z danymi literaturowymi. Jaka była wielkość ziarna biomas oraz koksu podczas badania reaktywności ? Reaktywność zależy od wielkości ziarna.*
6. *Jaka była wielkość ziarna koksu podawanego do redukcji w ramach etapu II ?*
7. *Czy w ramach etapu II badane analizowana była emisja gazów odlotowych, czy tylko badano zawartość pyłu w instalacji odpylającej ?*

Przedstawiona praca stanowi oryginalne podejście do zagadnienia wykorzystania biomasy jako reduktora tlenków metali nieżelaznych w miejsc paliw kopalnych jak np. koks metalurgiczny. Odpowiada na potrzeby przemysłu i wpisuje się w proces

dekarbonizacji hutnictwa. Zaproponowany schemat procesu łączy naukę z praktycznym zastosowaniem technologicznym, tworząc podstawę do opracowania założeń do wdrożenia metod redukcji żużla za pomocą biomasy i koksu w warunkach przemysłowych.

Z obowiązku recenzenta muszę zwrócić uwagę na niestaranności, błędy edytorskie itd., które jednak nie umniejszają wartości rozprawy, a jedynie przeszkadzają w swobodnym jej czytaniu:

1. Str. 3. Streszczenie. 13-14 akapit od dołu. Jest:

Etap I – zadania o charakterze naukowy oraz Etap II – zadania o charakterze wdrożeniowy. Powinno być Etap I – zadania o charakterze naukowym oraz Etap II – zadania o charakterze wdrożeniowym.

2. Str.31. Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania – Dotyczy Tab.1

3. Str.35. 11 akapit od góry. Jest:... Wyniki tych badań wskazują, że zastąpienie pyłu koksowego biomasą...Powinno być:...Wyniki tych badań wskazują, że zastąpienie koksiku biomasą...W spiekaniu rud żelaza używany tej nomenklatury.

4. Str.35. 5 akapit od dołu: Jest: ...reakcja Buduarda. Powinno być:...reakcja Boudouarda.

5. Str.40. Cel pracy. Jest: Głównym celem pracy było określenie możliwości zastosowania wytypowanych materiałów biomasowych do drodze redukcji....Powinno być:...na drodze redukcji...lub...do redukcji...

6. Str. 47. Tab.5. Jest: Zawartość poszczególnych składników materiałów biomasowych. Powinno być: Zawartość poszczególnych składników materiałów biomasowych i koksu.

7. Str.59. Wzór (33). Jest: n_{pb} Powinno być: n_{cu}

8. Str. 99. 6 akapit od dołu. Jest: Ilości składników w przeliczeniu na 100 g żużla przedstawiono w....Brakuje: ...w Tab.49.

9. Str.104. Tytuł podrozdziału 13.2 Jest: Właściwości fizykochemicznych biomasy i koksu. Powinno być; 13.2 Właściwości fizykochemiczne biomasy i koksu.

10. Str. 122. 6 akapit od góry. Jest: ... w postaci uzyskanej masy. Powinno być: w postaci uzyskanej masy.

Zawarte w recenzji uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i oczekuję, że Doktorant odniesie się do nich w trakcie obrony. Nie umniejszają one mojej pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej.

3. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że opracowane przez Autora nowe podejście do zagadnienia wykorzystania biomasy jako reduktora tlenków metali nieżelaznych jako częściowy zamiennik paliw kopalnych, jak np. koks metalurgiczny, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Praca ma niewątpliwe cechy pracy użytecznej, dzięki opracowaniu założeń do wdrożenia metody redukcji żużla za pomocą biomasy i dodatku koksu w warunkach przemysłowych.

Zakres pracy jaki został włożony przez Pana mgr inż. Łukasza Myćkę w przeprowadzenie badań, opracowanie otrzymanych wyników oraz ich interpretację, wymagał od Doktoranta szerokiej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie inżynieria materiałowa i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. (j.t. Dz.U. z 2024.poz.1571) 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.



Podpisał: dr hab. inż. Marian Niesler