

Prof. dr hab. inż. Marek Wojnicki

Wydział Metali Nieżelaznych

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Recenzja rozprawy doktorskiej

**Pana mgr. inż. Łukasz Myćka**

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

**Promotor:** prof. dr hab. inż. Jerzy Łabaj

## **Wstęp:**

Rozprawa doktorska mgr. inż. Łukasza Myćki dotyczy zagadnienia wykorzystania materiałów biomasowych jako alternatywnych reduktorów w procesach pirometalurgicznego przerobu tlenkowych materiałów metalonośnych, ze szczególnym uwzględnieniem żużli zawierających miedź i ołów. Tematyka pracy wpisuje się w aktualne kierunki badań nad dekarbonizacją przemysłu ciężkiego, ograniczeniem zużycia paliw kopalnych oraz poszukiwaniem rozwiązań zgodnych z założeniami gospodarki o obiegu zamkniętym. Sam wybór problemu badawczego należy ocenić jako trafny, aktualny i istotny zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i aplikacyjnego.

Zastosowanie biomasy jako reduktora w procesach odzysku metali z materiałów tlenkowych jest podejściem interesującym, ponieważ łączy zagadnienia metalurgii ekstrakcyjnej, termochemii, inżynierii procesowej, gospodarki odpadami oraz transformacji energetycznej przemysłu. W szczególności praca podejmuje problem, który ma znaczenie praktyczne dla hutnictwa metali nieżelaznych, gdzie nadal szeroko stosowane są klasyczne reduktory węglowe, przede wszystkim koks. Autor wskazuje, że głównym celem rozprawy było określenie możliwości zastosowania biomasy do redukcji tlenków metali, natomiast celem użytkowym było wyznaczenie parametrów procesu w skali laboratoryjnej i ich weryfikacja w skali pilotowej. Taki układ pracy nadaje jej charakter nie tylko poznawczy, ale również technologiczny.

### **1. Charakterystyka ogólna i struktura pracy**

Rozprawa ma klasyczną, logiczną strukturę właściwą dla pracy eksperymentalnej z obszaru inżynierii materiałowej i metalurgii. Obejmuje część literaturową, sformułowanie tezy i celu pracy, opis planu badań, charakterystykę materiałów, opis metodyki badawczej, prezentację wyników, ich omówienie, dyskusję oraz wnioski końcowe. Spis treści wskazuje na 16 zasadniczych rozdziałów, uzupełnionych bibliografią oraz spisami ilustracji i tabel. Część literaturowa obejmuje charakterystykę tlenkowych surowców wtórnych metali, właściwości żużli metalurgicznych, podstawy termodynamiczne redukcji tlenków metali, opis procesu redukcji żużla zawiesinowego w piecu elektrycznym oraz charakterystykę biomasy jako surowca odnawialnego.

Układ rozprawy należy ocenić pozytywnie. Autor prowadzi czytelnika od zagadnień ogólnych, przez opis podstaw termodynamicznych i technologicznych, do badań własnych. Szczególnie korzystne jest rozdzielenie części badawczej na dwa etapy. Etap I obejmuje zadania o charakterze naukowo-laboratoryjnym, natomiast Etap II ma charakter wdrożeniowy i służy weryfikacji możliwości przeniesienia uzyskanych wyników do warunków zbliżonych do praktyki przemysłowej. Taka konstrukcja pracy jest zasadna, ponieważ pozwala ocenić nie tylko skuteczność wybranego bio reduktora w warunkach modelowych, ale również jego zachowanie w bardziej złożonym układzie technologicznym.

Za wartościowy element rozprawy uznaję szeroki przegląd potencjalnych materiałów biomasowych. Autor podzielił je na dwie zasadnicze grupy: biomasę pochodzenia leśnego i drzewnego oraz biomasę pochodzenia rolniczego. Wśród badanych materiałów znalazły się m.in. trociny różnych gatunków drewna, płyty meblowe, szyszki sosny, łuski słonecznika, łupiny orzecha włoskiego, wystodki buraczane, makuch rzepakowy oraz ziarna kawy po ekstrakcji. Tak szeroki dobór materiałów należy ocenić pozytywnie, ponieważ pozwalał na wstępne porównanie surowców o różnym pochodzeniu, składzie chemicznym, reaktywności i wartości energetycznej.

Jednocześnie warto zauważyć, że dobór biomasy wymaga nie tylko oceny jej właściwości fizykochemicznych, ale również realnej dostępności rynkowej i logistycznej. W tym kontekście pewnym ograniczeniem części dyskusyjnej pracy jest stosunkowo niewielkie rozwinięcie problemu konkurencyjnych zastosowań badanych biomas. Trociny, szczególnie czyste i jednorodne, są obecnie materiałem poszukiwanym i w dużej mierze zagospodarowanym w sektorze paliw stałych, pelletów, zgazowania i lokalnego ogrzewnictwa. Z kolei płyty meblowe, pomimo niższej atrakcyjności energetycznej, stanowią odpad trudniejszy w klasycznym zagospodarowaniu ze względu na obecność klejów, żywic, lakierów i potencjalnie niekorzystnych dodatków chemicznych. Właśnie dlatego ich wykorzystanie w kontrolowanych procesach wysokotemperaturowych, wyposażonych w systemy oczyszczania gazów, mogłoby mieć szczególne znaczenie aplikacyjne.

Z tego punktu widzenia pewien niedosyt budzi fakt, że płyty meblowe zostały poddane jedynie charakterystyce oraz próbie przesiewowej, ale nie zostały włączone do zasadniczych serii badań redukcji. Autor wytypował jako najlepszy materiał makuch rzepakowy, co wynikało z przyjętego kryterium masy otrzymanego stopu w badaniach wstępnych. Makuch rzepakowy dał najwyższą masę stopu, wynoszącą 24,53 g, podczas gdy płyta meblowa I i II dały odpowiednio 19,96 g oraz 19,57 g. Różnica jest zauważalna, ale nie eliminuje znaczenia płyt meblowych jako potencjalnie interesującego surowca odpadowego.

Zastosowany w pracy system oznaczeń serii eksperymentalnych IB–VIR jest formalnie wyjaśniony, jednak z punktu widzenia czytelności nie jest optymalny. W rozdziale wynikowym wskazano, że seria IB odpowiada badaniom z makuchem rzepakowym w temperaturze 1300°C, IIB w 1400°C, IIIB w 1450°C, natomiast serie IVR–VIR odnoszą się do badań referencyjnych z koksem. Oznaczenia te są logiczne po ich rozszyfrowaniu, ale w tabelach i wykresach wymagają od czytelnika ciągłego powracania do wcześniejszego opisu. Uzupełnienie tabel i wykresów o opisy typu „IB – biomasa, 1300°C” lub „VIR – koks, 1450°C” znacząco poprawiłoby przejrzystość prezentacji danych.

## 2. Ocena merytoryczna

Najważniejszym walorem rozprawy jest podjęcie realnego problemu technologicznego i jego przeanalizowanie w sposób eksperymentalny. Autor nie ograniczył się do rozważań teoretycznych, ale przeprowadził kompleksowy program badań obejmujący charakterystykę żużla, ocenę właściwości fizykochemicznych bioreduktorów, badania reaktywności, wstępne próby redukcji, właściwe serie laboratoryjne oraz próby pilotowe. Taki zakres badań świadczy o dużym nakładzie pracy eksperymentalnej.

Za szczególnie wartościowe uznaję połączenie badań laboratoryjnych z badaniami pilotowymi. W wielu rozprawach doktorskich z obszaru technologii materiałowych etap aplikacyjny pozostaje na poziomie deklaratywnym, natomiast w ocenianej pracy autor podjął próbę sprawdzenia, czy wyniki laboratoryjne mogą zostać przeniesione do reaktora o większej skali. W Etapie II dobrano parametry na podstawie badań laboratoryjnych, przyjmując dodatek makuchu rzepakowego na poziomie 12% mas. względem masy żużla oraz temperaturę 1450°C. Następnie opracowano sposób podawania biomasy w postaci aglomeratów/brykietów zawierających żużel, biomasę i dodatki spajające.

Wyniki badań pilotowych są szczególnie interesujące, ponieważ pokazują zarówno potencjał, jak i ograniczenia proponowanego rozwiązania. Próba z użyciem wyłącznie bioreduktora nie pozwoliła w pełni osiągnąć założonego kryterium technologicznego, natomiast wariant z dodatkiem niewielkiej ilości koksu dał już bardzo dobre rezultaty. W próbach pilotowych P1–P3 uzyskano żużle poredukcyjne o różnej zawartości Cu i Pb; w wariacie P2, obejmującym biomasę oraz niewielki dodatek koksu, zawartość Cu w żużlu poredukcyjnym wyniosła 1,0% mas., a Pb 0,2% mas., co spełniało założenia pracy. Dla porównania próba P3 z koksem dała 0,9% Cu i 0,1% Pb, natomiast P1 z samą biomasą pozostawiła 2,0% Cu i 1,0% Pb.

Wyniki te prowadzą do ważnego wniosku technologicznego: biomasa, w szczególności makuch rzepakowy, może pełnić funkcję skutecznego reduktora, ale w warunkach skali pilotowej całkowite zastąpienie koksu może być trudne. Bardziej realistyczny kierunek wdrożeniowy stanowi częściowe zastąpienie koksu biomasą lub

wykorzystanie układu hybrydowego biomasa–koks. Sam autor we wnioskach wskazuje, że w skali pilotowej wykorzystanie samego makuchu rzepakowego nie pozwoliło osiągnąć założonych rezultatów, natomiast konieczne było wzbogacenie procesu o niewielką ilość koksu, około 2% mas.

Od strony merytorycznej bardzo dobrze wypada systematyczna charakterystyka materiałów. Autor oznaczył skład chemiczny badanych biomas, ciepło spalania oraz reaktywność względem CO<sub>2</sub>. W tabeli składu materiałów biomasowych przedstawiono głównie zawartość O, C oraz wybranych pierwiastków mineralnych, takich jak Ca, S, K, Si, Na, Mg i P. Z punktu widzenia proponowanego zastosowania słusznie uznano zawartość węgla za jeden z kluczowych parametrów reduktora.

Pewnym ograniczeniem tej części pracy jest brak pogłębionej analizy frakcji mineralnej, zwłaszcza popiołu po spalaniu lub pirolizie badanych materiałów biomasowych. Bezpośrednia analiza materiału organicznego, w którym dominują C, O i H, może prowadzić do niedoszacowania znaczenia składników mineralnych występujących w niewielkich stężeniach w surowej biomase, ale mogących istotnie wpływać na skład żużla, korozyjność układu, emisję pyłów, powstawanie faz wtórnych lub zachowanie wyłożenia ogniotrwałego. W przypadku płyt meblowych szczególnie istotna byłaby analiza obecności pierwiastków związanych z klejami, żywicami, lakierami i dodatkami technologicznymi. Można tu wymienić potencjalnie problematyczne związki chloru, fluoru lub inne składniki nieorganiczne, które w procesach wysokotemperaturowych mogą wpływać na emisje, skład pyłów i trwałość instalacji. Uzupełnienie pracy o analizę popiołu lub karbonizatów znacząco zwiększyłoby jej wartość aplikacyjną.

Bardzo ciekawym wynikiem jest wysoka wartość ciepła spalania makuchu rzepakowego. Autor wykazał, że ciepło spalania tego materiału w stanie suchym wynosiło około 25 MJ/kg, podczas gdy dla koksu hutniczego około 31 MJ/kg. Wartość ta jest wysoka i zbliża makuch rzepakowy do klasycznych paliw stałych, co tłumaczy jego dobrą skuteczność w badaniach redukcji. Jednocześnie wynik ten ma również istotną konsekwencję ekonomiczną: materiał o tak wysokiej wartości energetycznej i paszowej nie jest typowym odpadem bez wartości rynkowej. W praktyce makuch rzepakowy stanowi wartościowy produkt uboczny przemysłu olejarskiego, wykorzystywany m.in.

jako pasza. Przy cenach rynkowych rzędu wskazywanego przez recenzenta, tj. około 1200 PLN za tonę, pełnoskalowe zastosowanie takiego surowca w hutnictwie wymagałoby bardzo starannej analizy ekonomicznej.

W tym kontekście płyty meblowe, mimo niższego ciepła spalania, mogą być bardziej interesujące z punktu widzenia gospodarki odpadami. Autor wykazał dla nich ciepło spalania na poziomie około 19 MJ/kg, a więc niższe niż dla makuchu rzepakowego, ale nadal technologicznie istotne. Jednocześnie odpady płyt meblowych są problematyczne w klasycznym spalaniu rozproszonym, szczególnie w małych instalacjach pozbawionych oczyszczania spalin. W instalacjach metalurgicznych, w których proces jest wysokotemperaturowy, a gazy procesowe mogą być oczyszczane, taki materiał mógłby stanowić atrakcyjny kierunek dalszych badań. Z tego względu szkoda, że autor nie przeprowadził choćby ograniczonej serii badań właściwych dla płyt meblowych, szczególnie że w badaniach przesiewowych ich wyniki nie były skrajnie słabe.

Przyjęte kryterium wyboru najlepszego bioreduktora, czyli masa uzyskanego stopu w badaniach wstępnych, jest praktyczne i zrozumiałe, ale można je uznać za pewne uproszczenie. Masa stopu jest ważnym wskaźnikiem efektywności redukcji, jednak nie opisuje w pełni jakości procesu. Dodatkowe kryteria, takie jak skład stopu, stopień usunięcia Cu i Pb z żużla, bilans masowy metali, ilość pyłów, straty ołowiu do fazy gazowej, zachowanie reduktora oraz wpływ dodatków mineralnych, mogłyby pozwolić na bardziej wielokryterialną ocenę. Szczególnie w przypadku materiałów odpadowych, takich jak płyty meblowe, nie zawsze najwyższa masa stopu musi oznaczać najlepszy kompromis technologiczny, ekonomiczny i środowiskowy.

W części dotyczącej wyników laboratoryjnych autor wykazał, że efektywna redukcja Cu i Pb wymaga odpowiedniej temperatury oraz odpowiedniego udziału reduktora. Zgodnie z wnioskami, uzyskanie zawartości Cu i Pb w żużlu poredukcyjnym na poziomie nie większym niż 1% mas. wymagało zastosowania co najmniej 17% mas. reduktora w temperaturze 1400°C lub co najmniej 12% mas. w temperaturze 1450°C. Jest to ważny wynik, ponieważ wskazuje na istotną rolę temperatury w obniżeniu wymaganego dodatku bioreduktora.

Na pozytywną ocenę zasługuje również wykonanie badań referencyjnych z koksem. Dzięki temu autor mógł porównać skuteczność bioreduktora z klasycznym reduktorem stosowanym w procesach hutniczych. Praca nie ogranicza się więc do stwierdzenia, że biomasa „działa”, ale pokazuje jej efektywność na tle materiału odniesienia. Autor wskazuje, że odpowiednio dobrany biomasowy reduktor pozwala uzyskać wyniki porównywalne lub w niektórych przypadkach korzystniejsze względem koksu. Jednocześnie w dyskusji słusznie zauważa, że gorsze wyniki części prób z koksem mogą wynikać nie z niskiego potencjału koksu, lecz z krótszego czasu procesu w stosunku do jego niższej reaktywności.

W pracy występują jednak elementy, które wymagają krytycznego komentarza. Po pierwsze, prezentacja niektórych danych mogłaby być bardziej przejrzysta. Tabele 15 i 16 zawierają dużą ilość wartości liczbowych, a ich interpretację utrudnia wspomniany system oznaczeń serii IB–VIR. Dane są wartościowe, ale sposób ich przedstawienia wymaga od czytelnika dużej koncentracji. W pracy doktorskiej o charakterze technologicznym wskazane byłoby większe wykorzystanie tabel syntetycznych, w których dla każdej serii podano by jednoznacznie: reduktor, temperaturę, dodatek reduktora, zawartość Cu i Pb w żużlu poredukcyjnym, uzysk metali oraz spełnienie lub niespełnienie kryterium technologicznego.

Po drugie, w tabeli 57 występuje redakcyjna niekonsekwencja: pozycje 4 i 5 oraz 9 i 10 odnoszą się ponownie do płyt meblowych I i II, co sprawia wrażenie powtórzenia tych samych rekordów. Dodatkowo referencje przypisano do całej tabeli, a nie do poszczególnych materiałów lub zakresów danych literaturowych. W przypadku tabel porównawczych, szczególnie zestawiających dane własne z literaturowymi, bardziej poprawne byłoby przypisanie konkretnych źródeł do poszczególnych rekordów.

Po trzecie, w części graficznej pewne wątpliwości budzą linie trendu na wykresach. Autor wyjaśnia, że na wykresach punktowych dla serii IB–IIIB zastosował wielomianowe linie trendu w celu poprawy przejrzystości prezentowanych danych. Jednak w przypadku wyników eksperymentalnych tego typu linie mogą sugerować istnienie modelu matematycznego lub fizycznego, którego autor nie formułuje ani nie uzasadnia. Jeżeli linie trendu mają wyłącznie charakter wizualny, powinno to być wyraźnie zaznaczone w podpisach rysunków. W przeciwnym razie korzystniejsze byłoby połączenie punktów

prostymi odcinkami albo pozostawienie samych punktów pomiarowych. Dotyczy to zwłaszcza rysunków przedstawiających uzyski i stopnie usunięcia metali, takich jak Rys. 56–61.

Po czwarte, w pracy pojawiają się drobne niekonsekwencje redakcyjne i terminologiczne, które nie obniżają zasadniczej wartości naukowej rozprawy, ale powinny zostać poprawione przed ewentualnym przygotowaniem publikacji. Przykładem może być pojawiające się w omówieniu oznaczenie „IVB”, mimo że system serii obejmuje IB, IIB, IIIB oraz IVR, VR, VIR. W kontekście dużej liczby oznaczeń eksperymentalnych takie omyłki mogą prowadzić do niejasności interpretacyjnych.

### **Kryteria merytoryczne i naukowe**

Pod względem oryginalności rozprawa spełnia wymagania stawiane pracy doktorskiej. Oryginalność nie polega tutaj na samym stwierdzeniu, że biomasa może być reduktorem, ponieważ takie kierunki badań są już obecne w literaturze, szczególnie w odniesieniu do metalurgii żelaza. Oryginalny jest natomiast sposób ujęcia problemu w odniesieniu do tlenkowych materiałów metalonośnych z obszaru metali nieżelaznych, dobór materiału modelowego zawierającego Cu i Pb, systematyczne porównanie różnych biomas oraz przejście od badań laboratoryjnych do prób pilotowych. Oryginalny charakter ma również opracowanie sposobu podawania biomasy w formie brykietów zawierających żużel, reduktor i dodatki spajające.

Wkład rozprawy w rozwój dyscypliny należy ocenić pozytywnie. Praca wnosi nową wiedzę dotyczącą możliwości zastosowania wybranych materiałów biomasowych w procesach redukcji żużli zawierających metale nieżelazne. Szczególnie cenne są dane porównawcze dla różnych typów biomasy, wyniki badań reaktywności, wyniki redukcji laboratoryjnej oraz doświadczenia ze skali pilotowej. Wkład pracy ma charakter zarówno poznawczy, jak i praktyczny. Nie jest to rozprawa ukierunkowana na budowę nowego modelu teoretycznego redukcji, ale raczej na eksperymentalne rozpoznanie i ocenę przydatności bioreduktorów w warunkach procesowych. Taki charakter jest w pełni uzasadniony w dyscyplinie nauki inżynierjno-techniczne.

Samodzielność badawcza doktoranta jest widoczna w sposobie zaplanowania i realizacji badań. Autor sformułował problem badawczy, dobrał materiały, przeprowadził

ich charakterystykę, zaplanował serie eksperymentalne, wykonał badania redukcji w skali laboratoryjnej, a następnie uczestniczył w przejściu do skali pilotowej. Szczególnie istotne jest to, że praca obejmuje wiele typów danych: chemicznych, termicznych, procesowych i bilansowych. Ich zestawienie oraz interpretacja wymagały umiejętności inżynierskiego myślenia o procesie, a nie jedynie wykonania pojedynczej analizy laboratoryjnej.

Wiedzę teoretyczną autora oceniam pozytywnie. Część literaturowa pokazuje znajomość podstaw redukcji tlenków metali, roli koksu, reakcji Boudouarda, znaczenia aktywności składników w żużlach, właściwości fizykochemicznych żużli oraz specyfiki biomasy. Autor poprawnie osadza swoje badania w kontekście technologii hutniczych oraz transformacji przemysłu w kierunku ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>. Część teoretyczna mogłaby być miejscami bardziej krytyczna, szczególnie w odniesieniu do ograniczeń biomasy jako surowca rynkowego oraz potencjalnych skutków wprowadzania składników mineralnych i organicznych do procesu hutniczego, ale ogólnie stanowi solidne tło dla badań własnych.

Poprawność metodologiczną pracy oceniam jako dobrą. Program badań jest spójny i logiczny. Autor rozpoczyna od charakterystyki materiałów, następnie wykonuje badania przesiewowe, wybiera najlepszy reduktor, prowadzi właściwe serie laboratoryjne i weryfikuje wyniki w skali pilotowej. Kryteria oceny procesu, takie jak zawartość Cu i Pb w żużlu poredukcyjnym, uzysk metali oraz stopień ich usunięcia z żużla, są właściwe dla tego typu badań. Na uznanie zasługuje również wykonanie bilansów masowych. Pewne ograniczenia metodologiczne dotyczą natomiast wyboru tylko jednego materiału do dalszych badań, braku szerszej analizy popiołu i frakcji mineralnej bio reduktorów oraz ograniczonej liczby powtórzeń w części przesiewowej, jeżeli rzeczywiście badania te nie były powtarzane. Warto byłoby, aby autor jednoznacznie wskazał, które eksperymenty wykonano w powtórzeniach, a które miały charakter pojedynczych prób rozpoznawczych.

Znajomość literatury przedmiotu oceniam jako wystarczającą i szeroką. Autor omawia literaturę dotyczącą żużli metalurgicznych, redukcji tlenków metali, biomasy oraz potencjału jej wykorzystania. Bibliografia obejmuje zarówno zagadnienia podstawowe, jak i aplikacyjne. Pewnym mankamentem jest sposób prezentacji niektórych danych literaturowych, szczególnie w tabelach zbiorczych, gdzie lepszym rozwiązaniem byłoby

przypisanie konkretnych referencji do konkretnych rekordów. Nie zmienia to jednak ogólnej oceny, że autor wykazał znajomość literatury niezbędnej do realizacji pracy.

### **3. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Rozprawa doktorska mgr. inż. Łukasza Myćki stanowi wartościowe opracowanie dotyczące możliwości wykorzystania biomasy jako reduktora w procesach redukcji tlenkowych materiałów metalonośnych. Temat jest aktualny, ważny i zgodny ze światowymi trendami w zakresie dekarbonizacji przemysłu, ograniczania zużycia paliw kopalnych oraz zagospodarowania strumieni odpadowych. Praca łączy aspekt naukowy z aplikacyjnym, co jest szczególnie cenne w obszarze inżynierii materiałowej i metalurgii.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy zaliczam systematyczne porównanie szeregu materiałów biomasowych, wytypowanie makuchu rzepakowego jako najskuteczniejszego bioreduktora w przyjętym układzie badawczym, określenie wpływu temperatury i dodatku reduktora na skuteczność usuwania Cu i Pb z żużła, porównanie wyników z klasycznym reduktorem w postaci koksu oraz przeprowadzenie prób pilotowych. Szczególnie istotny jest wniosek, że biomasa może istotnie zastąpić część koksu, choć w warunkach pilotowych całkowite zastąpienie koksu okazało się mniej skuteczne niż wariant hybrydowy biomasa–koks.

Uwagi krytyczne dotyczą głównie zakresu interpretacji aplikacyjnej, przejrzystości prezentacji danych oraz pewnych aspektów metodycznych. W mojej ocenie autor powinien mocniej przedyskutować ekonomiczną i logistyczną dostępność badanych biomas, zwłaszcza fakt, że makuch rzepakowy jest wartościowym surowcem paszowym, a nie odpadem bez wartości rynkowej. Z drugiej strony płyty meblowe, mimo mniej korzystnych parametrów energetycznych, mogą być bardzo interesujące z punktu widzenia zagospodarowania odpadu trudnego do utylizacji. Brak pogłębionych badań tego materiału stanowi pewne ograniczenie aplikacyjne pracy. Wskazane byłoby również uzupełnienie badań o analizę popiołu lub pozostałości mineralnej bioreduktorów, szczególnie w kontekście wpływu na skład żużła, emisję pyłów i potencjalne oddziaływanie na instalację.

Powyższe uwagi nie podważają jednak zasadniczej wartości rozprawy. Mają one charakter dyskusyjny i wskazują raczej kierunki dalszego rozwoju badań niż błędy uniemożliwiające pozytywną ocenę pracy. Autor wykazał się znajomością podstaw teoretycznych, umiejętnością planowania i prowadzenia badań eksperymentalnych, zdolnością interpretacji wyników oraz świadomością aplikacyjnego znaczenia uzyskanych rezultatów.

Reasumując, przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pana Łukasza Myćki, pod tytułem " *Badania możliwości wykorzystania biomasy jako reduktora w procesach redukcji materiałów tlenkowych metali nieżelaznych*" odpowiada swoim poziomem naukowym i metodycznym wymaganiom ustawowym i zwyczajowym stawianym pracom doktorskim. Rozprawa doktorska spełnia warunki określone w art. 187 ust. 1-4 ustawy z dnia 20 lipca 2018 - Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (t. j. Dz. U. z 2018 r. poz. 1668).



Prof. dr hab. inż. Marek Wojnicki