

dr hab. inż. Stanisław Małecki, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Metali Nieżelaznych

Kraków, 22.05.2026

Recenzja pracy doktorskiej

mgr inż. Łukasza Kortyki

**pod tytułem: „Badania odzysku metali z wybranych żużli metalurgicznych
z wykorzystaniem płytek obwodów drukowanych jako reduktora”**

**przygotowanej pod kierunkiem:
promotora prof. dr hab. inż. Jerzego Łabaja
promotora pomocniczego dr inż. Piotra Madeja**

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej, na podstawie uchwały z dnia 17 marca 2026 roku.

Podstawa prawna: art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku „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.

Ad1.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska Pana mgr inż. Łukasza Kortyki pt.: „Badania odzysku metali z wybranych żużli metalurgicznych z wykorzystaniem płytek obwodów drukowanych jako reduktora” świadczy o znacznej wiedzy teoretycznej Doktoranta nabytej w zakresie dyscypliny Inżynieria Materiałowa. Dowodem na to jest część teoretyczna pracy przedstawiona w rozdziale II (Przegląd literaturowy). Wprowadza ona w sposób wystarczający, a w niektórych przypadkach nawet bardzo szczegółowy w tematykę rozprawy. Przegląd literaturowy oparty jest w większości o pozycje z ostatnich 20 lat. Sposób analizowania literatury wskazuje, że Doktorant biegle porusza się w tematyce pracy a także potrafi korzystać z baz wiedzy i krytycznie analizować pozyskane informacje.

Ad 2.

Oceniana rozprawa doktorska pokazuje, że Doktorant posiadał umiejętność samodzielnego planowania i realizacji badań naukowych. Opisy planowanych eksperymentów, opis aparatury, wykaz wykonanych prac oraz ich dokumentacja i interpretacja są klarowne i jednoznaczne. Należy również docenić umiejętność doboru materiału badawczego i analitycznego. Pozwoliło to na ciekawe sformułowanie wniosków i podkreśla opanowanie przez autora warsztatu badawczego. Atutem pracy jest także opracowanie wytycznych do wdrożenia proponowanego rozwiązania do zastosowań przemysłowych, co w przypadku doktoratu wdrożeniowego ma istotne znaczenie i powinno być wysoko oceniane.

Ad 3.

Techniki i technologie wprowadzania złomu elektronicznego do procesów metalurgicznych są powszechnie znane. Istotą proponowanego przez Doktoranta rozwiązania jest zwrócenie uwagi na możliwość zastąpienia w procesach redukcyjnych koksu przez organiczne składniki płytek obwodów drukowanych. Przeprowadzone badania pozwoliły na uzyskanie nowych informacji poszerzających wiedzę w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

W myśl art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.) przedstawione do oceny dzieło spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim.

2. Charakterystyka i opis rozprawy

Przedstawiona praca napisana jest w układzie klasycznym z podziałem na część stanowiącą przegląd literatury, zadania o charakterze badawczo-naukowym oraz zadania o charakterze wdrożeniowym. Całość pracy obejmuje 190 stron, składa się z 4 rozdziałów oraz wykazu literatury, spisu rysunków i tabel.

Bibliografia obejmuje 124 pozycje, z czego 115 to pozycje wydane po 2000 roku. Przy kilku pozycjach internetowych podano datę dostępu natomiast nie wiadomo z jakiego okresu pochodzą dane. Jako jedną z pozycji podano ofertę handlową ale nie wiadomo z jakiego okresu pochodzi. Tym niemniej, rozległy zakres cytowanej literatury wskazuje na szczegółową analizę dostępnych źródeł i dobre rozpoznanie tematu.

Pod względem językowym i edytorskim praca posiada pewne drobne niedociągnięcia, które w żadnym stopniu nie wpływają na moją wysoką ocenę. Zawarte w pracy rysunki i tabele są dobrej jakości i pokazują dużą staranność Doktoranta w tym zakresie.

3. Omówienie tematyki i celu pracy

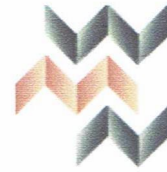
Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy możliwości recyklingu żużli metalurgicznych poprzez redukcję z wykorzystaniem, w charakterze reduktora, złomu płytek obwodów drukowanych. Proponowane rozwiązanie wpisuje się w założenia Gospodarki Obiegu Zamkniętego, wpływając na zużycie surowców pierwotnych oraz ograniczając emisję CO₂. Praca realizowana była pod kątem wdrożenia co ewidentnie uwidacznia się w trakcie jej czytania. Autor dobrze porusza się po temacie, co potwierdza jego bardzo dobre przygotowanie merytoryczne. Istotnym atutem pracy jest umiejętność łączenia wiedzy teoretycznej z praktycznym jej zastosowaniem.

Przegląd literaturowy obejmujący strony 12-47 zawiera 4 podrozdziały oraz podsumowanie. Przy opisie teoretycznych podstaw redukcji autor tylko lakonicznie wspomina o roli reakcji Boudouarda. Ponadto, z uwagi na proponowane wykorzystanie do redukcji złomu płytek obwodów drukowanych cennym byłoby poświęcenie uwagi teoretycznym aspektom redukcji tlenków za pomocą wodoru i węglowodorów. Dokonując charakterystyki płytek obwodów drukowanych Doktorant zamieszcza ich szczegółową analizę (tab. 2, str. 33) nie podając zawartości węgla i wodoru, czyli składników decydujących o ich



AGH

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE



WYDZIAŁ METALI NIEŻELAZNYCH

zastosowaniu. Pomimo tych uwag ta część pracy jest wartościowa i pozwala Doktorantowi na prawidłowe postawienie tez pracy oraz sformułowanie celu pracy.

W rozdziale opisującym zadania o charakterze badawczo-naukowym (str. 50-129) autor w 4 podrozdziałach i podsumowaniu opisuje część laboratoryjną badań oraz przedstawia interpretację wyników. Ta część pracy jest bardzo obszerna i bardzo szczegółowa. Opisuje szereg badań właściwości fizykochemicznych złomów płytek oraz żużla metalurgicznego wykorzystanego w badaniach redukcji. Część z tych badań wymaga wyjaśnień, o które poproszę w dalszej części. Przedstawiony materiał daje wiele informacji dla dalszych badań ale niepełna analiza w zakresie zawartości węglowodorów lub wodoru nie charakteryzuje nam do końca materiału reduktora. Charakterystyka żużla stosowanego do badań jest pełna i wystarczająca. Słabo czytelny jest dyfraktogram rentgenowski (rys. 25, str. 81). Badania redukcji żużla zrealizowano w szerokim zakresie i pozwoliły na uzyskanie interesujących wyników, potwierdzających założenia badań. Występują w nich jednak pewne nieścisłości. Badania właściwości fizykochemicznych złomu płytek zrealizowano na próbkach o rozdrobnieniu ≤ 1 mm, do badań redukcji użyto materiału o wielkości ziarna ≤ 2 mm, a w przypadku koksiku ≤ 10 mm. Trudno później porównywać wyniki uzyskane przy stosowaniu złomu płytek obwodów drukowanych i koksiku. Niezbyt szczęśliwa jest również analiza wyników poprzez współczynnik podziału w odniesieniu do złota. Z zestawienia obliczonych wartości wynika, że złoto przechodzi do metalu w bardzo małym stopniu (niski współczynnik podziału) w porównaniu do innych metali a w podsumowaniu autor mówi o jego całkowitym przejściu do fazy metalicznej. Taki wynik jest efektem dokładności analiz chemicznych i nie można go interpretować. W podsumowaniu tej części stwierdzono spełnienie tez pracy oraz osiągnięcie założonych celów.

Ostatnia część pracy obejmuje zadania o charakterze wdrożeniowym (str. 130-171). Doktorant przeprowadził próby brykietowania żużla ze złomem płytek o różnym ich udziale w mieszance. Na podstawie oceny jakości brykietu określił optymalną zawartość złomu PCB w mieszance (30%). Brykiety były dodawane do roztopionego żużla w takiej ilości aby zawartość złomu płytek stanowiła 10 % w odniesieniu do całkowitej masy zredukowanego żużla. Uzyskane wyniki wskazują na dużą efektywność procesu i osiągnięcie zamierzonych celów. Zakończeniem tej części są wnioski oraz instrukcja postępowania dotycząca wdrożenia proponowanego rozwiązania.

4. Uwagi i ocena pracy

Przedstawiona do oceny praca ma charakter wyraźnie praktyczny a zawarte w niej aplikacyjne rozwiązania stanowią istotne osiągnięcia autora. Pracę należy ocenić wysoko, jednak posiada ona również pewne wady i niedociągnięcia wymagające wyjaśnienia. Zostaną one wymienione poniżej jako dyskusyjne i wymagające krótkiego wyjaśnienia i komentarza.

Uwagi o charakterze dyskusyjnym:

- 1) W podrozdziale 1.2.2 autor charakteryzując redukcję tlenku miedzi (II) za pomocą żelaza mógł pokusić się o krótką analizę termodynamiczną, która uwiarygodniła by przedstawione rozważania.
- 2) Str. 21, rys. 5 – obliczenia powinny być odniesione do 1 mola np. Cu_2O i dopiero wówczas można porównać kolejność zachodzenia reakcji.
- 3) Str. 33, tab. 2 – w analizie zawartości składników w płytkach obwodów drukowanych brakuje mi oznaczenia węgla i wodoru, a są to składniki istotne z uwagi na traktowanie materiału jako reduktora.
- 4) Str. 128, wniosek 1 – w przypadku udziału żelaza w procesie redukcji jest to chyba nadinterpretacja, bo na podstawie badań nie można tego stwierdzić.
- 5) Str. 156 – brak komentarza do tabeli 75.

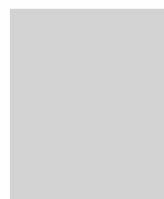
Uwagi wymagające komentarza i wyjaśnienia:

- 1) Podrozdział 1.1 – dlaczego uśrednianie prowadzono na materiale rozdrobnionym do 28 mm a później dopiero rozdrabniano do wielkości ziarna ≤ 1 mm?
- 2) Str. 57 – dlaczego nie wykonano badania gęstości nasypowej koksu użytego do badań tylko powołano się na dane literaturowe?
- 3) Podrozdział 1.4 – należy wykazać czy prawidłowe jest porównywanie reaktywności koksu i złomu płytek gdy znacząco różni się w nich zawartość składników reaktywnych a reaktywność odnosi się tylko do mas początkowej i końcowej. Ponadto, jak się mają dane masy próbek z rys. 22 do danych z rys. 19-21?
- 4) Str. 83 – dlaczego do badań redukcji używano frakcji złomu płytek o wielkości ≤ 2 mm a frakcji koksiku ≤ 10 mm?

- 5) Str. 125 – duże w niektórych przypadkach różnice bilansowe dla stopu autor tłumaczy możliwym rozwarstwieniem. Czy została ona stwierdzona, np. wizualnie czy to jest tylko domysł?

Wniosek końcowy

W podsumowaniu recenzji stwierdzam, że przesłana mi do opinii rozprawa doktorska Pana mgr inż. Łukasza Kortyki pt.: „Badania odzysku metali z wybranych żużli metalurgicznych z wykorzystaniem płytek obwodów drukowanych jako reduktora” spełnia wymagania 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.



Podpisał: dr hab. inż. Stanisław Małecki, prof. AGH