

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jadwigi Proksy

pt.: „Efektywność środowiskowa i ekonomiczna zastosowania przetworzonego lotnego popiołu fluidalnego w podziemnych technologiach górniczych”

1. Podstawa formalna recenzji

Przedmiotową recenzję opracowałam jako recenzent wyznaczony przez Radę Naukową Głównego Instytutu Górnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego, na podstawie pisma z dnia 21 sierpnia 2023 roku, wystosowanego przez Pana prof. dr hab. inż. Stanisława Pruska Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy i ocena formalna

Przedstawiona do recenzji praca doktorska Pani mgr inż. Jadwigi Proksy powstała pod kierunkiem Pani dr hab. inż. Anety Michalak, prof. Pol. Śl. pełniącej w przewodzie doktorskim obowiązki promotora oraz dr inż. Roberta Hildebrandta – promotora pomocniczego.

Rozprawa została napisana w języku polskim, zawiera 22 rysunki oraz 19. tabel. Przedmiotowa praca liczy łącznie 123 strony i składa się z 9. rozdziałów. Wykaz literatury obejmuje 150 pozycji reprezentatywnych dla tematu dysertacji. Dodatkowo praca zawiera spis pozostałych źródeł informacji zawierający: normy – 15 pozycji, akty prawne – 7 pozycji, a także strony internetowe – 8 pozycji. Zakres analizowanej w dysertacji literatury jest obszerny i prawidłowo dobrany.

Tytuł rozprawy odpowiada zawartej w niej treści. Uważam, że wybór obszaru badawczego jak i sformułowanie problematyki, w tym tytułu rozprawy, są uzasadnione i trafne.

Dysertacja Pani mgr inż. Jadwigi Proksy składa się z trzech zasadniczych części: studialnej, eksperymentalnej i analitycznej.

We *Wprowadzeniu* Autorka podaje uzasadnienie podjęcia tematu, zwracając uwagę na istotność podjętego w rozprawie problemu. W *rozdziale 2.* definiuje: cele (główny, teoriopoznawcze, użyteczne), tezę, 6 pytań badawczych oraz metody badawcze.

Przegląd obecnego stanu wiedzy w zakresie zastosowania lotnych popiołów fluidalnych w podziemnych technologiach górniczych został zawarty w *rozdziale 3.* W *rozdziale 4.* dokonano przeglądu stanu wiedzy w zakresie metod pomiaru efektywności środowiskowej. *Rozdział 5.* to przegląd stanu wiedzy w zakresie metod pomiaru efektywności ekonomicznej. Badania własne nad przetwarzaniem popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w kontekście technicznych możliwości zastosowania powstałego produktu zostały przedstawione w *rozdziale 6.* *Rozdziały 7. i 8.* stanowią odpowiednio: analizę efektywności środowiskowej oraz efektywności ekonomicznej zastosowania popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w podziemnych technologiach górniczych. W *rozdziale 7.* zawarto wyniki oceny cyklu życia wykonanej z zastosowaniem techniki LCA. Ocena cyklu życia została przeprowadzona zgodnie z zapisami normy PN-EN ISO 14044:2009 z wykorzystaniem programu SimaPro 9.3. *Rozdział 8.* zawiera analizę ekonomiczno-finansową opłacalności budowy i eksploatacji linii produkcyjnej kruszywa granulowanego na skalę przemysłową.

Podsumowanie oraz wnioski końcowe zostały przedstawione w *rozdziale 9.*

Rozprawa ma prawidłowy, spójny i logiczny układ. W zasadzie jest poprawnie opracowana edytorsko.

3. Ocena merytoryczna i uwagi krytyczne

Tematyka rozprawy doktorskiej pt.: *Efektywność środowiskowa i ekonomiczna zastosowania przetworzonego lotnego popiołu fluidalnego w podziemnych technologiach górniczych* jest oryginalna i interesująca.

Zagadnienie analizowane w pracy jest aktualne i ważne z użytecznego punktu widzenia. Zaproponowane przez Doktorantkę wykorzystanie popiołów fluidalnych do procesu karbonatyzacji jest metodą na ograniczenie emisji CO₂ oraz formą odzysku odpadów, wpisującą się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym.

Wybór przez Doktorantkę problematyki związanej z wykorzystaniem popiołów lotnych poddanych działaniu CO₂ w procesie mineralnej sekwestracji w podziemnej technologii górniczej oceniam pozytywnie. Podjęta tematyka odzysku odpadów w postaci popiołów fluidalnych z jednoczesnym ograniczeniem emisji ditlenku węgla, została bardzo dobrze dobrana i jest ważna z punktu widzenia ochrony środowiska. Na podkreślenie zasługuje

wskazanie sposobu zagospodarowania analizowanego produktu karbonatyzacji i granulacji w technologiach górniczych.

Pani mgr inż. Jadwiga Proksa wykazała się dobrą znajomością obecnego stanu wiedzy w zakresie tematyki dysertacji.

Praca została zaplanowana w sposób dokładny i przemyślany, co pozwoliło na osiągnięcie założonych celów pracy i rozwiązania postawionych w niej problemów naukowych.

Dla udowodnienia postawionej tezy Doktorantka zrealizowała program badań i przeprowadziła analizy środowiskową i ekonomiczną, co wymagało dużego nakładu pracy, jak również szerokiego spektrum umiejętności naukowo-badawczych.

Tematyka dysertacji jest wielowątkowa, a Doktorantka sprawnie wiąże aspekty środowiskowe z ekonomicznymi. Szczególnie istotne są badania laboratoryjne, a na podkreślenie zasługuje długi czas sezonowania próbek w warunkach kopalnianych.

Ważną część pracy stanowią badania eksperymentalne, a szczególnie trzyletnie sezonowanie wytworzonego granulatu w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” Głównego Instytutu Górnictwa.

Recenzowana dysertacja jest oryginalną pracą naukową o istotnym znaczeniu poznawczym oraz aktualnej, ważnej tematyce. Doktorantka wykazała się wiedzą niezbędną do osiągnięcia wyznaczonych celów oraz udowodnienia postawionej tezy, jak również umiejętnością trafnego wnioskowania i samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Cele postawione przez Doktorantkę zostały osiągnięte, a teza właściwie udowodniona. Sformułowane wnioski są poprawne i uzasadnione przedstawionymi wynikami badań i analiz.

Oryginalnym osiągnięciem Doktorantki jest wykazanie technicznej możliwości jednoczesnej karbonatyzacji i granulacji popiołów lotnych z kotłów fluidalnych oraz udowodnienie efektywności środowiskowej zastosowania produktu granulacji i karbonatyzacji lotnych popiołów z kotłów fluidalnych w technologiach górniczych. Realizacja pracy wniosła nową wiedzę z zakresu odzysku odpadów w procesie karbonatyzacji i zastosowania produktu procesu w technologiach górniczych.

Doktorantka nie uniknęła jednak pewnych nieścisłości, czasem przeoczeń i skrótów myślowych.

Lektura dysertacji nasunęła szereg pytań, komentarzy i wątpliwości, które ujęłam poniżej w kolejności chronologicznej:

- str. 10 – omawiając postępowanie z odpadami powinno się jednak wykorzystywać nazewnictwo ustawowe, zamiast utylizacji – przetwarzanie;
- str. 10 – zawartość CaO_w nie jest jedynym parametrem ograniczającym stosowanie popiołów fluidalnych w betonie. Popioły lotne z kotłów fluidalnych nie spełniają wymagań normy PN-EN 450-1:2012;
- str. 11 – wiązanie CO_2 to proces karbonatyzacji a nie karbonizacji;
- str. 11 – stwierdzenie, że: „*proces karbonatyzacji polega na zastosowaniu reakcji ditlenku węgla z wolnym tlenkiem wapnia zawartym w popiołach lotnych z kotłów fluidalnych w wyniku czego w strukturę popiołów wbudowany zostaje węglan wapnia*” jest zbyt dużym uproszczeniem;
- str. 11 – Proszę o wyjaśnienie stwierdzenia: „*Tak otrzymany produkt zawiera więc dodatkowy aktywny składnik istotny z punktu widzenia procesów wiązania spoiw na bazie cementu*”. Czy aktywnym składnikiem jest węglan wapnia?;
- str. 18 – w podrozdziale 3.1 nie scharakteryzowano popiołów lotnych z kotłów fluidalnych, jedynie zawarto informacje dotyczące ich klasyfikacji według aktów prawnych. Tytuł wskazuje, że podrozdział zawiera informacje dotyczące właściwości (składu chemicznego, fazowego czy granulometrycznego oraz mikrostruktury), które wpływają na kierunki odzysku. Wyjaśnienia wymaga (proszę o wyjaśnienie) opis tabeli 1 oraz cel jej zamieszczenia w tym rozdziale;
- str. 22–23 – Popioły fluidalne nie są najczęściej stosowanym dodatkiem do cementu i betonu, tylko popioły lotne ze spalania węgla kamiennego w kotłach konwencjonalnych. Opisano wpływ popiołów lotnych krzemionkowych na właściwości betonu, a nie fluidalnych. Popioły lotne z kotłów fluidalnych nie spełniają wymagań normy PN-EN 450-1:2012;
- tytuł rozdziału 3.4 jest nieadekwatny do zawartości, ponieważ nie zawiera informacji dotyczących procesu karbonatyzacji;
- str. 50 – w podrozdziale 6.1. nie zawarto charakterystyki popiołów zastosowanych do badań. Nie podano składu chemicznego, granulometrycznego, wymywalności zanieczyszczeń. Skład fazowy podany został dopiero w rozdziale 6.3.2;
- str. 58 – tabela 3. Zapis w tabeli sugeruje, że popioły fluidalne były mieszane z wolnym tlenkiem wapnia; a na stronie 50. zawarto informację, że popioły zawierają 3,8% CaO_w ;
- str. 62 – tabela 4. Wyjaśnienia wymaga (proszę o wyjaśnienie) stwierdzona obecność mullitu w popiołach fluidalnych;

- na stronie 52. zawarte są informacje na temat oznaczeń próbek. Próbką IV jest oznaczona jako GB-31. Czy próbki oznaczone jako: GB-31-1 oraz GB-31-2, są to te próbki różniące się uziarnieniem scharakteryzowane na str. 54?
- podrozdział 6.3.2 – w analizie składu fazowego brakuje odniesienia uzyskanych wyników do procesów zachodzących podczas karbonatyzacji. Brak analizy chemicznej popiołów oraz wód dołowych, w których sezonowano próbki, bardzo utrudnia interpretację wyników składu fazowego. Przykładowo: powstawanie gipsu można również łączyć z procesem karbonatyzacji ettringitu;
- str. 72 – technologia CCU to *Carbon Capture and Utilisation*;
- str. 77 – na rys. 16. nie ma danych dotyczących energii z odnawialnych źródeł i ich wpływu na ekotoksyczność wód i toksyczność rakotwórczą dla ludzi;
- str. 104 – z wniosku wynika, że dopiero po zastosowaniu procesu karbonatyzacji popioły fluidalne mogą być stosowane w technologiach górniczych, a przykładowo Bioeko Grupa TAURON Sp. z o.o. oferuje popiół lotny fluidalny 10 01 82 nie poddany procesowi karbonatyzacji do zagospodarowania w podziemnych wyrobiskach górniczych.

Przedstawione powyżej uwagi szczegółowe nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy i nie umniejszają osiągnięć Doktorantki.

Zdaniem recenzenta podstawowymi nieścisłościami w recenzowanej rozprawie są:

- brak analizy (rodzaje procesu, przebieg procesu, fazy ulegające karbonatyzacji) procesu karbonatyzacji przy wykorzystaniu popiołów lotnych fluidalnych;
- brak wyników analizy składu chemicznego, granulometrycznego popiołu fluidalnego oraz wymywalności zanieczyszczeń;
- zbyt ogólne potraktowanie procesu karbonatyzacji (które fazy reagują, jakie są produkty procesu) w opracowaniu wyników analizy składu fazowego;
- brak badań (nawet podstawowych) betonów z produktem granulacji – karbonatyzacji popiołów fluidalnych;
- niezbyt precyzyjny język w kilku miejscach pracy i niezbyt jasne przedstawienie treści (na przykład str. 70 – *do produkcji mieszanki betonowej poprzez zastąpienie kruszywa naturalnego w zaprawie betonowej*, str. 71 – *Zaproponowane rozwiązanie pozwala powtórnie wykorzystać zarówno ditlenek węgla, co pozwala uniknąć nadmiernej emisji jak i popiół, co pozwala uniknąć jego składowania lub utylizacji*),
- znaczna ilość błędów edytorskich, stylistycznych i interpunkcyjnych.

4. Ocena pracy jako rozprawy doktorskiej

Recenzowana praca ma charakter eksperymentalno-analityczny.

Głównym celem rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Jadwigi Proksy była ocena efektywności środowiskowej i ekonomicznej opracowanej nowej technologii przetwarzania popiołów lotnych z kotłów fluidalnych metodą karbonatyzacji ditlenkiem węgla w procesie granulowania do zastosowania w podziemnych technologiach górniczych. Dodatkowo sformułowano 2 cele teoriopoznawcze: systematyzowanie wiedzy w zakresie zastosowania popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w podziemnych technologiach górniczych oraz zidentyfikowanie narzędzi pomiaru efektywności środowiskowej i ekonomicznej. Wprowadzono również 4 cele użyteczne:

- opracowanie technologii przetwarzania metodą granulowania w atmosferze ditlenku węgla popiołów lotnych z kotłów fluidalnych,
- opracowanie technologii wytwarzania kruszywa granulowanego jako produktu rynkowego do zastosowania w podziemnych technologiach górniczych,
- ocena efektywności środowiskowej technologii wytwarzania kruszywa granulowanego w kontekście zastosowania w podziemnych technologiach górniczych,
- ocena efektywności ekonomicznej technologii wytwarzania kruszywa granulowanego w kontekście zastosowania w podziemnych technologiach górniczych.

W pracy została sformułowana teza, że *istnieje techniczna możliwość zastosowania przetworzonych popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w podziemnych technologiach górniczych i jest to uzasadnione środowiskowo i ekonomicznie.*

Postawiony przez Doktorantkę cel pracy jest oryginalny, a przedstawione zagadnienie naukowe jest ważne.

Autorka rozprawy wykazała się umiejętnością prowadzenia badań eksperymentalnych jak również prowadzenia analiz środowiskowej i ekonomicznej.

Doktorantka udowodniła postawioną tezę, a wnioski wynikające z pracy są prawidłowo udokumentowane. Przeprowadzone w pracy analizy potwierdzają prawidłowość sformułowanych tez i przyjętych założeń. Dysertacja stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Układ pracy jest poprawny i odpowiada przyjętym przez Doktorantkę założeniom badawczym.

Doktorantka prawidłowo przeprowadziła analizę wyników badań. Wykazała się umiejętnością formułowania i rozwiązywania problemów badawczych.

Trafność podjęcia tematu, układ rozprawy i wykorzystanie źródeł literaturowych oceniam pozytywnie.

Na podstawie sformułowanych przez Doktorantkę celów teoriopoznawczych i utylitarnych oraz postawionej w dysertacji tezy, jak również przedstawionych badań, analiz oraz wniosków uważam, że temat pracy jest adekwatny do treści w niej zawartych, a zagadnienie w niej rozważane ma znaczenie aplikacyjne.

Opracowany i zastosowany program badań oraz analiz, obejmujący badania laboratoryjne i analizy ekonomiczno-środowiskowe wymagał wiedzy merytorycznej oraz praktycznej i świadczy o dobrym przygotowaniu Doktorantki do prowadzenia badań naukowych, potwierdzając umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

5. Wniosek końcowy

Reasumując, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Jadwigi Proksy pt.: *Efektywność środowiskowa i ekonomiczna zastosowania przetworzonego lotnego popiołu fluidalnego w podziemnych technologiach górniczych*, spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku *O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. z 2003 r., nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami), stawiane rozprawom doktorskim. Rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego oraz dowodzi odpowiedniej wiedzy Doktorantki.

Na tej podstawie wnioskuję do Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr inż. Jadwigi Proksy pt.: *Efektywność środowiskowa i ekonomiczna zastosowania przetworzonego lotnego popiołu fluidalnego w podziemnych technologiach górniczych* i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

