

dr hab. Zdzisław Adamczyk, prof. PŚ.
Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa
i Automatyki Przemysłowej
Katedra Geologii Stosowanej

Gliwice, 21.07.2025 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pani mgr inż. Joanny Adamczyk

pt. „**Skład chemiczny i mineralny popiołów wytworzonych ze spalania/współspalania
niektórych surowców biomasowych i węgla kamiennego**”

Prómotor rozprawy: dr hab. Danuta Smółka-Danielowska, prof. UŚ.

1. Podstawa wykonania recenzji

Podstawą prawną sporządzenia niniejszej recenzji było pismo prof. dr hab. Ewy Łupikasz, Dyrektora Instytutu Nauk o Ziemi Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego o numerze WNP/BEOI.411.10.2025 z dnia 14.05.2025 r., informujące mnie o powołaniu przez Radę Naukową tego Instytutu na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny Adamczyk. Postępowanie prowadzone jest w dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku.

Recenzję przygotowano zgodnie z zapisami art. 187 Ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2018 poz. 1668, z dnia 20 lipca 2018 z późn. zmianami).

2. Znaczenie problematyki podjętej w rozprawie doktorskiej

Badania geochemiczne i mineralogiczne popiołów pochodzących ze spalania lub współspalania biomasy z węglem kamiennym w celach energetycznych są istotne dla oceny zgodności tych procesów z wymogami środowiskowymi Unii Europejskiej i prawa krajowego, dotyczącego odnawialnych źródeł energii. Skład chemiczny i mineralny powstających odpadów oraz obecność w nich pierwiastków toksycznych są kluczowe w takiej ocenie (mobilność pierwiastków, wpływ na glebę i wody gruntowe), w szczególności mając na względzie warunki termiczne kotła przy takim współspalaniu. Wyniki takich badań wspierają ograniczanie emisji zanieczyszczeń, ocenę możliwości wykorzystania produktów spalania oraz realizację celów polityki energetycznej i środowiskowej. Tematyka podjęta przez Doktorantkę jest moim zdaniem w pełni uzasadniona i trafna, stanowi aktualny i ważny kierunek badawczy, odpowiadający na współczesne wyzwania transformacji energetycznej i ochrony środowiska.

3. Struktura rozprawy doktorskiej oraz jej ogólna ocena

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Joanny Adamczyk liczy 135 stron, w tym: (i) 44 strony Autoreferatu (w tym spis literatury, 10 rysunków i 6 tabel), (ii) 69 stron to zbiór powiązanych tematycznie opublikowanych artykułów naukowych (kopie), (iii) 13 stron oświadczeń Doktorantki i współautorów o ich własnym wkładzie w powstanie publikacji, zaś pozostałe strony to spisy, streszczenie w języku angielskim, lista innych

aktywności związanych z tematyką badawczą (sześć wystąpień na konferencjach krajowych i międzynarodowych w latach 2021-2024) oraz podziękowania.

Autoreferat podzielony jest na logiczne rozdziały z treściami odpowiadającymi ich tytułom. Autoreferat sporządzono na podstawie zbioru powiązanych tematycznie czterech współautorskich artykułów naukowych, opublikowanych w języku angielskim w czasopismach z listy JCR (*Journal Citation Reports*), tj.:

- 1) Rare earth elements, uranium, and thorium in ashes from biomass and hard coal combustion/co-combustion, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 2023, współautorzy (3): Smółka-Danielowska D., Krzątała A. A., Krzykowski T. W.,
- 2) Chemical and mineral composition of bottom ash from agri-food biomass produced under low combustion conditions”, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2024, współautorzy (3): Smółka-Danielowska D., Krzątała A. A., Krzykowski T. W.,
- 3) Assessment of pollution by potentially toxic elements of agri-food biomass combustion ashes under different temperature regimes, *Archives of Environmental Protection*, 2025, współautor (1): Smółka-Danielowska D.,
- 4) Toxic elements, leachability, and the results of thermal analysis of woody biomass from the environment with varying degrees of pollution, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 2025, współautorzy (2): Labus M. i Smółka-Danielowska D.,

co jest zgodne z zapisami art 187, pkt 3 i 4 wspomnianej wcześniej Ustawy. Szczegóły opisu bibliograficznego tych publikacji znajdują się w rozprawie (vol., strony, DOI).

We wszystkich publikacjach Doktorantka była pierwszym autorem i oświadczenia współautorów artykułów wchodzących w skład rozprawy doktorskiej wskazują, że ich alfabetyczna kolejność to prawdopodobnie zbieżność, gdyż Pani mgr inż. Joanna Adamczyk miała wiodącą rolę w realizacji badań. Jej udział polegał na (w nawiasie podano liczbę artykułów ze zbioru z określonym wkładem autorskim): (i) opracowaniu koncepcji i metodologii (4), (ii) sformułowaniu celów (1), (iii) przygotowaniu próbek do badań (3), (iv) wykonaniu niektórych pomiarów (1), (v) interpretacji wyników badań w tym obliczenia wskaźników geochemicznych (4), (vi) redakcji manuskryptów (w tym tabele i grafika) (4), (vii) pełnieniu roli autora korespondencyjnego (2). Doktorantka wykazała się zatem kompetencjami na wszystkich etapach projektowania badań naukowych, ich realizacji oraz przygotowania publikacji naukowej, co dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej dla rozwiązania oryginalnego problemu naukowego.

Zbiór wskazanych publikacji ukazał się w czasopismach posiadających *Impact Factor* (IF), a łączne parametry bibliometryczne wynoszą: IF – 6.37, punktacja MNiSW – 370.

Uwagi

W Autoreferacie wkradł się pewien nieporządek z uwagi na powtórzenia sensu niektórych sformułowań, np. o:

- obecności pierwiastków potencjalnie toksycznych w popiołach z odpadów drzewnych,

- niższych zawartościach metali toksycznych w popiele z biomasy w porównaniu z popiołem węglowym,
- korozji kotłów lub ich stalowych elementów z uwagi na obecność w spalanej lub współspalanej z węglem biomasy chloru, siarki czy potasu i sodu,
- zagrożeniu gleb i wód gruntowych związanych z migracją lub ługowaniem toksycznych pierwiastków z popiołów do środowiska,

a także niekonsekwentne zastosowanie skrótu pierwiastków potencjalnie toksycznych (PPT) lub zastosowanie innych skrótów dla tego pojęcia (PTP, PTE). Pierwiastki te w innych fragmentach Autoreferatu nazywane są metalami toksycznymi i w większości przypadków wymieniane są rzeczywiście tylko metale spośród PPT, za wyjątkiem obliczanego wskaźnika Cf, w którym dwa niemetale – As i Se – zostały włączone do grupy metali.

W Autoreferacie prowadzono rozważania, rozpoczynające się następująco:

- „Dodanie popiołu z biomasy do popiołu węglowego może obniżyć temperaturę ...” oraz
- „Mieszanie popiołu węglowego i popiołu z biomasy może prowadzić do tworzenia nowych faz ...”,

co raczej wskazuje na pewien skrót myślowy, gdyż dodawanie lub mieszanie tych popiołów nie spowoduje opisywanych przez Doktorantkę skutków, natomiast popiół pochodzący ze współspalania tych paliw – tak.

Komentarz do tabeli 4, która nie jest zbyt jasno przedstawiona, nie do końca koresponduje z jej zawartością i danymi zawartymi w dwóch publikacjach wskazanych jako zbiór (dotyczy to publikacji 1) i 2)), np. popiół lotny z łusek słonecznika uzyskany w 400°C:

- zawiera m.in. fazę: tlenek potasu – jak podano w tabeli 4 Autoreferatu, natomiast
- w publikacji 2) nie wykazano fazy – tlenek potasu, ale zidentyfikowano m.in. dolomit i kalcyt, których brak w tabeli 4, podczas gdy
- w tekście brak informacji o dolomicie i kalcyście, ale dodatkowo pojawia się tlenek glinu, którego brak w tabeli 4 i nie wspomniano o nim w publikacji 2).

Takich niejednoznaczności jest kilka w Autoreferacie, przy czym niektóre wkradły się do *Podsumowania* (fazy definiowane w rozdz. 5 jako akcesoryczne w *Podsumowaniu* określono jako „powszechne”). Nie zauważyłem jednak takich niejednoznaczności w publikacjach.

W Autoreferacie bardzo często Doktorantka stosuje formę porównawczą (np. „zawartość jest wyższa”), nie podając punktu odniesienia (np. „od czego”), co powoduje, iż zdanie jest niepełne i niejasne, w związku z niedokończeniem porównania.

Na figurach 7 i 8 z zawartościami różnych pierwiastków, na osi X, które nie mają uporządkowania liczbowego ani logicznej ciągłości, łączenie punktów linią sugeruje istnienie trendu lub zależności między kolejnymi pierwiastkami, co jest mylące. Lepszą formą prezentacji jest wykres słupkowy lub punktowy (bez linii), stosowany na innych figurach.

Podsumowanie w Autoreferacie, moim zdaniem, jest trochę rozwlekłe, a część tekstu bardziej nadaje się do rozdz. 5. *Wyniki badań i dyskusja* rozprawy. Wprawdzie stanowi ono sedno *Conclusions* zamieszczonych w zbiorze publikacji, to brakuje w nim kilku zwięzłych wniosków, wskazujących jednoznacznie na realizację celów przyjętych w pracy.

Sformułowane przeze mnie powyższe uwagi do Autoreferatu (nie oczekuję ustosunkowania się do nich Doktorantki), wraz z nielicznymi błędami interpunkcyjnymi, literówkami, są dość drobiazgowo i nie mają wpływu na moją pozytywną ogólną ocenę rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Joanny Adamczyk.

4. Ocena merytoryczna rozprawy i uwagi

Pani mgr inż. Adamczyk wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną z dyscypliny, przedstawiając w Autoreferacie, a szczegółowo w *Introduction* do każdego z czterech opublikowanych powiązanych tematycznie współautorskich artykułów naukowych, przegląd krajowych i światowych osiągnięć dotyczących REY, popiołów lotnych i popiołów z biomasy jako ich alternatywnych źródeł oraz kwestii spalania i współspalania biomasy z węglem kamiennym. Rozważania te miały na celu określenie, która biomasa może być bezpiecznie spalana lub współpalana z węglem bez istotnego ryzyka dla środowiska w związku z rosnącym zapotrzebowaniem na energię i koniecznością ograniczenia emisji. Na tej podstawie Doktorantka sformułowała cel ogólny rozprawy:

„Celem zaprezentowanych w cyklu publikacji powiązanych tematycznie badań, stanowiących osiągnięcie naukowe, było określenie składu chemicznego i mineralnego, oraz możliwości wykorzystania biomasy rolno-spożywczej i biomasy drzewnej jako paliwa alternatywnego w różnych warunkach spalania.”

na który składały się cele szczegółowe badań, które – w mojej skróconej formie – mają możliwie wiernie oddać ich istotę i sens, sformułowane przez Doktorantkę:

- identyfikacja rodzajów biomasy możliwych do spalania w domowych paleniskach, m.in. po peletyzacji,
- określenie optymalnych proporcji mieszanki biomasy i węgla oraz warunków spalania,
- analiza zanieczyszczeń uwalnianych z popiołów biomasy drzewnej w procesie ługowania,
- badanie przemian termicznych zachodzących w drewnie w różnych temperaturach,
- ocena przydatności biomasy jako paliwa na podstawie wskaźników geochemicznych.

Moim zdaniem trafne cele rozprawy wskazują na utrwaloną ogólną wiedzę teoretyczną, zaś:

- dobór materiału badawczego (biomasa: wyłoki z jabłek, łupiny orzechów włoskich, łuski słonecznika, pellet z wiśni, brzoza i olcha; węgiel kamienny: typ 32; mieszanki: biomasa+węgiel kamienny),
- obróbka termiczna materiału badawczego (400, 450 i 850°C),
- szeroki wachlarz zastosowanych metod badawczych (analiza elementarna paliwa, XRD, SEM, ICP-MS i ICP-OES, AAS, chromatografia jonowa, TG/DSC-FTIR, i in.), a także
- zaprojektowanie i wykonanie niektórych badań dla realizacji celów,
- interpretacja uzyskanych wyników badań (w tym do oceny antropogenicznego zanieczyszczenia popiołów ze spalania stosowanych w geochemii środowiska: E – współczynniki emisji metali toksycznych do atmosfery, C_f – współczynnik zanieczyszczenia, PLI – wskaźnik obciążenia zanieczyszczeniem metalami toksycznymi środowiska, CD – stopień skażenia dla uproszczenia kontroli zanieczyszczeń, $BATI$ –

wskaźnik toksyczności dla oceny pierwiastków toksycznych w popiołach ze spalania biomasy i możliwości ich przydatności zastosowania w celach rolniczych; dla oceny przydatność popiołów do odzysku REY – współczynnik perspektywiczny – *Coutl*), dowodzą posiadania szczegółowej wiedzy teoretycznej, a także wysokich umiejętności Doktorantki do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Pani mgr inż. Joanna Adamczyk, przedstawiając w swojej rozprawie doktorskiej niezwykle istotne dla transformacji energetycznej i ochrony środowiska interpretację wyników badań, stworzyła naukowe podstawy do oceny skutków środowiskowych przy spalaniu lub współspalaniu biomasy z węglem. A zatem oryginalność tych badań nie budzi moich wątpliwości. Należy przy tym podkreślić, że wyniki badań mają charakter zarówno poznawczy, jak i użytkowy, dowodzą bowiem, że popioły ze spalania biomasy rolno-spożywczej wykazują:

- bardzo drobne uziarnienie, co sprzyja adsorpcji metali toksycznych i ich potencjalnej migracji do środowiska,
- zależność składu chemicznego i mineralnego od rodzaju biomasy oraz temperatury spalania, przy czym wyższe temperatury zwiększają zawartość As, Pb, Ni, Zn, Cu i Cr, natomiast niższe Cd i Se,
- wpływ wysokiej zawartości części lotnych w biomasie oraz zasadowe pH eluatu popiołów na emisję pyłów i mobilność niektórych pierwiastków, przy czym eluat z popiołów brzozy i olchy może zanieczyszczać wody i gleby,

Doktorantka wykazała przydatność indeksów *Cf* i *PLI*, mimo ograniczeń wynikających z regionalnych różnic tła geochemicznego.

Równocześnie argumentuje, że:

- popioły z wyłoków jabłek spalanych w 850 °C są umiarkowanie zanieczyszczone metalami toksycznymi, a z brzozy i olchy mogą być nieprzydatne rolniczo,
- popioły ze współspalania biomasy i węgla kamiennego mogą być potencjalnym źródłem krytycznych REY,
- dobór biomasy i kontrola parametrów spalania są kluczowe dla ograniczenia emisji; pellet wiśniowy, łupiny orzecha włoskiego, łuski słonecznika są bezpieczną alternatywą dla spalania/współspalania z węglem, w przeciwieństwie do wyłoków jabłkowych, które wymagają zaawansowanej kontroli emisji.

Pani mgr inż. Joanna Adamczyk podkreśla, że zróżnicowany skład popiołów wymaga dalszych badań nad ich wpływem na środowisko i opracowania zrównoważonych strategii zagospodarowania, zwłaszcza w kontekście instalacji domowych. Świadczy to o jej dojrzałości naukowej i krytycznym podejściu do wyników badań.

W podsumowaniu pragnę podkreślić, że analiza wyników i ich dyskusja, wyciąganie logicznych i prawidłowych wniosków wskazują na duży potencjał naukowy Pani mgr inż. Joanny Adamczyk. Do części merytorycznej nie mam żadnych uwag.

Podczas publicznej obrony rozprawy doktorskiej, proszę Panią mgr inż. Joannę Adamczyk o odpowiedzi na poniższe pytania.

1. Jakie mechanizmy kontrolują wzbogacenie REE, U i Th w popiołach ze współspalania biomasy z węglem i w jakim stopniu skład mineralny popiołu determinuje ich potencjał odzysku?
2. W jaki sposób zmienność warunków termicznych i pochodzenia biomasy wpływa na immobilizację lub uwalnianie metali toksycznych i jakie to znajduje odzwierciedlenie we wskaźnikach geochemicznych?

5. Wniosek końcowy i jego uzasadnienie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska w formie zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych dowodzi, że Pani mgr inż. Joanna Adamczyk posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie naukowej nauki o Ziemi i środowisku. We wszystkich publikacjach ze zbioru, mgr inż. Joanna Adamczyk jest pierwszym autorem i wykazała, że jest w stanie zaprojektować proces badawczy, pozyskać i przygotować materiał, dobrać odpowiednie metody, interpretować wyniki i formułować prawidłowe wnioski, co wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Przedstawiony zbiór czterech opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych Pani mgr inż. Joanny Adamczyk stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, sformułowanego w tytule rozprawy doktorskiej i jej celach.

Uwzględniając powyższe uznaję, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska w formie czterech publikacji spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z warunkami określonymi w Ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2018 poz. 1668, z dnia 20 lipca 2018 z późn. zmianami). Wnoszę zatem o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Joanny Adamczyk do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

