

Kraków, 03.10.2023 r.

prof. dr hab. inż. Tomasz Bajda  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska  
bajda@agh.edu.pl

## **RECENZJA**

### **Rozprawy doktorskiej mgr inż. Konrada Kaczyńskiego nt. „Badania procesu spalania i współspalania paliw biomasowych oraz paliw alternatywnych w warstwie fluidalnej w różnych warunkach procesowych”**

Niżej przedstawiona recenzja została opracowana w związku z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej nr 38/2022/2023 z dnia 29 czerwca 2023 r. oraz pismem skierowanym do mnie przez Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, prof. dr hab. inż. Małgorzatę Klimek.

### **Tematyka i zawartość rozprawy doktorskiej**

Przedłożona do oceny praca doktorska została wykonana na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Piotra Pełki, prof. PCz.

Celem nadrzędnym badań było określenie wpływu temperatury, atmosfery utleniającej oraz koncentracji materiału inertnego na proces spalania wybranych paliw biomasowych oraz paliw alternatywnych w warunkach warstwy fluidalnej. Dla uzyskania tego celu doktorant zebrał cztery paliwa z biomasy oraz dwa paliwa z odpadów (RDF) i scharakteryzował je pod względem zawartości części lotnych, wilgoci, zawartości popiołu, stałych części palnych, wartości opałowej i ciepła spalania oraz zawartości pierwiastków elementarnych (N, C, H, S). W następnej kolejności pelety próbek biopaliw zostały poddane procesowi spalania w specjalnie do tego celu zaprojektowanym układzie eksperymentalnym w wymienionych wcześniej zmiennych warunkach procesowych.

Zbadano proces spalania mieszanin paliwa z biomasy i RDF w funkcji takich samych zmiennych, jak dla pojedynczych komponentów. Na koniec otrzymane wyniki kinetyki spalania porównano z wynikami dla paliw węglowych. Szkoda, że w tym ostatnim etapie oparto się na porównaniu otrzymanych w niniejszej pracy wyników z danymi literaturowymi, a nie z rzeczywistymi danymi uzyskanymi na tej samej instalacji i w tym samym warunkach, jakie zastosowano w pracy. Częściowym wytłumaczeniem takiego podejścia może być fakt, że dane uzyskane w wyniku realizacji recenzowanej rozprawy porównywano z danymi opublikowanymi w pracach autorstwa i współautorstwa promotora pracy. Zapewne promotor zadbał o to, aby metodyka zastosowana w pracy doktorskiej była spójna z metodyką opublikowanych prac [116, 131]. Podstawową zmienną, której badał doktorant był ubytek masy próbek spalanych w warstwie fluidalnej w funkcji czasu. Zmienna była porównywana dla wszystkich badanych układów i na podstawie otrzymanych wyników zostały zaprezentowane wnioski z pracy.

### **Ogólna charakterystyka pracy**

Praca liczy 167 stron, wliczając literaturę, spisy tabel i rysunków. Pokazuje ona dużą pracowitość, dokładność i rzetelność doktoranta w planowaniu, wykonaniu i dokumentacji wyników. Dysertacja składa się z ośmiu głównych rozdziałów. Nieco myląca jest numeracja, sugerująca, że rozdziałów jest dziewięć. We wprowadzeniu doktorant treściwie ujmuje zagadnienia produkcji energii z biomasy i odpadów. W przeglądzie literatury stanowiącym rozdział drugi autor bardzo szczegółowo ale rzeczowo i konkretnie wprowadza czytelnika w zagadnienie charakterystyki i zastosowania biopaliw w produkcji energii. Tą część pracy uważam za bardzo wartościową, głównie z powodu przestudiowania przez doktoranta aktualnej literatury i bardzo dobre merytorycznie i stylistycznie wprowadzenie czytelnika w tematykę pracy. Po drugie, dane zaprezentowane we Wprowadzeniu autor wykorzystuje przy okazji dyskusji wyników. Zwracam tutaj uwagę na pewną niekonsekwencję zastosowaną przez doktoranta. Zaraz na początku pracy wprowadził wykaz skrótów i ich objaśnienie po angielsku i po polsku. A w rozdziale wprowadzającym ponownie podaje rozwinięcia skrótów i owe skróty. Skoro skróty zostały podane na początku, to potem trzeba je już tylko konsekwentnie stosować, a nie jeszcze raz objaśniać. W rozdziale trzecim podane są jasno zdefiniowane tezy pracy. W krótkim rozdziale czwartym zawarty jest cel i zakres pracy. Od tego rozdziału rozpoczyna się najbardziej istotna pod względem merytorycznym część dysertacji.

Rozdział piąty ukazuje metodykę przeprowadzanych badań oraz definiuje materiał badawczy. W mojej opinii kolejność podrozdziałów 6.1 i 6.2 powinna zostać zamieniona. Najpierw definiujemy materiał a potem opisujemy, jakie czynności metodyczne zostały na tym materiale wykonane. Wyniki badań eksperymentalnych procesu spalania badanych biopaliw w różnych warunkach procesowych zawarto w rozdziale szóstym. Jest to najważniejszy rozdział pracy. W rozdziale siódmym doktorant porównał wyniki procesu spalania badanych przez siebie próbek z paliwami węglowymi. Pracę kończą wnioski z całości dysertacji. Pozostałe części to bibliografia, spis figur / tabel / załączników.

### **Zalety pracy**

Przedstawiona praca prezentuje bardzo dobry poziom merytoryczny w każdej z części: studia literaturowe, charakterystyka materiału, eksperymenty spalania paliw w różnych warunkach procesowych, dyskusja otrzymanych wyników.

Do najważniejszych zalet pracy należy zaliczyć:

1. Spójność celów badań sformułowanych jako następstwo celów, przy których realizacja każdego kroku poprzedza następny. W recenzowanej pracy punktem wyjścia jest pozyskanie peletów paliw biomasowych i paliw RDF. W kolejnych etapach wykonywane są ich analizy techniczne i badania eksperymentalnego spalania. Taka konstrukcja wymaga zasadniczo przemyślenia kolejnych etapów działań, gdyż wynik pierwszego etapu (analiza pojedynczych substratów) będzie rzutował na wyniki uzyskane w kolejnych etapach (analiza mieszanin). Jakikolwiek błąd popełniony na początku nie zostanie już potem w żaden sposób poprawiony, zostanie on odkryty dopiero po wykonaniu całości badań. Tego typu badania eksperymentalne trudno wykonać inaczej. Doktorant podjął się tego zadania z pozytywnym skutkiem.
2. Przemyślany wybór warsztatu metodycznego, w szczególności zastosowanie stanowiska eksperymentalnego, sposób pomiarów efektywności i kinetyki spalania.
3. Wiarygodność dokumentacji, na podstawie której można ocenić prawidłowość przeprowadzenia podjętych badań. Mam na myśli dobór warunków eksperymentów, szczegółowy opis i przebieg każdego eksperymentu, jego parametrów, badania produktów reakcji wraz z całą ich dokumentacją, głównie graficzną.

4. Nowe dane w zakresie opisu etapów spalania, pomiarów ubytków mas spalanych paliw, określenie czasów spalania. A to wszystko w funkcji temperatury, atmosfery utleniającej oraz koncentracji materiału inertnego.

### **Uwagi krytyczne**

Za najistotniejsze uchybienie pracy uznałbym niekompletność opisu składu popiołu powstającego podczas procesu spalania, w szczególności składu lepkich powłok tworzących się wokół cząstek złoża. Doktorant sprowadził badania głównych i towarzyszących produktów spalania do analizy ich składu chemicznego i wykorzystania wyników do opisu mechanizmów reakcji. Chodzi mi tu głównie o tworzenie się niskotopliwych krzemianów. Proszę o odpowiedź doktoranta w czasie obrony na pytanie, jakie badania zaproponowałby, aby określić z jakimi dokładnie związkami/fazami mamy do czynienia. Jakie działania można podjąć aby uniknąć tworzenia się lepkich powłok? Doktorant zaproponował skuteczne wyjście z tej sytuacji, polegające na tworzeniu mieszanek paliw biomasowych i paliw alternatywnych. Ale jakie jeszcze inne sposoby mógłby zaproponować? Kolejne pytanie, czy podwyższona zawartość metali alkalicznych w biomase agro to jedyna przyczyna tworzenia się spieków? Czy jest możliwe, aby tworzyły się one także w innych przypadkach?

Chciałbym zwrócić uwagę na niedostatek opisu pochodzenia peletów. W przypadku peletów z biomasy autor podaje informację, że w większości (oprócz peletu z łuski słonecznika) zostały zakupione na polskim rynku, a pelety RDF dostarczyła nie wymieniona z nazwy polska firma. Rozumiem zastrzeżenia producentów peletów i objęcie pochodzenia materiału badawczego klauzulą poufności. Nie mniej brak bliższych informacji na temat pochodzenia materiału utrudnia finalnie odniesienie otrzymanych wyników do innych tego typu biopaliw. A zatem pytanie, czy otrzymane w pracy wyniki można odnieść do wszystkiego typu paliw biomasowych danego rodzaju? Czy każde trociny z buka, dębu, słonecznika czy słomy będą się zachowywać podobnie? Czy próbki RDF1 i RDF2 reprezentują jakąś większą populację odpadów? Kolejna seria pytań dotyczy wpływu sposobu przygotowania peletów na ich zachowanie się podczas spalania. Jak długość, średnica, stopień upakowania peletów wpłynie na efektywność spalania? Doktorant opisuje w części teoretycznej wpływ właściwości fizykochemicznych i fizycznych peletów na wartość opałową paliwa. Ale pytanie, jak wymienione powyżej

cechy fizyczne konkretnych paliw badanych w pracy wpłyną na proces spalania w warstwie fluidalnej.

W rozdziale 6.2.1. doktorant otrzymane wyniki analiz technicznych paliw biomasowych porównuje z wynikami zawartymi w publikacji [42]. Co zdecydowało o wyborze akurat tej konkretnej pozycji literaturowej? Podobnie pytanie dotyczy paliw RDF i odniesienia do publikacji [141].

Praca jest napisana bardzo dobrze stylistycznie, przyjemnością było dla mnie jej czytanie. Nie odnalazłem żadnej literówki, czy potknięcia edytorskiego. Jedyna moja uwaga techniczna dotyczy rysunku 14. Zaprezentowano rysunek 14a i 14b, ale w podpisie brak wytłumaczenia, co przedstawia jeden a co drugi rysunek.

### **Ocena końcowa rozprawy**

Recenzowana praca jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego przedstawionego w rozprawie i cennym wkładem wzbogacającym nasz stan wiedzy na temat procesów spalania paliw biomasowych i alternatywnych w warstwie fluidalnej. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną i praktyczną. Bardzo dobra znajomość zagadnienia i stosowanych do jego rozwiązania metod badawczych stawia doktoranta w grupie pracowników potrafiących samodzielnie prowadzić pracę naukową. Rozprawa doktorska „Badania procesu spalania i współspalania paliw biomasowych oraz paliw alternatywnych w warstwie fluidalnej w różnych warunkach procesowych” autorstwa mgr inż. Konrada Kaczyńskiego spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.). W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Konrada Kaczyńskiego do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.