

Dr hab. inż. Anna Król, prof. uczelni

Opole, 01.09.2023r.

Politechnika Opolska

Wydział Mechaniczny

Katedra Inżynierii Procesowej i Środowiska

ul. Mikołajczyka 5

45-271 Opole

## **Recenzja**

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

#### **1. Podstawa formalna opracowania recenzji**

Podstawę opracowania recenzji stanowią:

- pismo Kierownika Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej, z dnia 27.07.2023r., o numerze R-WIMil-BOD-510-3/20 informujące o powołaniu mojej osoby na recenzenta rozprawy Pana mgr inż. Konrada Kaczyńskiego,
- umowa o dzieło nr RN-UC-142/23 z dnia 26.07.2023r.
- rozprawa doktorska mgr inż. Konrada Kaczyńskiego pt. „Badania procesu spalania i współspalania paliw biomasowych oraz paliw alternatywnych w warstwie fluidalnej w różnych warunkach procesowych”.

#### **2. Ogólna charakterystyka pracy**

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „Badania procesu spalania i współspalania paliw biomasowych oraz paliw alternatywnych w warstwie fluidalnej w różnych warunkach procesowych”, realizowana przez Pana mgr inż. Konrada Kaczyńskiego, pod kierunkiem dr hab. inż. Piotra Pełki, prof. PCz.

Dysertacja podlegająca recenzji składa się z dwóch wyraźnych części: studium literaturowego i części doświadczalnej. Dopelnieniem są także rozdziały zawierające wstęp, wnioski, bibliografię, wykaz tabel i ilustracji oraz streszczenie w języku polskim oraz angielskim. Układ pracy jest zatem klasyczny. Rozprawa zawiera 17 tabel oraz 104 rysunki. Praca liczy 167 stron, przy czym część literaturowa stanowi niemal 30% całości pracy, pozostała to część doświadczalna, co nadaje pracy zdecydowanie badawczo-eksperymentalny charakter. W spisie literatury Autor przytacza 157 pozycji. Na podkreślenie zasługuje fakt, że około 80% wykorzystanych źródeł literaturowych stanowią pozycje anglojęzyczne. W zdecydowanej większości są to pozycje opublikowane w ostatnim dwudziestoleciu. Świadczy to o dobrym rozeznaniu Doktoranta w bieżącym światowym dorobku naukowym w zakresie merytorycznie podejmowanym w dysertacji. Sposób oznaczenia cytowań źródeł literatury jest poprawny i zgodny ze stylistyką stosowaną w naukowej literaturze technicznej.

Analiza stanu wiedzy w zakresie dotyczącym tematyki rozprawy zawiera się w rozdziałach 2 i 3. Autor dokonuje oceny globalnych trendów energetycznych z uwzględnieniem wykorzystania paliw pochodzących z biomasy oraz odpadów. Doktorant opisuje stan wiedzy związany z paliwami alternatywnymi, ich normalizacją i klasyfikacją. Kolejno przechodzi do analizy właściwości biomasy i paliw alternatywnych oraz ich zastosowania jako nośników energii. Sporo uwagi poświęca modyfikowaniu paliw zastępczych prowadzącym do poprawy właściwości tych paliw. Wyjaśnia także aspekty techniczne i środowiskowe używania paliw zastępczych w procesach energetycznych, opisując syntetycznie wpływ cech fizykochemicznych paliw na stan techniczny instalacji oraz możliwe skutki w postaci emisji gazów do atmosfery.

W podrozdziale 3.5. mgr inż. Konrad Kaczyński charakteryzuje szczegółowo technologię fluidalnego spalania paliw wraz z podaniem możliwości i zależności dotyczących współspalania paliw konwencjonalnych i alternatywnych. Jest to najbardziej rozbudowany podrozdział tej części pracy. Doktorant starał się jednak w sposób syntetyczny przedstawić ten obszerny zakres wiedzy. Odniósł się do szerokiego wachlarza pozycji literaturowych, by przeanalizować wpływ wielu czynników czy parametrów na przebieg procesu spalania w kotłach fluidalnych.

Napisanie syntetycznego i rzetelnego studium literaturowego wymagało od Autora dysertacji zacięcia w poszukiwaniu i doborze informacji. Dało także wyraz jego ugruntowanej wiedzy w

zakresie problematyki podejmowanej w rozprawie doktorskiej. Pan Kaczyński z analizy literatury wyciągnął wnioski ogólne (zapisał je na początku rozdziału 4) i sformułował tezy swojej rozprawy doktorskiej. Kolejno, w piątym rozdziale podał cel i zakres pracy. Badania eksperymentalne oparł na założeniu, że by spalać lub współspalać paliwa biomasowe i alternatywne należy skoncentrować się na doborze temperatury, atmosfery utleniającej oraz uwzględnić wpływ natężenia koncentracji materiału inertnego podczas spalania fluidalnego. Te parametry uznał za istotne zmienne i skupił swoją uwagę wokół analizy spalania ziaren wybranych paliw biomasowych i alternatywnych. Do badań eksperymentalnych wybrał pelety z biomasy pochodzenia leśnego oraz agro, a także paliwa z odpadów (RDF) o zróżnicowanej średnicy 6 i 8 mm.

Czytelnik ma okazję zapoznać się z metodyką badawczą oraz badaniami wstępnymi w rozdziale 6, by kolejno przejść do wyników badań eksperymentalnych opisanych szczegółowo w najbardziej rozbudowanym rozdziale pracy (nr 7). Doktorat detalicznie opisał tu stanowisko eksperymentalne oraz sposób wykonania badań. Określił zmienne procesowe, a mianowicie:

- zakres temperatur: 650, 750 i 850°C,
- natężenie koncentracji materiału inertnego  $G_s$  o wartościach 0; 2,5 oraz 5 kg/m<sup>2</sup>s,
- zmienna koncentracja utleniacza: 21; 25 i 30% O<sub>2</sub> .

Opisał skrupulatnie otrzymane wyniki i przedstawił je w formach graficznych.

Rozdział 8 to bardzo cenna część tej rozprawy, gdyż Doktorant dokonał tu porównania właściwości badanych w pracy paliw w zestawieniu z węglem brunatnym i kamiennym, podczas spalania fluidalnego, w zmiennych warunkach procesowych. Przeanalizował 8 paliw, skupiając się na:

- wpływie zawartości części lotnych oraz części palnych na czas spalania ziaren paliw,
- ubytku masy w temperaturze 850°C bez i z udziałem materiału inertnego w komorze spalania,
- czasie spalania wybranych paliw w zróżnicowanych temperaturach i zmiennym strumieniu materiału inertnego,
- czasie spalania poszczególnych ziaren paliw w różnych atmosferach utleniających.

Doktorant zakończył część doświadczalną rozprawy 8 wnioskami spisanyymi w rozdziale 9.

Rozprawa dowodzi, że Pan Kaczyński potrafi stawiać sobie ambitne zadania i poszukuje ich rozwiązań. Posłużył się także właściwymi metodami naukowymi przy realizacji zadań badawczych. Wnioski wyciągnięte ze zrealizowanych badań są logiczne i zwarte oraz oddające zakres zaprezentowanych eksperymentów.

Praca ma charakter kompleksowy. Jest obszerna, ale jak na opis dość szerokiego programu badawczego i tak wydaje się syntetyczna. Dysertacja ta jest klarowna i napisana naukowym językiem, a jej strona estetyczna jest na dobrym poziomie.

### **3. Ocena zasadności podjęcia tematyki rozprawy**

Temat podjęty przez Autora rozprawy doktorskiej jest niewątpliwie aktualny i wart dogłębnych badań eksperymentalnych i analiz ze względów techniczno – środowiskowych oraz aplikacyjnych. Podjęta tematyka badawcza wychodzi naprzeciw potrzebom rozwoju efektywnych procesów spalania paliw oraz współczesnej technologii zagospodarowania odpadów. Substytucja paliw kopalnych przez wykorzystanie odpadów oraz biomasy wpisuje się w filozofię zrównoważonego rozwoju oraz gospodarki obiegu zamkniętego.

Zmiany na rynku energetycznym i paliwowym, poszukiwanie paliw zastępczych oraz potrzeba rozwoju nowoczesnych bezpiecznych środowiskowo technologii spalania stały się niezwykle aktualne chociażby w wyniku kryzysu energetycznego, którego jesteśmy świadkami od 2022 roku. Stąd rozważania Autora rozprawy są istotne i mogą przyczynić się do rozwoju technologii spalania fluidalnego. Choć ta technika spalania niesie za sobą wiele korzyści, to ma także wady. Z jednej strony pozwala np. na spalanie paliw w niższej temperaturze, prowadzenie odsiarczania gazów w jednej komorze wraz ze spalaniem paliw, stosowanie paliw o niższych parametrach jakościowych, ograniczenie emisji NO<sub>x</sub> do atmosfery, a z drugiej strony jest to proces, w wyniku którego otrzymujemy uboczne produkty stałe (żuźle, popioły lotne), których cechy nie pozwalają na pełne i bezpieczne zagospodarowanie tych odpadów, co staje się niekwestionowaną uciążliwością dla środowiska naturalnego.

Każde zatem badania, które optymalizują tą metodę spalania paliw uważam za istotne. Być może badania Pana Kaczyńskiego przyczynią się do takiego doprecyzowania warunków spalania, by zarówno aspekt techniczny jak i środowiskowy spalania fluidalnego został usprawniony. Po analizie pracy wydaje się, że można tak dobrać rodzaj spalanych i współspalanych paliw kopalnych i alternatywnych oraz regulować kryteria procesu, by osiągnąć optymalne warunki spalania w warstwie fluidalnej.

Podsumowując recenzent pragnie wyraźnie podkreślić, że analizowana dysertacja przedstawia obraz przedsięwzięcia dobrze zaplanowanego, precyzyjnie zbadanego oraz logicznie opisanego. Doktorant uzyskał szeroki zakres wyników i następnie gruntownie je przeanalizował. Zdaniem recenzenta, zamieszczone w pracy wyniki badań, stanowią oryginalny wkład naukowy Doktoranta w rozwój technik spalania paliw alternatywnych i mają duży potencjał publikacyjny w renomowanych czasopismach naukowych.

#### **4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne**

Naturalnym i oczywistym obowiązkiem recenzenta jest również krytyczne spojrzenie na ocenianą rozprawę. Poniżej przedstawione zostały uchybienia, uwagi krytyczne lub dyskusyjne, które nasuwają się po analizie tekstu dysertacji przedstawionej do recenzji.

1. Sporym mankamentem pracy wydają się mało precyzyjne i na dość wysokim poziomie ogólności postawione tezy pracy. Teza pierwsza i trzecia są potwierdzeniem praktyki już stosowanej w instalacjach spalania paliw w warstwie fluidalnej.
2. Proszę uszczegółowić spełnienie tezy trzeciej, czyli cyt. „właściwe przygotowanie paliw alternatywnych na etapie produkcji może poprawić proces ich spalania/współspalania oraz zwiększyć wykorzystanie paliw biomasowych typu agro”. Jakie wnioski w tym zakresie płyną ze zrealizowanych badań eksperymentalnych oraz jakie są rekomendacje Doktoranta dla przemysłu w tym zakresie?
3. Zdaniem recenzenta praca nie zawiera poprawnie sformułowanego celu. Ten, który został zapisany w rozdziale 5 to jedynie ujęcie podstawowego obowiązku Doktoranta, czyli najpierw stawia się tezy, następnie je realizuje. Cel natomiast winien być nastawiony na konkretne osiągnięcia w analizowanym zakresie badawczym.
4. Nieprecyzyjne doniesienia literaturowe podano:
  - na str. 15 – stwierdzenie „Obecnie termin paliwa alternatywne nie jest definiowany prawnie, a obowiązujące akty prawne nie zawierają definicji tego odpadu. Nieformalnie oznacza przekształcone odpady, które mogą zastąpić paliwo konwencjonalne....”. Następuje tu odniesienie do pozycji literaturowych [25] i [26], które opublikowano 17 i 13 lat temu, zatem nie mogą być traktowane jako obrazujące stan obecny;

- na str. 28 - omawiane są wielkość cząstek paliw SRF stosowanych w różnych gałęziach przemysłu, lecz szczególnie enigmatycznie brzmią tu zapisy dla przemysłu cementowego. Jaka wielkość cząstek paliwa jest odpowiednia dla pieców cementowych? 30mm czy może nawet 119mm (bo poniżej 120mm)?
5. Badania zaprezentowane w rozprawie nie uwzględniają wpływu rozdrabniania cząstek, na sprawność procesu spalania ziaren poszczególnych paliw wybranych do badań eksperymentalnych. Doktorant pominął w swoich rozważaniach to zjawisko, choć sam przyznał np. na str. 35, jak ważne jest ono w procesie spalania w warstwie fluidalnej. Czy podejmowano próby oceny tego zjawiska?
  6. W rozprawie zabrakło zastosowania nowoczesnych narzędzi matematycznych, statystycznych czy modelowania, które umożliwiają wspomaganie oceny i analizy spalania w różnych warunkach procesowych. Czy Doktorant podejmował takie próby w trakcie realizacji pracy doktorskiej?
  7. Doktorant stosuje angielskie tłumaczenia dobrze znanych określeń i wartości, jak np. zawartość wilgoci czy wartość opałowa. Czy to zabieg potrzebny w pracy doktorskiej?
  8. Na str. 53 – opisując sposób wprowadzania ziarna peletów do komory spalania odwołało się moim zdaniem niewłaściwie do rysunku 15. Odwołanie, do którego z rysunków byłoby tu odpowiednie?
  9. W opinii recenzenta niezbyt fortunnie przygotowano podrozdział 7.1.1. *Stanowisko eksperymentalne*. Następuje tu zarówno opis stanowiska jak i wskazanie etapów badań, wizualizacja procesu spalania ziarna w komorze, pierwsze wyniki prac eksperymentalnych oraz powołania na literaturę z zakresu doboru temperatury podczas spalania różnych paliw.
  10. Kilukrotnie w dysertacji Doktorant podejmuje temat zawartości chloru oraz związków alkalicznych jako składnika paliw biomasowych mogących wpływać na uszkodzenia instalacji. Nieco jednak pomija tą istotną sprawę w swoich badaniach. Zawartość związków alkalicznych podano jedynie w analizie popiołu z paliw (str. 92, tabela 15). Brak wyników dotyczących chloru. Czy określano zawartość Cl w paliwach i popiołach?
  11. Wniosek z pracy zapisany pod numerem 1 w rozdziale 9. *Wnioski końcowe*, wynika moim zdaniem z analizy literatury i praktyki inżynierskiej w zakresie spalania fluidalnego i był dość oczywisty na etapie przystępowania do badań.

12. Wniosek numer 2 w rozdziale 9 właściwie nic nie wnosi, gdyż nie wiadomo, czy Doktorant miał na myśli spalanie pojedynczych rodzajów paliw czy określonej ich mieszanki.
13. Czy Doktorant mógłby podać, jako wniosek z pracy, najlepszą możliwą konfigurację paliw (w różnych układach i proporcjach, np. konwencjonalne-alternatywne, biomasowe-alternatywne, konwencjonalne-biomasowe), by możliwe było zarówno zapewnienie właściwych warunków procesowych, jak i ochrona dobrego stanu technicznego instalacji? Wniosek numer 5 w rozdziale 9 brzmiący: „Proces powstawania spieków może zostać wyeliminowany na etapie przygotowania paliwa poprzez obniżenie stężenia zawartości pierwiastków alkalicznych w substancji mineralnej poprzez zmieszanie paliwa typu agro z paliwami typu RDF” jest jedynie przyczynkiem do dalszych szczegółów, nie daje żadnej odpowiedzi co do tego jak praktycznie przygotować takie paliwa i w jakich proporcjach względem siebie je spalać.
14. Doktorant nie zaprezentował w pracy wizji kontynuacji tematu badawczego. Czy można określić kolejne etapy eksperymentalne lub wdrożeniowe, które doprowadziłyby do pełnej weryfikacji osiągniętych na tym etapie wyników?

Wybrane uwagi redakcyjne i edycyjne:

1. Wyniki zaprezentowane na wielu wykresach są nieczytelne. Przykładem niech będą rysunki 21-24, 31-34, 49-60. Zły dobór jednostki na osi Y powoduje brak możliwości odczytania różnic związanych z ubytkiem masy. Linie niejako zlewają się w jedną całość, a taka prezentacja wyników wydaje się być bezcelowa. W tym kontekście bezpodstawne są także stwierdzenia jak na str. 83 cyt. „Na rys. 55 i 56 na końcu procesu widoczna jest masa pozostałego spieku” czy na str. 85 cyt. „Na końcu krzywej zarejestrowanego ubytku masy możliwe jest odczytanie masy spieku po spalaniu...”. Odczyty te są niemożliwe do zrealizowania.
2. Kolorystyka zastosowana dla krzywych na rysunkach 64-66 jest myląca dla czytelnika, gdyż jeden kolor nie jest przyporządkowany do określonego parametru co daje chaos w odbiorze. Poza tym dobór dwóch zbliżonych odcieni niebieskiego utrudnia odczyt.

3. Obszerny podrozdział 7.2. warto było podzielić na punkty czy sekcje, tak by ułatwić poruszanie się w tekście. Trudno tu odszukać informacje dotyczące analizowanych zależności.
4. Rysunki 94 i 95 mają ten sam tytuł. Proszę określić tytuły prawidłowo.

Przedstawione uwagi krytyczne, dyskusyjne i redakcyjne mają stać się przyczynkiem do dyskusji, a nie umniejszają w żaden sposób zaprezentowanych osiągnięć Pana mgra inż. Konrada Kaczyńskiego dotyczących badania procesu spalania i współspalania paliw biomasowych i alternatywnych w warstwie fluidalnej, przy uwzględnieniu różnych warunków procesowych.

#### **5. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Recenzowana rozprawa doktorska Pana mgra inż. Konrada Kaczyńskiego pt. „Badania procesu spalania i współspalania paliw biomasowych oraz paliw alternatywnych w warstwie fluidalnej w różnych warunkach procesowych”, wykonana pod kierunkiem dr hab. inż. Piotra Pełki stanowi, moim zdaniem, wartościowe i oryginalne osiągnięcie naukowo – badawcze, o istotnym znaczeniu w przyszłościowej aplikacji przemysłowej.

Stworzony przez Autora program badawczy, zamysł realizacyjny, otrzymane efekty i wyniki, a także sugestywna analiza osiągniętych rezultatów, dają obraz dojrzałej postawy Doktoranta jako samodzielnego badacza.

Wobec powyższego uważam, że praca spełnia warunki rozprawy doktorskiej określone w art.187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023, poz. 742). Wnoszę zatem do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Częstochowskiej o dalsze procedowanie i w konsekwencji dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy doktorskiej mgra inż. Konrada Kaczyńskiego.

Opole, 01.09.2023