

Wrocław, 28.09.2022r.

Dr hab. inż. Tomasz Hardy, prof. Uczelni
Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczno-Energetyczny
Katedra Inżynierii Konwersji Energii
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej pana mgr inż. Jakuba SOBIERAJA
pod tytułem**

**„Waloryzacja popiołów w celu ich dalszego wykorzystania w materiałach
antropogenicznych”**

Recenzja wykonana zgodnie z pismem RIE-BD.512.32.2022 z 12.07.2022 na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 23.06.2022r.

Charakterystyka ogólna rozprawy

Recenzowana praca doktorska pana mgr inż. Jakuba Sobieraja wykonana została pod kierunkiem dr hab. inż. Sylwestra Kalisza prof. PŚ.

Praca ta powstała ze wsparciem projektu badawczego pt. „Optymalizacja procesu spalania i waloryzacja ubocznych produktów spalania dla wypełnienia założeń gospodarki o obiegu zamkniętym, UPS-Plus” (www.ccf.polsl.pl) finansowanym przez Fundację na Rzecz Nauki Polskiej w programie TEAM-TECH Core Facility (POIR.04.04.00-00-31B4/17-00).

Recenzowana Rozprawa składa się z 11 rozdziałów, obejmuje 182 strony maszynopisu, w tym 60 rysunków, 26 tabel, streszczenie w języku polskim i angielskim oraz spis rysunków i tabel. Praca zawiera także wykaz literatury zawierający 203 pozycje, z czego 129 to źródła obcojęzyczne. Dobór bibliografii jest prawidłowy (związane z przedmiotem pracy) i zawiera zarówno źródła z recenzowanych czasopism naukowych jak i akty prawne oraz normy (blisko 18% z wszystkich pozycji literaturowych). Autor nie zamieścił w pracy osobnego wykazu oznaczeń (skrótów).

Rozdziały 1 i 2 stanowią wstęp do pracy, wskazujący na potrzebę jak najszerzego zagospodarowania gospodarczego popiołów i żużli, a tym samym ograniczenie ich składowania. Zawarty w tej części materiał stanowi trafne wprowadzenie do poruszanej w pracy tematyki.

W rozdziale 3, na 25 stronach, autor przedstawił charakterystykę ubocznych produktów spalania (UPS) różnych paliw ze wskazaniem przykładów ich zastosowań w gospodarce w myśl idei Gospodarki o Obiegu Zamkniętym (GOZ). Doktorant zwrócił uwagę na zróżnicowanie własności odpadów otrzymywanych ze spalania różnych paliw (węgli, paliw biomasowych, paliw odpadowych) i dość obszernie przedstawił możliwości zagospodarowania ubocznych produktów spalania. Na uwagę zasługuje fakt, że doktorant w sposób rzetelny odwołuje się do literatury ale także norm i aktów prawnych obowiązujących w rozważanej dziedzinie, co zdecydowanie podnosi walor praktyczny recenzowanej pracy.

W rozdziale 4 przedstawiono wybrane przez autora ważniejsze sposoby waloryzacji popiołów (czyli wpływania na ich właściwości) pod kątem umożliwienia ich ponownego zastosowania w różnych celach gospodarczych. Zwrócono uwagę na wpływ modyfikacji paliwa jeszcze przed procesem spalania (m.in. suszenie, rozdrabnianie, peletyzacja, toryfikacja, stosowanie specjalnych dodatków paliwowych) oraz zmiana właściwości popiołów pod kątem wymagań dla późniejszego zastosowania (np. przesiewania, dopalanie, wymywanie).

W rozdziale 5 autor przedstawił cele i tezy pracy. Głównym celem pracy było określenie wpływu wybranych metod waloryzacji popiołu na właściwości umożliwiające ich późniejsze wykorzystanie w gospodarce. Tutaj można zgłosić uwagę, że celem rozprawy doktorskiej nie powinny być badania eksperymentalne same w sobie (jak zapisano w p. 5.1), a udzielenie odpowiedzi na stawiane tezy przy wykorzystaniu wyników przeprowadzonych badań.

Rozdział 6 zawiera zwarty opis metodyki badawczej wykorzystanej podczas realizacji pracy.

Część badawcza rozprawy została przedstawiona w rozdziałach od 7 do 10 (na 85 stronach), przy czym każdy rozdział zakończono zwięzłą dyskusją uzyskanych wyników, co znacznie ułatwia analizę całej pracy.

W rozdziale 7 przedstawiono wyniki badań wpływu dodatków paliwowych (w różnych udziałach) na charakterystyczne temperatury przemian fazowych popiołów oraz na ich skład tlenkowy. Generalnie tematyka ta jest dość dobrze rozpoznana i pojawia się w wielu publikacjach i także pracach doktorskich. Zwrócono przy tym jednak uwagę na fakt, że dodatki paliwowe mają wpływ także na strukturę, kolor czy skład chemiczny pod kątem możliwości ich ponownego zastosowania w innych dziedzinach.

Rozdział 8 zawiera wyniki badań wpływu dodatków paliwowych na zdolność do adsorpcji CO₂ przy wykorzystaniu popiołów jako adsorbentu. Jako paliwo wykorzystano słomę wraz z dodatkami w postaci haloizytu (w różnej postaci) oraz kaolinu. Badania opisane w tej części pracy przeprowadzono przy wykorzystaniu popiołów wytworzonych w warunkach laboratoryjnych ale także popiołów pochodzących ze spalania paliw w palenisku rusztowym o mocy 0,5MW. Co prawda w przypadku popiołu z paleniska rusztowego jest mowa o popiele dennym, a nie lotnym to jednak próba wykorzystania popiołu pozyskanego w warunkach

zbliżonych do rzeczywistego procesu spalania w kotle zasługuje na uznanie. Ta część pracy nie budzi moich zastrzeżeń, gdyż została dobrze opisana wraz z obszerną dyskusją wyników.

W rozdziale 9 przedstawiono wyniki badań zdolności adsorpcji CO₂ przez popiół lotny oraz mieszaninę żużla i popiołu lotnego pozyskanego z instalacji przemysłowej – z kotła rusztowego spalającego biomasę drzewną pochodzącą ze ścinki drzew. Badaniom poddano próbkę popiołu lotnego oraz mieszaninę popiołu lotnego i żużla, z których to wytworzono adsorbenty. Interesujące było wytworzenie adsorbentów o różnej zawartości części palnych (poprzez separację wodną części karbonizatu oraz substancji mineralnej). Wykazano możliwość wytworzenia adsorbentu charakteryzującego się wielokrotnie wyższą adsorpcyjnością CO₂ niż materiałów wyjściowych.

Rozdział 10 zawiera opis i wyniki badań wpływu procesu mielenia popiołów na usuwanie amoniaku. W tym etapie pracy Doktorant wykorzystał cztery próbki popiołów pochodzące z obiektów przemysłowych, z procesu spalania różnych paliw (węgla kamiennego, biomasy oraz współspalania węgla kamiennego z RDF) w różnych kotłach energetycznych (rusztowym i fluidalnym). Oprócz zmniejszenia średnicy ziaren na skutek mielenia (co wydaje się oczywiste) wykazuje zmniejszenie udziału związków amonowych, co może być korzystne przy dalszym zagospodarowaniu popiołów lotnych.

Uwagi redakcyjne

Przygotowanie tak obszernego opracowania zawsze niesie za sobą ryzyko pomyłek pisarskich. Ilość tego typu pomyłek w pracy nie jest duża, a przykładowe drobne błędy redakcyjne dotyczące edycji tekstu wymieniam poniżej (podając numer strony/numer wiersza od góry lub od dołu):

Str. 10/³ - *akty prawne* (należy zastąpić przez *akty prawne*)

Str. 16/⁸ – w *obliczy* (należy zastąpić przez *w obliczu*)

Str. 20/⁴ – *jest przekształcania w ciepło* (należy zastąpić przez *przekształcana*)

Str. 20/⁸ – *mających wpływa na* (należy zastąpić przez *mających wpływ na*)

Str. 27/¹¹ - *odpadów podprocesowych* (prawdopodobnie miało być: *odpadów poprocesowych*)

Str. 32/⁴ - w *wyniku spalanie paliw* (należy zastąpić na: *w wyniku spalania paliw*)

Str. 35/¹⁵ - *stosunkowa niska zawartość* (należy zastąpić przez: *stosunkowo niska*)

Str. 42/¹⁷ - *zmniejszenie zużycie surowców* (należy zmienić na: *zmniejszenie zużycia surowców*)

Str. 45/¹³ - *podzielone na trzy etapy* (należy zmienić na: *podzielone na trzy etapy*)

Str. 45/⁵ – *addytywowani* (należy zmienić na: *addytywowanie* lub lepiej zamienić na bardziej polskie określenie)

Str. 49/⁹ – *ale także w = medycynie* (należy usunąć znak „=“)

Str. 59/² - *i trafiły eksykatora...* (należy zmienić na: *i trafiły do eksykatora*)

Str. 63/⁹ - *Zjawiska to nie występują* (należy zmienić na: *Zjawiska te nie występują*)

Str. 64/⁸ - *Średnice ta bazuje* (należy zmienić na: *średnica ta...*)

Str. 71/⁸ - *niezauważalnych dla ludzkiego nieszczelności* (jest to niezrozumiałe)

- Str. 80/⁵ - *potrzebą na przetestowania różnych paliw* (należy zmienić na *potrzebę przetestowania* lub inaczej)
- Str. 88/³ - *Analizy te zostały wykonane dla 17 próbek wykonana przez akredytowane laboratorium ...* (to zdanie wymaga korekty).
- Str. 89/⁸ - *Wart zwrócić uwagę...* (należy zmienić na *Warto...*)
- Str. 143/¹⁰ - *Co prawda powyższe odczyty zostały opisane jako rzadkie zjawisko, jednak z uwagi na powszechne zastosowanie instalacji SNCR.* – to zdanie wymaga korekty
- Str. 144/⁷ - *Badania wykonane zostały laboratoryjne obejmujące mielenie...* (należy zmienić treść zdania)
- Str. 144/⁸ - *Metodologa badań* (należy zmienić na: *Metodologia badań*)
- Str. 157/¹¹ - *które jak widać z łatwością ulegają w procesie i zmniejszają swoją objętość* (zdanie wymaga korekty ponieważ nie wynika z niego jakiemu procesowi ulegają wspomniane związki węgla)

W przypadku tak obszernego opracowania raczej trudno ustrzec się od drobnych błędów pisarskich, i mimo dostrzeżonych błędów (gł. literówek i przejęzyczeń), całość pracy cechuje wysoka estetyka w połączeniu z dużą starannością i wartością merytoryczną, co podnosi jej ocenę.

Uwagi i pytania szczegółowe dotyczące pracy

Poruszona w rozprawie tematyka jest ważnym i aktualnym obszarem badawczym obejmującym zagadnienia z zakresu energetyki, ochrony środowiska, a także gospodarki zrównoważonej.

Co prawda dodatki paliwowe w postaci w postaci kaolinu oraz haloizytu badano w Zespole Kotłów i Wytwornic Pary już wcześniej (także w wielu innych ośrodkach badawczych na świecie i kraju). Dowiedziono wcześniej, że dodatki w postaci glinokrzemianów mogą w pozytywny sposób wpływać np. na zmniejszenie zanieczyszczenia powierzchni ogrzewalnych kotłów. W pracy jednak poruszono kilka nowych zagadnień, które uzupełniają wiedzę w zakresie potencjału zwiększenia możliwości zagospodarowania ubocznych produktów spalania, a tym samym na ograniczenie ich bezproduktywnego składowania.

Poniżej przedstawiono uwagi i komentarze do treści pracy (z zaznaczeniem miejsca w pracy, do którego się odnoszą).

Str. 22/⁵ – czy emisja CO₂ *negatywnie wpływa na wzrost temperatury na Ziemi?*

Str. 62 – W przypadku opisu badań rozkładu ziarnowego wskazano na wykorzystanie różnych metod, w tym na wykorzystanie dwóch urządzeń wykorzystujących dyfrakcję laserową. W opisie wyników (roz.10) nie wspomina się jednak z jakiego urządzenia pochodzą wyniki. Czy oba czy przyrządy wykorzystywano naprzemiennie czy odpowiednio do próbek różnego pochodzenia?

Str. 63 – W przypadku analiz rozkładu ziarnowego proszę skomentować dlaczego nie zdecydowano się na wybór jednej konkretnej metody dla wszystkich wykonanych testów (wszystkich badanych materiałów)? Którą z rozpatrywanych metod Doktorant mógłby rekomendować jako metodę „uniwersalną” dla badanych materiałów w kontekście przeprowadzonych badań?

Str. 79/¹² – Przy opisie wyników literaturowych wspomniano, że dodatek haloizytu wpływa na zmniejszenie emisji pyłu i znaczne zmniejszenie zanieczyszczenia powierzchni ogrzewalnej kotła. Dlaczego może wpływać na zmniejszenie emisji pyłu jeśli sam stanowi substancję niepalną wprowadzaną do paleniska?

Tabela 7.1 /str. 80 – Czy wilgoć podano w stanie roboczym czy może analitycznym? (w opisie wspomniano o dosuszaniu w warunkach laboratoryjnych niektórych próbek, jak fusy kawowe)

Str. 82/4 – Na Rys.7.3-7.6 przedstawiono zdjęcia próbek popiołów, przy czym napisano, że próbka referencyjna była bez dodatku paliwa. Czy autor miał na myśli, że była to próbka czystego dodatku czy próbka spopielonego paliwa bez dodatku glinokrzemianów?

Str. 89/4 - Czy Doktorant próbował znaleźć potwierdzenie (np. w literaturze lub wcześniejszych badaniach swojego zespołu) stwierdzenia, że dodatek glinokrzemianów do biomasy drzewnej obniża temperaturę mięknięcia popiołu (SST)?

Str. 128/5 – Z czego wynika przyjęta w metodologii temperatura suszenia próbek wynosząca 120°C (a nie jak podczas znormalizowanej procedury oznaczania wilgoci)?

Rys. 9.4 (str. 130) na pierwszy rzut oka może być nieco mylący, gdyż przedstawia średnicę ziaren od największych do najmniejszych (w przeciwieństwie np. do Rys. 9.3, gdzie też na osi poziomej jest prezentowana średnica ziarna).

W p.10.5 wspomniano o problemach związanych z mieleniem próbek popiołowych. Czy Doktorant mógłby rozwinąć ten wątek? Czy tworzenie „aglomeratów” w trakcie mielenia mogło mieć wpływ na wynik oznaczania składu ziarnowego, a w efekcie na wynik oznaczania stężenia amoniaku (w przypadku pominięcia pewnych części frakcji ziarnowych w próbce końcowej)? Czy doktorant próbował powtórzyć badania oznaczania udziału amoniaku dla większej ilości próbek, czy były to pojedyncze oznaczenia?

Zwraca uwagę także fakt, że na Rys.10.2-10.5 dla próbek A2 i A4 lepszy przemiał uzyskano przy 500 cyklach niż przy 1000 cyklach mielących. Z czym mogło być to związane?

Wnioski końcowe

Temat rozprawy doktorskiej oraz jej wybór nie budzi zastrzeżeń zarówno merytorycznych jak i formalnych, a tematykę pracy należy uznać za odpowiednią dla dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemu badawczego, zaproponował właściwe metody jego rozwiązania oraz poprawnie przedstawił i zinterpretował uzyskane wyniki badań, co potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Praca doktorska mgr inż. Jakuba Sobieraja pt. „Waloryzacja popiołów w celu ich dalszego wykorzystania w materiałach antropogenicznych” spełnia wymagania wynikające z Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018r. poz. 1669 z późn. zm.) i zwracam się do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z wnioskiem o dopuszczenie Pana mgr inż. Jakuba Sobieraja do publicznej obrony swojej rozprawy doktorskiej.

Podpisał Tomasz Hardy