

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy : **WALORYZACJA ODPADÓW I BIOMASY O NISKICH WARTOŚCIACH ENERGETYCZNYCH W PROCESIE TORYFIKACJI**

Autor : **mgr inż. Kacper Świechowski**

Afiliacja : **Wydział Przyrodniczo-Technologiczny
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu**

Podstawa formalna recenzji : **Umowa o Dzieło nr UCP/2022/03/0306/Z z dnia 31.03.2022r.**

Słowo wstępne

Recenzowana praca doktorska związana jest pośrednio z problemem, którego rozwiązanie w skali globalnej określi szanse dalszego rozwoju całej ludzkości, a mianowicie- energią. Energia, to kwestia kluczowa związana przede wszystkim z jej produkcją, przetwarzaniem, transportem i magazynowaniem. Związek pomiędzy zapotrzebowaniem gospodarki na energię, a środowiskiem naturalnym jest oczywisty. Można zatem przyjąć, że efektywność wykorzystania energii stanowi aktualnie jedno z najważniejszych wyzwań określających kierunek badań naukowych.

Waloryzacja, rozumiana jako różnego rodzaju działania techniczne zwiększające potencjał energetyczny materiałów, skutkująca zagęszczeniem energii w jednostkowej masie lub objętości jest stosowana od wielu lat. Na przykład sprężenie gazu ziemnego lub jego skroplenie powoduje wielokrotne zwiększenie koncentracji energii- ponad 600 razy w przypadku LPG.

Powyższe kryterium spełnia również toryfikacja, która jest procesem fizycznym pozwalającym zwiększyć wartość opałową przetwarzanych materiałów stałych przeznaczonych do produkcji energii, nawet o 30%. Istota procesu jest znana od ponad 80 lat ale w skali technicznej trudno mówić o powszechnym zastosowaniu toryfikacji odpadów. Jak dotychczas, według dostępnych danych, nie opracowano technologii umożliwiającej pełną komercjalizację, koncentrując się na testowaniu

różnych wariantów procesu toryfikacji realizowanego głównie w instalacjach pilotażowych (Jakubiak i Kordelewski, Arch. Spalania, 2010) . Tak więc, innowacje w obszarze badań związanych z procesem toryfikacji nie dotyczą jego istoty lecz uwarunkowań technologicznych przekształcania różnych materiałów, w tym materiałów odpadowych, do postaci użytkowej- toryfikatu.

Obecnie, w czasie kryzysu energetycznego prace poświęcone temu zagadnieniu nabierają szczególnego znaczenia tym bardziej, jeżeli ich wyniki można zastosować w praktyce. Bez wątplenia recenzowana rozprawa ma walory użytkowe, co nadaje jej charakter pracy aplikacyjnej.

Ocena rozprawy doktorskiej

Ocenę pracy doktorskiej mgr inż. Kacpra Świechowskiego, zgodnie z wymogami określonymi przez Zamawiającego recenzję, przeprowadzono w oparciu o 7 kryteriów.

1. Układ rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska ma formę opracowania prezentującego osiągnięcie naukowe w postaci cyklu wzajemnie powiązanych tematycznie 6. artykułów naukowych, opublikowanych w czasopismach dla których wartości współczynników wpływu (IF) mieszczą się w zakresie 2,002÷3,623. Zgodnie z aktualnym wykazem czasopism punktowanych, określonych przez Ministerstwo Edukacji i Nauki, czasopisma te mają przyznane 140 pkt. każde. Deklarowany, średni udział Doktoranta w załączonych publikacjach wynosi 42,5%. W pięciu przypadkach, Doktorant jest wymieniony na pierwszym miejscu spośród wszystkich współautorów.

Doktorant, w sposób syntetyczny opisał tematykę badawczą stanowiącą główny aspekt przeprowadzonych badań, odwołując się do wszystkich 6. artykułów. Studiując treści tych publikacji, można odnieść wrażenie, że zbieżność: metod badawczych, zastosowanych narzędzi analizy statystycznej, opisu wyników badań i ich interpretacji jest rezultatem przyjętej metody upowszechniania zdobytej wiedzy, a nie koincydencji. Rysunek 1. (str. 12) w sposób jednoznaczny objaśnia przyjętą strategię promowania uzyskanych wyników. Ta część rozprawy zajmuje 50 stron (str. 7-52), w tym 5 stron pozycji bibliograficznych (str. 53-58). Resztę zawartości rozprawy stanowią wyniki badań niepublikowanych (str. 61-70) oraz wydruki 6. artykułów wraz ze stosownymi oświadczeniami współautorów o ich udziałach cząstkowych (str.71-258). Łączna ilość stron rozprawy wynosi 258.

Ocena tego aspektu recenzowanej rozprawy jest pozytywna.

2. Zastosowane piśmiennictwo

Piśmiennictwo Doktoranta jest poprawne i adekwatne do treści oraz charakteru rozprawy. Wszystkie części merytoryczne rozprawy, a więc: Materiały i metody badawcze, Wyniki badań i dyskusja jak

również Wnioski i konkluzje, są opisane czytelnie przy wykorzystaniu nomenklatury odpowiadającej specyfice omawianych zagadnień.

Ocena tego aspektu recenzowanej rozprawy jest pozytywna.

3. Cel pracy i metody badawcze

Doktorant sformułowany cel pracy w sposób nie budzący wątpliwości ale jego umieszczenie przed hipotezami wydaje się niewłaściwe. Otóż, postawiona hipoteza na ogół jest wynikiem wnikliwej analizy stanu wiedzy albo poczynionych obserwacji w danym obszarze i związaną z tym identyfikacją pewnych niejasności/braków, które mogą ukierunkować planowane badania. Tak więc cel badań jest następstwem zdefiniowanych hipotez, wieńczących etap przeprowadzonego wcześniej studium. Doktorant sformułował 5 hipotez, jednak trzy z nich (H1,H2,H3), wydają się oczywiste w tym sensie, że można odnaleźć ich weryfikację w licznych badaniach prezentowanych w publikacjach dostępnych, np. w bazie Elsevier (torrefaction process- 3885 publikacji). Ciekawe są dwie ostatnie hipotezy (H4,H5). Wpływ parametru technologicznego w postaci nadciśnienia oraz cechy niekwantytatywnej opisanej jako- trwałość chemiczna materiałów poddawanych toryfikacji, na bilans energetyczny procesu jest intrygujący.

Organizację wykonywanych badań można odczytać ze schematu badawczego przedstawionego na rys.2. (str. 16). W gruncie rzeczy, badania przeprowadzono w dwóch etapach różniących się czynnikiem ciśnienia w etapie drugim, gdzie przyjęta temperatura procesu i czas jego trwania są arbitralnie przyjętymi wartościami z zakresu wartości testowanych podczas etapu pierwszego w którym oba parametry były zmiennymi niezależnymi. Spośród 7. badanych materiałów w etapie 1. tj.: drewno odpadowe, osad ściekowy, pofermentat z biogazowni, borowina pozabiegowa, odchody słonia, tworzywo biodegradowalne poliiaktyd (PLA) i papier, do etapu 2. wybrano 5. materiałów wyłączając odchody słonia i papier. Dygresja- odchody słonia to rzadki odpad, w zasadzie egzotyczny, jak na warunki krajowe stąd wątpliwości, co do sensu jego wyboru.

Zastosowane metody badawcze służących opisaniu: właściwości paliwowych na podstawie analiz obejmujących: parametry fizyczne- Tab. 2 (str.21), szybkości ubytku masy próbek dla różnych wartości temperatury otoczenia na podstawie analizy termogravimetrycznej (TGA) oraz ilości energii uwalnianej lub pochłanianej w układzie izolowanym termicznie przy użyciu skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC), nie budzą wątpliwości.

Do analizy statystycznej, Doktorant wykorzystał narzędzia systemowe, oferowane w pakiecie softwarowym STATISTICA PL wersja 13.3. Do modelowania uzyskanych wyników badań wykorzystano metody aproksymacji w przestrzeni 3D błędnie określone, jako analiza wieloraka. Uzyskane równania w postaci ogólnej, np.: $y=a_1+a_2x_1+a_3x_1^2+a_4+a_5x_2+a_6x_2^2$ (Świechowski et al.,2019) stanowią funkcje nieliniowe, podczas gdy regresja wieloraka generuje funkcję liniową w

postaci: $y = a_1 + a_2 x_1 + a_3 x_2$. (StatSoft, handbook). Powyższy błąd jest natury formalnej, bez wpływu na wartość wykonanych analiz statystycznych.

Ocena tego aspektu recenzowanej rozprawy jest pozytywna.

4. Omówienie wyników badań i możliwość ich praktycznego zastosowania

Uzyskane wyniki badań zostały przedstawione czytelnie i omówione, w kontekście sformułowanych hipotez, w sposób wyczerpujący. Weryfikacji hipotezy 5. służy m.in. interpretacja rozrzutu punktów w układzie X-Y, gdzie Y- zużyta energia na rozkład materiału, X- szybkości jego rozkładu dla różnych temperatur- rys.9. (str.49). Z danych przedstawionych na wykresie wynika, że każdy z badanych materiałów charakteryzuje się odmienną trwałością termiczną wyrażoną wartością współczynnika k , przy czym wraz ze wzrostem temperatury rośnie jego wartość. Można zauważyć, że współczynnik kierunkowy linii trendu obrazującej zmiany wartości współczynnika k dla rosnącej temperatury maleje co oznacza, że cyt.: „... dla procesu prowadzonego w 280°C i 300°C stałe szybkości nie mają wpływu na ilość energii zużywanej na proces”. Jednocześnie wykazano, że w temperaturach poniżej 280°C, cyt.: „materiały z większą wartością k potrzebują mniejszą ilość energii do procesu (w odniesieniu do tych samych temperatur)”.

Biorąc pod uwagę możliwość praktycznego wykorzystania wyników badań przeprowadzonych przez Doktoranta, najważniejszy jest bilans energii decydujący o efektywności procesu toryfikacji. Zaproponowany przez Doktoranta sposób kalkulowania efektywności energetycznej na podstawie uzyskanych wyników badań jest mało użyteczny ponieważ uwzględnia jedynie ciepło spalania materiału przed i po procesie toryfikacji. Patrząc na równanie bilansu energii w postaci: $E_g = E_z + E_s - E_{csf}$ (9) można wnioskować, że torgaz i toryfikat poza energią chemiczną mają również określoną wartość entalpii, wynikającą z ich pojemności cieplnej w danej temperaturze. Ta część energii jest tracona na sposób ciepła przez oba media w momencie opuszczenia układu izolowanego termicznie. Efektywne wykorzystanie entalpii fazy gazowej, której udział w bilansie masy sięgający nawet 30%, może polegać na kierowaniu torgazu do procesu suszenia materiału wsadowego, przy czym warto pamiętać, że tak duży udział procentowy wynika z zawartości pary wodnej.

Obliczone wartości współczynnika EDr (energy densification ratio) (2) są jedynie, cyt.: „... wskaźnikiem świadczącym o tym, o ile wzrosła/zmaląła wartość ciepła spalania w toryfikacji względem nieprzetworzonego materiału”. Tak więc ewentualna kalkulacja korzyści zastosowania toryfikacji badanych materiałów na podstawie udostępnionych informacji, na przykład w kontekście planowania inwestycji, byłaby nie rzetelna. Uzyskanie pełnego waloru aplikacyjnego wymaga uzupełnienia danych w wyżej podanym zakresie.

Podobna uwaga dotyczy badań wpływu ciśnienia na energochłonność procesu toryfikacji, co wiązało się z weryfikacją tezy 4. Przyrost ciśnienia w reaktorze od 0 do 15 bar był wynikiem zachodzących reakcji pirolizy i zgazowania materii organicznej, a nie działań technicznych. Stabilizację ciśnienia zapewniał zawór upustowy. Można zatem wnioskować, że badania wpływu ciśnienia na proces toryfikacji przebiegały w warunkach nie ustalonych, znacznie komplikujących opis matematyczny zjawiska. Wprawdzie wyniki badań wykazały, że ciśnienie jest czynnikiem wpływającym na poprawę właściwości paliwowych odpadów, w szczególności PLA-31,7%, to ich wykorzystanie w praktyce jest ograniczone. Wymiar praktyczny miałyby równania opisujące $HHV = f(T, t)$ dla zadanego- stałego ciśnienia w reaktorze. Powyższe otwiera przestrzeń do kontynuacji badań.

Ocena tego aspektu recenzowanej rozprawy jest pozytywna.

5. Oryginalność rozwiązania problemu badawczego

Realizując zaplanowane badania zawsze, w mniejszym lub większym stopniu, muszą być rozwiązywane problemy natury: organizacyjnej, technicznej oraz interpretacyjnej. Wydaje się, że w każdym z tych obszarów Doktorant poradził sobie w sposób świadczący o jego wysokich kompetencjach. Zastosowane w pracy narzędzia w postaci: urządzeń technicznych, procedur analitycznych, statystyk czy baz danych bibliograficznych są powszechnie dostępne i stosowane, a więc nie są wyjątkowe. Oryginalny jest natomiast plan badawczy przedstawiony w formie schematu blokowego umieszczonego na rys. 2. (str.16). Doktorant zidentyfikował *step by step* kolejne działania tworzące poziomy wykonawcze i decyzyjne nadając całości charakter algorytmu. Schemat ten można stosować do kontynuowania badań będących przedmiotem rozprawy, jak również w przypadku planowania nowych badań.

Ocena tego aspektu recenzowanej rozprawy jest pozytywna.

6. Poziom wiedzy teoretycznej w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka

Realizacja poszczególnych etapów wykonanej przez Doktoranta pracy, a w szczególności: sformułowanie hipotez, zaplanowanie i przeprowadzenie badań oraz wykonanie poszczególnych analiz w tym laboratoryjnych i statystycznych, wymagało wiedzy interdyscyplinarnej, jak również ściśle powiązanej z rzeczoną dyscypliną. Co ważne, Doktorant wykazał umiejętność krytycznej oceny badań własnych w kontekście dostępnej wiedzy eksperymentalnej. Ten aspekt rozprawy jest wyraźnie widoczny i świadczy o dojrzałości naukowej Doktoranta. Z powyższego wynika, że poziom wiedzy teoretycznej Doktoranta jest wysoki i z pewnością kwalifikuje go do grona ekspertów z zakresu toryfikacji odpadów organicznych.

Ocena tego aspektu recenzowanej rozprawy jest pozytywna.

7. Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Z tą kwestią w zasadzie korespondują wszystkie wcześniejsze uwagi i komentarze zawarte w ocenie kryteriów nr 1÷6. Realizując swoje badania, Doktorant nabył wiedzę i doświadczenie pozwalające mu planować i wykonywać badania naukowe. Wiedza Doktoranta wydaje się być komplementarna, co pozwala na samodzielną lub zespołową realizację projektów badawczych.

Ocena tego aspektu recenzowanej rozprawy jest pozytywna.

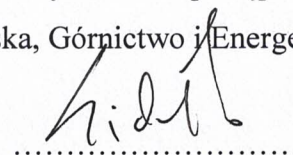
Podsumowanie

Wskazane w recenzji ewentualne błędy nie wpływają na wartość merytoryczną badań przeprowadzonych przez Pana mgr inż. Kacpra Świechowskiego, syntetycznie przedstawionych w rozprawie doktorskiej stanowiącej kompilację wyników prezentowanych artykułach opublikowanych w renomowanych czasopismach. Informacje zawarte w recenzowanej rozprawie doktorskiej, w zasadzie potwierdzają możliwość przetwarzania odpadów organicznych w procesie toryfikacji. Bez wątplenia, przeprowadzone badania wpisują się tematycznie w zakres Inżynierii Środowiska, Górnictwo i Energetyka, jako dyscypliny naukowej. Co ważne, uzyskane wyniki sugerują potrzebę kontynuacji podjętych badań otwierając tym samym możliwości dalszego rozwoju Doktoranta.

Recenzja nie obejmuje oceny całokształtu dorobku naukowego Doktoranta jednak warto podkreślić, że w tym przypadku jest on wyjątkowo znaczący. Według danych bazy Web of Science, obliczony wskaźnik Hirscha uwzględniający ilość najczęściej cytowanych prac Doktoranta wynosi 6, a łączna liczba cytowani 112. Dwie publikacje, stanowiące deklarowane osiągnięcie naukowe, tj. A1 i A2 (Tab. 1, str. 11) posiadają odpowiednio 14 i 10 cytowań.

Biorąc pod uwagę formę, zakres oraz treść recenzowanej rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Kacpra Świechowskiego, jak również oceny częściowe poszczególnych kryteriów, w/w rozprawę doktorską opiniuję pozytywnie. Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Kacpra Świechowskiego spełnia wszystkie wymagania zawarte w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2022 poz. 574), zatem wnioskuję o dopuszczenie jej do kolejnych czynności w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Koszalin 13.04.2022 r



.....