



dr hab. inż. Przemysław Bukowski, prof. Uczelni
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Wydział Przyrodniczo-Technologiczny
Instytut Inżynierii Rolniczej
Zakład Niskoemisyjnych Źródeł Energii i Gospodarki Odpadami

Wrocław, 22.06.2022 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krystiana Krochmalnego

pt. „Wpływ warunków torfikacji biomasy i odpadów na właściwości fizykochemiczne produktów”

Recenzja została wykonana na zlecenie Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej w ramach Umowy 49/PW/345/2022 z dnia 22.04.2022 r.

Charakterystyka ogólna rozprawy

Praca doktorska została wykonana przez mgr inż. Krystiana Krochmalnego w Zakładzie Kotłów, Spalania i Procesów Energetycznych pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Haliny Pawlak – Kruczek. Promotorem pomocniczym jest dr inż. Krzysztof Mościcki. Recenzowana Rozprawa składa się z 5 rozdziałów, obejmuje 163 strony maszynopisu, w tym 82 rysunki, 23 tabele, 2 załączniki, wykaz oznaczeń (skrótów), streszczenie po polsku i angielsku oraz spis rysunków i tabel. Praca zawiera także wykaz literatury zawierający 289 pozycji, z czego aż 97% stanowią źródła obcojęzyczne. Dobór bibliografii jest prawidłowy, zarówno źródła z recenzowanych czasopism naukowych jak i bazy danych (GUS - 2 pozycje) oraz normy (3 pozycje) są aktualne i związane z przedmiotem pracy. Nie recenzowano oryginalnych podziękowań na samym początku pracy, ale już po pierwszych zdaniach wstępu można zauważyć, że autor podaje informacje w sposób skondensowany i przemyślany. Już na początku pracy uzasadnia celowość i istotność podjęcia tematu (podrozdział 1.1. Motywacja). W części badawczej autor poprawnie formułuje hipotezę badawczą, m. in. że „jakość paliw stałych jest charakteryzowana poprzez wartości stosunków udziałów molowych H/C i O/C” oraz cele pracy główne i szczegółowe. Hipoteza została pozytywnie zweryfikowana, a cele zrealizowane.



Autor używa bogatego słownictwa, a sama rozprawa napisana jest językiem poprawnym i naukowym, z zamieszczonymi odnośnikami do literatury, podanymi źródłami pochodzenia rysunków i tabel, zgodnie z zapisami ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych. Na uwagę zasługuje też wysoka estetyka pracy (widoczna w całej rozprawie) i – praktycznie - brak błędów językowych i interpunkcyjnych (poza nielicznymi błędami jak np. oddzielna pisownia „miałaby” str. 17²², niepotrzebnymi kropkami str. 17₁, sformułowaniami potocznymi, jak „przy obecnym stanie rzeczy” str. 16₈, sformułowaniami typowymi dla eseju lub utworu poetyckiego str. 30², czy używanie pierwszej osoby liczby mnogiej str. 16²⁰, 20₆). Drobnym błędem (w postaci podkreśleń) znajduje się na rys. 8. Mimo tych drobnych błędów pracę cechuje wysoka estetyka w połączeniu z niezwykłą starannością i dużą wartością merytoryczną, co podnosi jej ocenę jako wyróżniającej się.

Ocena merytoryczna rozprawy

Poruszona w rozprawie tematyka jest bardzo istotnym i aktualnym obszarem badawczym obejmującym zagadnienia z zakresu energetyki, chemii, ochrony środowiska i gospodarki zrównoważonej. Autor rozprawy wykonał badania procesu toryfikacji paliw biomasowych oraz paliw odpadowych pochodzenia biomasowego (osad ściekowych) zarówno w skali laboratoryjnej (termiczna analiza grawimetryczna) jak i półprzemysłowej (reaktor pilotowy). Autor uwzględnił także aspekt aplikacyjny toryfikatu i analizował możliwości jego współspalania z węglem kamiennym i brunatnym.

Przegląd literatury zawiera analizę zagadnień ściśle związanych z badaniami wykonanymi w dalszej części pracy. Autor opisuje więc stosowane techniki toryfikacji (na sucho, na mokro, z dodatkiem cieczy jonowej oraz pary), mechanizmy toryfikacji zarówno celulozy (w biomasie) jak i osadów ściekowych, analizuje technologie wytwarzania peletów z toryfikatu a także wpływ toryfikacji na walory użytkowe paliw biomasowych. Analizuje problem z dwóch stron: technologicznej (ze szczególnym uwzględnieniem procesów biologicznych, chemicznych i fizycznych), oraz od strony ekonomicznego i przyrodniczego zagospodarowania osadów ściekowych, z uwzględnieniem ważnych aspektów takich jak koszt transportu, analiza reaktywności przetwarzanego paliwa, możliwość wykorzystania wielu rodzajów biomas w tym odpadowych, czy poziom biodegradacji produktu. Także tutaj dobór źródeł nie budzi zastrzeżeń.

Pan mgr inż. Krochmalny wykonał bardzo ciekawe badania podstawowe dla kulek z drewna bukowego o różnych średnicach. Określił kinetykę procesu toryfikacji w oparciu o dwie metody - izotermiczną oraz nieizotermiczną, stosując analizę TGA / DTG oraz przeprowadził pomiary na



zaprojektowanym specjalnie do tych badań stanowisku badawczym, gdzie mierzył w trakcie procesu toryfikacji temperaturę w środku kuli, w połowie promienia i na jej powierzchni. Badania te przyniosły bardzo ciekawe wyniki, zwłaszcza dla kul o średnicy 30 mm, gdzie oprócz wzrostu gradientu temperatury między środkiem i powierzchnią kuli, autor pracy wykazał wpływ na proces toryfikacji zarówno transportu ciepła i masy oraz reakcji egzotermicznych rozkładu drewna. Autor wykonał także bilans masowy produktów toryfikacji z uwzględnieniem części stałej, gazowej oraz ciekłej. Natomiast szczegółowa analiza frakcji gazowej wykazała występowanie jednego charakterystycznego związku, tj. formaldehydu, który jest dobrym markerem - wskaźnikiem stopnia toryfikacji – karbonizacji z uwagi na liniową zależność pomiędzy stężeniem tego związku, a parametrami toryfikatu (w tym względne udziały H i O w odniesieniu do pierwiastka C). Użycie formaldehydu jako markera jest innowacyjnym sposobem kontroli procesu toryfikacji. Eksperymentalnie została wyznaczona także liniowa zależność pomiędzy udziałami molowymi H/C i O/C (co znalazło odniesienie do tych wskaźników opisywanych we wstępie).

W pracy wykonano badania wpływu parametrów toryfikacji na właściwości uzyskiwanych produktów w zależności od wybranych gatunków biomasy lignocelulozowej (PKS, zrębka drewniana, słoma rzepakowa, wyłoki z oliwek) oraz odpadowej (osad ściekowy). Badania wykonane metodycznie poprawnie uwzględniały kluczowe parametry toryfikacji (wydajność masowa i energetyczna). Autor pracy analizował także jakość paliw stałych, w tym również efekt dehydratacji i dehydroksylacji biomasy (odpowiadający za rozpad hemicelulozy oraz celulozy). Doktorant zbadał także wpływ temperatury, czasu przebywania oraz początkowej wilgoci paliwa na późniejsze zapotrzebowanie energetyczne do procesu mielenia.

Z przedstawionych badań wynika, że problem wilgotności paliwa, a co za tym idzie wpływ znaczącego udziału pary wodnej w torgazie jest istotny. Znaczący udział wody w surowej biomase przeznaczonej do toryfikacji, pogorszył właściwości paliwowe otrzymanych toryfikatów poprzez obniżenie temperatury pracy reaktora, wydłużenie czasu suszenia oraz skrócenie efektywnego czasu toryfikacji.

W przypadku toryfikacji osadów ściekowych badania wykazały, że możliwa jest poprawa takich samych parametrów paliwowych, co w przypadku biomasy lignocelulozowej. Dzięki toryfikacji zaobserwowano wzrost kaloryczności, spadek wilgotności oraz wzrost karbonizacji i hydrofobowości osadu ściekowego. Wilgotność równowagowa malała wraz ze wzrostem temperatury toryfikacji, co wskazuje również na poprawę warunków przechowywania paliwa.



Ocenę potencjału aplikacyjnego toryfikowanej zrębki drewnianej przeprowadzono w izotermicznym reaktorze przepływowym, dodając storyfikowane a następnie zmielone paliwo do strumienia węgla kamiennego oraz brunatnego. Eksperyment miał za zadanie symulować warunki panujące podczas spalania węgla w kotle pyłowym. Tak przedstawiony problem badawczy został sformułowany prawidłowo i może stanowić przedmiot rozprawy doktorskiej.

W części badawczej autor recenzowanej pracy charakteryzuje materiał badawczy oraz przedstawia szczegółowy opis reaktorów wykorzystywanych w badaniach. Wyczerpująco ale i zwięźle opisuje same metody badawcze. Autor wziął pod uwagę nie tylko bilanse energetyczne i masowe, ale analizował również wzrost zagrożenia zanieczyszczenia powierzchni ogrzewalnych kotła i (poza jednym przypadkiem) określił ryzyko jako niskie, co jest cenną informacją technologiczną. Analizował także współspalanie toryfikowanej zrębki jako sposób ograniczania emisji CO₂ jak również emisji SO₂ i w niektórych przypadkach NO_x. Prawidłowo wskazał konieczność sprawdzenia temperatury zapłonu, szybkości procesu odgazowania oraz zawartości azotu i siarki w paliwie. Bardzo dobrze wyjaśnił wyniki badań mówiąc o wpływie mniejszej zawartości azotu w toryfikacie jak również możliwości jego szybszego odgazowania, analizując lokalne strefy redukcyjne (tzw. reburningowe).

Pytania szczegółowe

1. Proszę wyjaśnić rozbieżność między temperaturami toryfikacji zawartymi w Rozprawie Doktorskiej (np. str. 15, 22¹⁴, 23, tab. 3 na str. 33) a obowiązującymi zgodnie z Ustawą o OZE (Dz. U. 2015 poz. 478).
2. Proszę wyjaśnić, dlaczego nie powinno się używać sformułowania „energia cieplna” (np. str. 21₁₇).
3. Proszę przeprowadzić krótką dyskusję możliwości zastąpienia toryfikatem węgla energetycznego.



Wnioski końcowe

Temat rozprawy doktorskiej oraz jej wybór nie budzi zastrzeżeń zarówno merytorycznych jak i formalnych. Zaprezentowany w pracy obszerny przegląd aktualnego stanu wiedzy wskazuje na dobre przygotowanie Doktoranta dotyczące analizy osadów ściekowych, ich stabilizacji a następnie użytkowanie tych składników do nawożenia roślin. Wytyczony obszar badań jest logiczny, uzasadniony w aspekcie poznawczym i praktycznym. Podjęte badania uważam za bardzo wartościowe, a otrzymane wyniki i przeprowadzona ich analiza uzupełnia wiedzę naukową. Wiedza ta może być zastosowana w praktyce w celu wykorzystania torfikatu z odpadów jako alternatywy dla węgla. Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemu badawczego, zaproponował właściwe metody jego rozwiązania, poprawnie przedstawił i zinterpretował uzyskane wyniki pomiarów. Sformułowane przez Doktoranta wnioski znajdują oparcie w prezentowanych danych. Daje to przekonanie, że postawiony cel badań został osiągnięty, potwierdza jednocześnie umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Reasumując stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Krystiana Krochmalnego pt. „Wpływ warunków torfikacji biomasy i odpadów na właściwości fizykochemiczne produktów” spełnia wymagania wynikające z Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) i zwracam się do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej z wnioskiem o dopuszczenie Pana mgr inż. Krystiana Krochmalnego do dalszego toku przewodu doktorskiego.

Autor w niniejszej rozprawie pokazuje dużą wiedzę ekspercką. Z uwagi na duży zakres wykonanych prac, rozbudowane badania i konstruktywne wnioski – zwracam się do Rady Naukowej o wyróżnienie niniejszej pracy doktorskiej.

dr hab. inż. Przemysław Bukowski, prof. uczelni