

UNIwersytet
WARMIŃSKO-MAZURSKI W OLSZTYNIE

WYDZIAŁ GEOINŻYNIERII

INSTYTUT INŻYNIERII I OCHRONY ŚRODOWISKA
KATEDRA INŻYNIERII ŚRODOWISKA

dr hab. inż. Joanna Rodziewicz, prof. uczelni

Olsztyn, dnia 06.08.2021 r.

Katedra Inżynierii Środowiska

Wydział Geoinżynierii

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

w Olsztynie

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Stępnia
pt.: „Identyfikacja parametrów kinetycznych toryfikacji paliw formowanych z
odpadów”

1. Podstawy formalne sporządzenia recenzji

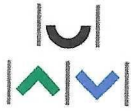
Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Stępnia przygotowana została na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyka Politechniki Warszawskiej, Pana prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego (pismo RND-IŚGiE-40/2021 z dnia 15.06.2021 r.), na podstawie przedłożonego maszynopisu pracy - mgr inż. Pawła Stępnia, Identyfikacja parametrów kinetycznych toryfikacji paliw formowanych z odpadów, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska, Warszawa 2021.

2. Ocena trafności wyboru tematyki pracy

W 2020 r. odebranych zostało 13,1 mln ton odpadów komunalnych, co w porównaniu z 2019 r. stanowi wzrost o 2,9 %. W tym z gospodarstw domowych odebrano 11,3 mln ton odpadów, czyli 86,1 % wszystkich wytworzonych odpadów komunalnych. Spośród 13,1 mln ton zebranych odpadów komunalnych, odebranych lub zebranych w sposób selektywny zostało 4,9 mln ton odpadów (37,4 %). W 2020 roku przekształcono termicznie 2656,2 tys. ton



WYDZIAŁ GEOINŻYNIERII
UNIwersytet WARMIŃSKO-MAZURSKI W OLSZTYNIE
ul. Warszawska 117A, 10-950 Olsztyn
tel. (89) 523 56 05 kissekretariat@uwm.edu.pl



odpadów (dane GUS). Produkcja paliwa formowanego z odpadów jest sposobem zagospodarowania odpadów komunalnych, których nie można ponownie wykorzystać lub poddać recyklingowi materiałowemu. W przypadku paliwa formowanego z odpadów o niskiej wartości opałowej, jednym ze sposobów zwiększenia jej wartości jest toryfikacja.

Toryfikacja jest procesem przetwarzania biomasy w paliwo stałe o właściwościach zbliżonych do węgla i polega na termicznej obróbce biomasy w zakresie temperatur 200 – 300 °C, pod ciśnieniem zbliżonym do atmosferycznego, bez dostępu tlenu. Końcowym produktem jest bogata w węgiel substancja stała nazywana toryfikatem, biowęgłem czy karbonizatem. Powstający w procesie toryfikacji karbonizat charakteryzuje się dobrymi parametrami paliwowymi, co związane jest z utratą wilgotności, odparowaniem łatwo rozkładalnych związków, zmniejszeniem stosunku H/C i O/C oraz zwiększeniem ilości węgla związanego.

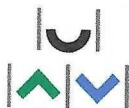
W związku ze zwiększającą się ilością odpadów komunalnych i zaletami procesu toryfikacji zasadne jest podjęcie badań nad określeniem parametrów technologicznych i kinetycznych toryfikacji paliwa formowanego z odpadów.

W tym kontekście tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Stępnia wpisuje się w nurt badań dotyczących sposobów zagospodarowania odpadów komunalnych i zrównoważonej gospodarki odpadami. W mojej ocenie problematyka pracy jest aktualna i istotna z punktu widzenia inżynierii środowiska.

3. Ocena struktury pracy

Recenzowana praca doktorska liczy 255 stron i zawiera 71 rysunków, 41 tabel oraz 17 rysunków i 155 tabel w postaci załączników zapisanych na płycie CD. Bibliografia obejmuje 314 pozycji literaturowych, w tym 255 prac naukowych głównie anglojęzycznych, 22 normy i przepisy prawne, 34 strony internetowe oraz 12 raportów statystycznych. Dysertację rozpoczyna streszczenie w języku polskim i angielskim, spis treści i wykaz stosowanych skrótów. We Wstępie Doktorant wyjaśnia przyczyny podjęcia badań będących tematem niniejszej rozprawy, formułuje cel pracy i hipotezy badawcze. Kolejny rozdział to Przegląd literatury, w którym omówiony został obecny stan wiedzy na temat paliw formowanych z odpadów, procesu toryfikacji oraz modeli matematycznych opisujących toryfikację. Następną





część pracy obejmuje Materiały i metody, Wyniki badań, ich Dyskusję oraz Podsumowanie i Wnioski. Pracę zamyka spis literatury, spis rysunków i tabel oraz załączniki.

Praca składa się z ośmiu rozdziałów. Moim zdaniem przyjęta struktura pracy jest czytelna oraz kompletna.

Wstęp składa się z dwóch podrozdziałów. Pierwszy to wprowadzenie do tematu pracy, drugi to cel i hipotezy badawcze. Doktorant zdefiniował następujący cel pracy:

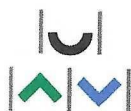
„Celem pracy jest identyfikacja parametrów technologicznych i kinetycznych procesu toryfikacji paliw formowanych z odpadów komunalnych i zaproponowanie modelu matematycznego, poddanego eksperymentalnej walidacji oraz określenie możliwości implementacji tej metody do wstępnej waloryzacji badanego materiału przed jego energetycznym wykorzystaniem.”

Cel wymaga przereformowania polegającego na określeniu tego co ma opisywać model matematyczny oraz sprecyzowaniu, co się kryje za słowem „tej” metody.

Rozdział 2 – *Przegląd literatury* – składa się z czterech podrozdziałów i jest teoretycznym wprowadzeniem do przedmiotu pracy, obejmującym 61 stron (co stanowi około 24 % objętości pracy). Pierwszy podrozdział dotyczy paliw formowanych z odpadów, stosowanej nomenklatury, klasyfikacji paliw formowanych z odpadów, ich charakterystyki ilościowej i jakościowej oraz technologii wytwarzania i metod zagospodarowania. W podrozdziale drugim zostało wyjaśnione pojęcie toryfikacji, jej etapy, rodzaje stosowanych w procesie substratów oraz kinetyka. W kolejnym podrozdziale Doktorant omówił modele matematyczne procesu toryfikacji. W podrozdziale czwartym mgr inż. Paweł Stępień podsumowuje obecny stan wiedzy na temat toryfikacji. Moim zdaniem rozdział ten jest zbyt obszerny.

W rozdziale 3 – *Materiały i metody* – w sposób szczegółowy opisano próbki badawcze, zadania badawcze oraz zastosowane metody obliczeniowe i statystyczne. W podrozdziale 3.1 *Próbki badawcze* opisano technologię wytwarzania paliwa formowanego z odpadów w Zakładzie Gospodarki Odpadami Sp. z o.o. w Gaci, wykorzystanego w badaniach oraz skład morfologiczny wytworzonych sztucznie dwóch mieszanek paliwa formowanego z odpadów. W kolejnym podrozdziale omówiono zadania badawcze, aparaturę badawczą oraz zakres badań. Zadania 1 – 5 na stronie 84 to zakres badań, który moim zdaniem powinien być umieszczony





w rozdziale 1 pod hipotezami badawczymi.

Obszerną część pracy stanowi rozdział 4 – *Wyniki* (31% jej objętości). Doktorant określił właściwości fizyczno-chemiczne (zawartość wilgoci, popiołu, straty przy prażeniu, gęstość nasypowa, gęstość właściwa, procentowa zawartość węgla, wodoru, azotu, siarki i tlenu, stosunek O/C, H/C, ciepło spalania, wartość opałowa, wydajność energetyczna, masowa oraz gęstość energetyczna) paliwa formowanego z odpadów, jego komponentów oraz mieszanek wytworzonych sztucznie. W badaniach składu morfologicznego wytypowano 10 grup morfologicznych wchodzących w skład paliwa (min. tworzywa sztuczne, papier i tektura, drewno, wielomateriałowe, guma, tekstylia, metal, szkło, biodegradowalne i niezidentyfikowane). Poza tym Doktorant przedstawił wyniki analizy termogravimetrycznej i analizy termicznej paliwa formowanego z odpadów, jego składników i mieszanek wytworzonych sztucznie poddanych toryfikacji oraz wyniki modelowania matematycznego.

Dyskusję wyników badań przedstawiono w rozdziale 5, liczącym 27 stron. Merytoryczną część rozprawy zamykają rozdziały *Podsumowanie* i *Wnioski*.

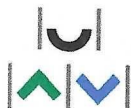
Pracę kończy rozdział *Literatura* obejmujący 314 pozycji literaturowych, w tym 255 prac naukowych, przede wszystkim anglojęzycznych, przedstawionych w porządku alfabetycznym (211 pochodzi z ostatniego dziesięciolecia), *Spis rysunków*, *Spis tabel* oraz *Załączniki* (na płycie CD).

4. Ocena merytoryczna

Przedmiotem badań, będących podstawą do przygotowania rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Stępnia, było określenie parametrów technologicznych i kinetycznych procesu toryfikacji paliwa formowanego z odpadów oraz przedstawienie dwóch modeli matematycznych. Pierwszy umożliwia określenie podstawowych parametrów produktu toryfikacji w zależności od składu morfologicznego paliwa oraz parametrów technologicznych takich jak temperatura, czas trwania procesu i szybkość nagrzewania wsadu. Drugi model pozwala na symulację pracy instalacji do przetwarzania paliwa formowanego z odpadów.

Wysoko oceniam wybór przedmiotu badań, kompleksowe podejście do problematyki toryfikacji paliw formowanych z odpadów sposób oceny uzyskanych efektów. Należy podkreślić, że tytuł pracy, jej cel oraz hipotezy badawcze zostały poprawnie sformułowane, a





wyszczególnione przez Autora na stronie 84 zadania badawcze, stanowiące zakres pracy umożliwiły realizację wskazanego przez Doktoranta celu.

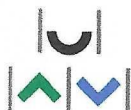
Przegląd literatury stanowi logiczne wprowadzenie do zagadnień, będących przedmiotem pracy. Moim zdaniem jest on zbyt szczegółowy i mógłby być krótszy. Na przykład w podrozdziale 2.1.4. *Technologie wytwarzania paliw formowanych z odpadów* fragment opisujący parametry technologiczne urządzeń do przesiewania odpadów, które należy zoptymalizować, moim zdaniem jest zbędny (strona 37).

W rozdziale *Metodyka i obiekt badań* bardzo szczegółowo opisano sposób prowadzenia badań, obiekt badań, zastosowane metody analityczne i statystyczne. Imponująca jest liczba wariantów przyjęta do modelowania symulacji pracy instalacji do przetwarzania paliwa formowanego z odpadów. Dobór metod badawczych, analitycznych i statystycznych oceniam jako właściwy i wystarczający do realizacji celu pracy.

Doktorant wykazał, że paliwo formowane z odpadów pochodzących z zakładu mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów charakteryzowało się najwyższą zawartością wilgoci, materii organicznej, popiołu. Przeprowadzona analiza wariancji zawartości wilgoci w karbonizatach wytworzonych z paliwa formowanego z odpadów wykazała wpływ zarówno temperatury jak i czasu trwania toryfikacji na ich wilgotność. Wzrost temperatury i czasu trwania toryfikacji powodował zmniejszenie materii organicznej i zwiększenie popiołu w karbonizatach oraz zwiększenie jego gęstości nasypowej i właściwej. Poza tym toryfikacja, zmieniając skład pierwiastkowy przetwarzanego paliwa formowanego z odpadów, powoduje zwiększenie ciepła spalania i wartości opałowej karbonizatu. Doktorant udowodnił, że przedstawiony model matematyczny dla cząstki paliwa formowanego z odpadów może być stosowany do określania energochłonności toryfikacji, zmian masy produktu wraz ze zmianą składu morfologicznego, zadanej temperatury i czasu trwania procesu. Analiza wyników modelowania matematycznego instalacji do przetwarzania paliwa formowanego z odpadów wykazała, że temperatura i czas trwania procesu są kluczowymi parametrami wpływającymi na produkcję karbonizatu, całkowite zapotrzebowanie na ciepło, stosunek energii w karbonizacie do zapotrzebowania na ciepło oraz koszt przetwarzania odpadów.

Dyskusja zaprezentowana przez Doktoranta jest poprawna i poparta argumentami bazującymi na wynikach prezentowanych w literaturze przedmiotu. *Wnioski* zawierają wykaz





najistotniejszych osiągnięć pracy.

Równoległe z pozytywną oceną pracy nasuwają się następujące pytania:

1. Dlaczego badania kinetyki procesu toryfikacji paliwa formowanego z odpadów przeprowadzono w zakresie 10 – 500 °C, skoro proces toryfikacji to termiczna metoda konwersji biomasy w zakresie temperaturowym 200 – 300 °C?
2. Jaki jest cel recykulacji części wytworzonego karbonizatu – technologiczny, ekonomiczny i logistyczny?
3. Jakich efektów spodziewa się Doktorant po prowadzeniu procesu toryfikacji w skali półtechnicznej i technicznej?
4. Jakie są konsekwencje tego, że odpady węglowodorowe rozkładają się w temperaturze większej od 300 °C? Jaki to ma wpływ na właściwości karbonizatu?
5. Jaka jest procedura postępowania przy stosowaniu opracowanej metody do wstępnej waloryzacji materiałów przed ich energetycznym wykorzystaniem w warunkach technicznych?

Podsumowując ocenę merytoryczną pracy stwierdzam, że uwagi zamieszczone powyżej nie wpływają na ogólną, pozytywną opinię rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Stępnia. Dysertacja zawiera obszerny materiał eksperymentalny, uporządkowany i zaprezentowany w sposób zrozumiały. Należy podkreślić duży nakład pracy i czasu związany z przeprowadzeniem badań, a także ich aplikacyjny charakter.

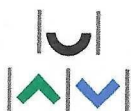
5. Uwagi szczegółowe

Praca nie jest szczególnie starannie przygotowana pod względem redakcyjnym. Występują liczne błędy literowe oraz gramatyczne, co bardzo utrudnia poprawne zrozumienie treści pracy.

Jeżeli podajemy zakres wartości, to piszemy albo „w przedziale $X - Y$ ”, albo „od X do Y ”. Doktorant najczęściej łączy obie formy, co nie jest poprawne (str. 33, 37, 39., 48, 49, 55, 64, 66, 68, 85, 186, 187, 190, 192, 196, 201).

Poza tym Autor nie ustrzegł się także błędów stylistycznych, językowych, które wpływają na czytelność przekazu np.: „Jednakże w chwili obecnej stan wiedzy dotyczący





toryfikacji został dobrze opisany i charakteryzowany jedynie dla wyżej wymienionej biomasy” (str. 79), „Natomiast dane literaturowe charakteryzujące się zawartością wilgoci $< 10\%$ zostały pobrane w okresie zimowym...” (str. 188), „W ten sposób powstał puszek, który pomiędzy odpadem wypełniony był powietrzem.” (str. 193), „Różnice te mogą być spowodowane różnicami wynikającymi ze składu morfologicznego mieszanek” (str. 194), „Pozostałe odpady posiadały zawartość pierwiastka siarki $< 1\%$...” (str. 195), „Przebadane paliwo formowane z odpadów posiadało wyższą wartość ciepła spalania niż przedział wartości przedstawiony w najnowszej literaturze naukowej oraz mieszczącą się w przedziale danych literaturowych wartość opałową” (str. 196).

Na podkreślenie zasługuje staranna prezentacja wyników w formie graficznej i tabelarycznej poza tabelą 2.9. i rysunkami 3.1., 3.2. i 3.5., gdzie zastosowano zbyt małą czcionkę.

Pozostałe uwagi:

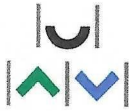
- norma nie jest aktem prawnym a dokumentem – wyrażenie „nadrzędnym aktem prawnym stała się norma EN...” (str. 20),
- w wyrażeniu „w polskim prawodawstwie...” polskim piszemy małą literą, w pracy jest wielką (str. 21).

6. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi wartościowe opracowanie naukowe, a wyniki badań w sposób znaczący poszerzają stan wiedzy dotyczącej sposobów toryfikacji paliw formowanych z odpadów.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Stępnia pt.: „Identyfikacja parametrów kinetycznych toryfikacji paliw formowanych z odpadów” spełnia warunek, o którym mowa w art.13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (tekst jednolity Dz.U. z 2017 r. poz. 1789 z późn. zm.) dla kandydatów ubiegających się o nadanie stopnia naukowego doktora. Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a Doktorant wykazał się wiedzą teoretyczną w zakresie dyscypliny inżynieria środowiska odpowiadającej dyscyplinie





UNIwersytet
WARMIŃSKO-MAZURSKI W OLSZTYNIE
WYDZIAŁ GEOINŻYNIERII

Instytut Inżynierii i Ochrony Środowiska
Katedra Inżynierii Środowiska

inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wnioskuje zatem do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Warszawskiej *o dopuszczenie mgr inż. Pawła Stępnia do dalszych etapów postępowania kwalifikacyjnego o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w zakresie dyscypliny inżynieria środowiska odpowiadającej dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.*

dr hab. inż. Joanna Rodziewicz, prof. uczelni



WYDZIAŁ GEOINŻYNIERII
UNIwersytet WARMIŃSKO-MAZURSKI W OLSZTYNIE
ul. Warszawska 117A, 10-950 Olsztyn
tel. (89) 523 56 05 kissekretariat@uwm.edu.pl