

Prof. UPP dr hab. inż. Wojciech Czekala

Poznań, 19 maja 2022 r.

Katedra Inżynierii Biosystemów

Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Kacpra Świechowskiego pt. „Waloryzacja odpadów i biomasy o niskich wartościach energetycznych w procesie toryfikacji”, wykonanej w Katedrze Biogospodarki Stosowanej na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu

Ocena formalna pracy

Dnia 16 marca 2022 r. uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu zostałem powołany na recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora Panu mgr. inż. Kacprowi Świechowskiemu.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Andrzej Białowiec, a promotorem pomocniczym dr inż. Sylwia Stegenta-Dąbrowska.

Recenzję opracowałem na podstawie materiałów przesłanych przez Przewodniczącą Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu prof. dr hab. inż. Krzysztofa Pulikowskiego.

Rozprawę doktorską stanowi zbiór sześciu powiązanych ze sobą tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w latach 2019-2021. Liczba Autorów w poszczególnych artykułach mieści się w przedziale od trzech do ośmiu. W pięciu z sześciu prac Pan mgr inż. Kacper Świechowski jest pierwszym autorem. Wszystkie artykuły stanowiące rozprawę doktorską zostały opublikowane w czasopiśmie Wydawnictwa Multidisciplinary Digital Publishing Institute i są dostępne w formie open access.

Wykaz publikacji stanowiących rozprawę doktorską:

Publikacja 1

Kacper Świechowski, Marek Liszewski, Przemysław Bąbelewski, Jacek A. Koziel, Andrzej Białowiec. Oxytree Pruned Biomass Torrefaction: Mathematical Models of the Influence of Temperature and Residence Time on Fuel Properties Improvement. *Materials* 2019, 12, 2228; doi:10.3390/ma12142228

Liczba punktów MNiSW: 140 IF 2019: 3,057 Udział procentowy: 35%

Publikacja 2

Kacper Świechowski, Sylwia Stegenta-Dąbrowska, Marek Liszewski, Przemysław Bąbelewski, Jacek A. Koziel, Andrzej Białowiec. Oxytree Pruned Biomass Torrefaction: Process Kinetics. *Materials* 2019, 12, 3334; doi:10.3390/ma12203334

Liczba punktów MNiSW: 140 IF 2019: 3,057 Udział procentowy: 40%

Publikacja 3

Paweł Stępień, **Kacper Świechowski**, Martyna Hnat, Szymon Kugler, Sylwia Stegenta-Dąbrowska, Jacek A. Koziel, Piotr Manczarski, Andrzej Białowiec. Waste to Carbon: Biocoal from Elephant Dung as New Cooking Fuel. *Energies* 2019, 12, 4344; doi:10.3390/en12224344

Liczba punktów MNiSW: 140 IF 2019: 2,702 Udział procentowy: 20%

Publikacja 4

Kacper Świechowski, Martyna Hnat, Paweł Stępień, Sylwia Stegenta-Dąbrowska, Szymon Kugler, Jacek A. Koziel, Andrzej Białowiec. Waste to Energy: Solid Fuel Production from Biogas Plant Digestate and Sewage Sludge by Torrefaction-Process Kinetics, Fuel Properties, and Energy Balance. *Energies* 2020, 13, 3161; doi:10.3390/en13123161

Liczba punktów MNiSW: 140 IF 2020: 3,004 Udział procentowy: 50%

Publikacja 5

Kacper Świechowski, Małgorzata Leśniak, Andrzej Białowiec. Medical Peat Waste Upcycling to Carbonized Solid Fuel in the Torrefaction Process. *Energies* 2021, 14, 6053. doi.org/10.3390/en14196053

Liczba punktów MNiSW: 140 IF 2020: 3,004 Udział procentowy: 50%

Publikacja 6

Kacper Świechowski, Christian Zafiu, Andrzej Białowiec. Carbonized Solid Fuel Production from Polylactic Acid and Paper Waste Due to Torrefaction. *Materials* 2021, 14, 7051. doi.org/10.3390/ma14227051

Liczba punktów MNiSW: 140 IF 2020: 3,623 Udział procentowy: 60%

Rozprawa doktorska składa się z sześciu spójnych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych posiadających współczynnik wpływu Impact Factor oraz 1 załącznika z danymi nieopublikowanymi. Łączna liczba stron dla sześciu artykułów to 156, średnio 26 stron, czyli są to artykuły bardzo obszerne. Łączna liczba zacytowanych w nich pozycji literaturowych i innych źródeł to 350. W mojej ocenie literatura w każdej z sześciu prac została odpowiednio dobrana do tematyki realizowanej w pracy doktorskiej.

Na podkreślenie zasługuje liczba artykułów stanowiących rozprawę doktorską i liczba punktów – 140 punktów dla każdego z wykazanych artykułów. Udział procentowy mgr inż. Kacpra Świechowskiego w wykazanych pracach jest zróżnicowany i mieści się w przedziale od 20% do 60%, średnio 42,5%. **Suma punktów według listy czasopism punktowanych wynosi 840, a sumaryczny IF według roku wydania publikacji 18,447.** Biorąc pod uwagę oba przedstawione wyżej parametry uważam i chciałbym podkreślić ich bardzo wysoką wartość, jako wskaźników oceny naukowej zaprezentowanych prac.

Poza tym pragnę zauważyć, że według aktualnie obowiązującego Załącznika do Komunikatu Ministra Edukacji i Nauki w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych oba czasopisma, w których zostały opublikowane trzy przedstawione artykuły naukowe (*Materials*, *Energies*) przypisane są do dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. W moim przekonaniu wszystkie sześć wykazanych artykułów mieści się w tematyce dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, w której to dyscyplinie kandydat zamierza uzyskać stopień doktora. Dodatkowo, w skład przekazanych do recenzji materiałów wchodzi obszerne *Opracowanie* zawarte na 59 stronach składające się z następujących elementów:

- Streszczenie
- Streszczenie w języku angielskim
- Wprowadzenie

- Problem badawczy, cel pracy i hipotezy
- Struktura rozprawy doktorskiej
- Materiały i metody badawcze
- Wyniki badań i dyskusja
- Wnioski i konkluzje
- Bibliografia
- Lista załączników

Pragnę podkreślić, że powyższe rozdziały zostały wykonane właściwie, a zawarta w nich treść stanowi spójny, prawidłowo opracowany materiał tworzący całość. Mając na uwadze liczbę artykułów, udział procentowy Pana mgra inż. Kacpra Świechowskiego oraz punktację zgodną z Załącznikiem do Komunikatu Ministra Edukacji i Nauki w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych stwierdzam, że rozprawa doktorska spełnia wymagania formalne zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2022 poz. 574).

Ocena merytoryczna pracy

Ochrona środowiska i gospodarka odpadami stanowią jedno z największych wyzwań w XXI wieku. Wraz z rozwojem oraz wzrostem gospodarczym rośnie ilość i różnorodność wytwarzanych odpadów. Efektem tego jest coraz większe obciążenie i zanieczyszczenie środowiska. Znaczna część wytworzonych odpadów, zarówno komunalnych, jak i przemysłowych może zostać z powodzeniem zagospodarowana w procesach recyklingu, czy odzysku, o czym również wspomniał Doktorant w rozdziale *Wprowadzenie* (str. 7).

Jednym z procesów pozwalających zwiększyć wartość energetyczną biomasy, czy odpadów jest toryfikacja. Proces toryfikacji wykorzystuje się m.in. do waloryzacji właściwości energetycznych biomasy. W wyniku procesu pewna część materii organicznej ulega rozkładowi i odgazowaniu, czego rezultatem jest uzyskanie produktu o większej wartości energetycznej w przeliczeniu na jednostkę masy, w stosunku do nieprzetworzonego surowca. Dodatkową zaletą procesu toryfikacji jest to, że powstający w procesie torgaz może zostać wykorzystany jako źródło ciepła, niezbędne do przeprowadzenia procesu toryfikacji.

Na podstawie analizy literatury Doktorant stwierdził że: „O ile proces toryfikacji drewna jest znany i został dogłębnie przebadany, znacznie mniej informacji można znaleźć na temat

toryfikacji materiałów innych niż ligninocelulozowe z uwzględnieniem materiałów odpadowych” (str. 8). Zgadzam się z tym stwierdzeniem i pragnę dodać, że ze względu na aktualne wyzwania związane z rynkiem energii badania prowadzone w temacie toryfikacji odpadów i biomasy powinny być rozwijane na znacznie większą skalę.

Na potrzeby realizacji badań przedstawionych w rozprawie doktorskiej wybrano siedem materiałów odpadowych, które poddano procesowi toryfikacji. Były to: drewno odpadowe, osad ściekowy, poferment z biogazowni, borowina po zabiegowa, odchody słonia, tworzywo biodegradowalne polilaktyd (PLA) i papier. Na podstawie przeprowadzonych badań określono wpływ wybranych parametrów technologicznych toryfikacji (temperatury, czasu trwania procesu, ciśnienia) analizowanych materiałów na przebieg i energochłonność procesu oraz właściwości paliwowe wytworzonych toryfikatów.

Na rysunku 1 zaprezentowanym w *Opracowaniu* zamieszczono schemat obrazujący ogólną strukturę pracy wraz z umiejscowieniem publikacji i danych w nich zawartych służących realizacji niniejszej pracy. Celem pracy było określenie wpływu parametrów technologicznych toryfikacji odpadów i biomasy: temperatury, czasu trwania procesu i ciśnienia na ilość produkowanego toryfikatu, jego właściwości paliwowe oraz energochłonność procesu. Cel pracy, jak i pięć przedstawionych hipotez badawczych w moim przekonaniu zostało sformułowanych poprawnie.

Analizując w rozdziale 2.2. *Cel pracy* (str. 10) uważam, że należało jeszcze przedstawić w ujęciu całościowym zakres przeprowadzonych prac, niezależnie od jego przedstawienia w poszczególnych artykułach oraz w *Strukturze pracy* (Rycina 1, str. 12).

Ważnym elementem pracy było sformułowanie problemu badawczego dotyczącego poszukiwania warunków technologicznych pozwalających na zbilansowanie ilości energii zużytej na proces z ilością energii zachowanej w toryfikacie, tak aby stosowanie toryfikacji do waloryzacji odpadów i biomasy było energetycznie uzasadnione.

Celem ułatwienia omówienia i podsumowania uzyskanych danych Doktorant podzielił prace na dwie części. Pierwsza część dotyczy wyznaczenia wpływu parametrów technologicznych (temperatura, czas trwania procesu, ciśnienie, właściwości materiału) na ilość i jakość produkowanego toryfikatu. Natomiast w drugiej części Autor zawarł wyniki dotyczące wpływu badanych parametrów technologicznych na energochłonność toryfikacji. Prawidłowe i syntetyczne przedstawienie treści zawartych w poszczególnych publikacjach przedstawiono w rozdziale 3.2 „Opis zawartości publikacji i załącznika z danymi nieopublikowanymi” (str. 13-15).

Szczegółowe informacje o zastosowanych metodach badawczych oraz omówienie wyników badań dotyczących waloryzacji analizowanych odpadów i biomasy o niskich wartościach energetycznych w procesie toryfikacji zostały zawarte w publikacjach stanowiących rozprawę doktorską. Na szczególną uwagę i wkład Doktoranta zasługuje zastosowanie szerokiego spektrum analizy statystycznej, m.in. z wykorzystaniem oprogramowania Statistica 13,3 (StatSoft, Palo Alto, CA, USA). Narzędzie te zostały prawidłowo wykorzystane w realizacji rozprawy doktorskiej, co świadczy o dobrym opanowaniu i posługiwaniu się przez doktoranta możliwościami, jakie daje nowoczesna statystyka.

Zdaniem Recenzenta, tak szerokie ujęcie zaplanowanych i przeprowadzonych badań, których wyniki zostały opublikowane aż w sześciu artykułach indeksowanych o wysokiej punktacji zdecydowanie podnosi wartość naukową pracy. Tym bardziej, że Doktorant trafnie wskazał obszary swoistych „luk” w wiedzy, które dzięki przeprowadzonym badaniom i opublikowaniu ich wyników zostały w dużym stopniu wypełnione.

Jak wspominałem wcześniej tematyka badań prowadzona przez Doktoranta wpisuje się w zakres dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, a ich wyniki z pewnością pozwolą częściowo wypełnić pewne braki w wiedzy, o których wspominał, i do których odnosił się mgr inż. Kacper Świechowski w *Opracowaniu* stanowiącym dodatek do rozprawy doktorskiej. Pragnę przy tym zwrócić uwagę, że wyniki opublikowane w sześciu artykułach naukowych mogą zostać wykorzystane w praktyce, jak i stanowić bazę pod planowanie kolejnych badań naukowych.

Łączna liczba zacytowanych w sześciu artykułach pozycji literaturowych i innych źródeł to 350 i w moim przekonaniu została ona odpowiednio dobrana do tematyki realizowanej w pracy doktorskiej. Ze względu na powiązanie tematyczne prezentowanych w ramach rozprawy doktorskiej artykułów naukowych, część z zaprezentowanych publikacji powtarza się w poszczególnych artykułach, co jest uzasadnione realizowaną tematyką badawczą. Zdecydowana większość cytowanych publikacji to artykuły w języku angielskim, opublikowane w ciągu ostatnich lat, co świadczy o dobrym rozeznaniu Doktoranta w literaturze oraz o aktualności zawartych w nich treści. W recenzowanej pracy pragnę odnieść się jednak do pewnych spostrzeżeń, które w formie uwag czy pytań przedstawiam poniżej:

- Wykorzystane w badaniach surowce pochodziły z różnych sektorów i charakteryzowały się zróżnicowanym sposobem ich powstawania oraz właściwościami. Pytanie: Co było powodem wyboru badanych substratów?

- W Streszczeniu (str. 1) napisano: „W pracy poddano analizie wpływ trzech kluczowych parametrów technologicznych (temperatury, czasu trwania procesu, ciśnienia) dla siedmiu materiałów odpadowych (drewno odpadowe, osad ściekowy, poferment z biogazowni, borowina, odchody słonia, oraz tworzywa biodegradowalne polilaktyd (PLA) i papier)”. Pytanie: Jakby Pan zdefiniował pojęcie materiał odpadowy, które to pojęcie w moim przekonaniu nie jest często wykorzystywane w literaturze krajowej. Jak to pojęcie ma się do tytułu rozprawy doktorskiej: „Waloryzacja odpadów i biomasy o niskich wartościach energetycznych w procesie toryfikacji”?

- Streszczenie (str. 1) - „W pracy poddano analizie wpływ trzech kluczowych parametrów technologicznych (temperatury, czasu trwania procesu, ciśnienia) dla siedmiu materiałów odpadowych (drewno odpadowe, osad ściekowy, poferment z biogazowni, borowina, odchody słonia, oraz tworzywa biodegradowalne polilaktyd (PLA) i papier)”. Według mnie powinna zostać zawarta informacja dotycząca na co miały wpływ trzy wymienione parametry.

- We Wprowadzeniu napisano (str. 8): „Wraz z globalnie rosnącą produkcją odpadów i zwiększoną podażą energii, toryfikację zaczęto uważać za technologię mogącą ujednoczyć zróżnicowane właściwości odpadów (np. zmieszanych odpadów komunalnych), celem ułatwienia wykorzystania ich w celach energetycznych”. Pytanie: W jaki sposób proces toryfikacji może ujednoczyć zróżnicowanie właściwości zmieszanych odpadów komunalnych, które są zróżnicowane ze względu na wiele czynników m.in. miejsce zbiórki, rodzaj zabudowy, czy porę roku.

- W Opracowaniu stwierdzono: „Znaczący wpływ na efekt procesu toryfikacji miały właściwości badanych materiałów. Badane materiały charakteryzowały się odmiennymi właściwościami paliwowymi” (str. 31). Pytanie: Które z analizowanych substratów, zdaniem Autora mogłyby być wykorzystane do procesów termicznych, a które do biologicznych, tak aby korzyści środowiskowe, ale i ekonomiczne były możliwie największe?

- Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono w Opracowaniu (str. 34), że: „Poza osadami ściekowymi i odchodami słonia przebadane materiały wykazywały zbliżoną wartość energetyczną do biomasy odpadowej i roślin energetycznych $\sim 17500-18500 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ ”. Pytanie: Czy są to więc surowce o „niskich wartościach energetycznych”?

- Rozdział 4.1. "W rozprawie doktorskiej poddano analizie łącznie 7 materiałów o niskich wartościach energetycznych." (str. 17) – Pytanie: Proszę o wyjaśnienie przyjętej definicji materiałów o niskich wartościach energetycznych oraz przyjętych kryteriach klasyfikowania do omawianej grupy.

- W Opracowaniu występują drobne błędy językowe, czy edytorskie np.:

- „Osad ściekowy – został pobrany z oczyszczalni ścieków w Janówek (Wrocław, Polska) przetwarzającej 140 000 m³·d⁻¹ ścieków z Wrocławia” (str. 17),
- „W podrozdziale 5.2.1 przedstawiono wyniki dotyczące wpływu temperatury...” (str. 51),
- wstawiona spacja w opisie Rysunku 3 „300 °C” (str. 19), które to uchybienia nie miały jednak wpływu na wysoką wartość merytoryczną pracy.

Wniosek końcowy

W recenzowanej pracy doktorskiej poruszony został temat waloryzacji odpadów i biomasy o niskich wartościach energetycznych w procesie toryfikacji. W tym kontekście podkreślić należy dużą aktualność wyboru tematu, co jest związane z dynamicznie rozwijającym się sektorem gospodarki odpadami. Należy więc stwierdzić, że wyniki uzyskane w ramach realizacji pracy mogą zostać zastosowane w praktyce.

Problem badawczy pracy dotyczył zbadania zasadności stosowania toryfikacji jako metody waloryzacji wybranych materiałów o niskich wartościach energetycznych. W celu rozwiązania problemu przeprowadzono badania, które pozwoliły określić wpływ wybranych parametrów toryfikacji (temperatury, czasu trwania procesu, ciśnienia) na zmianę właściwości paliwowych waloryzowanych materiałów oraz ilość energii zużytej na proces.

Rozprawę doktorską stanowi zbiór sześciu powiązanych ze sobą tematycznie artykułów naukowych, które uzyskując pozytywne recenzje w czasopismach *Energies* oraz *Materials* (Wydawnictwa Multidisciplinary Digital Publishing Institute) zostały opublikowane w latach 2019-2021 roku. Dlatego raz jeszcze pragnę podkreślić, że wszystkie z wykazanych artykułów ukazały się w czasopismach o przypisanej wartości 140 pkt., mieszczących się w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest *oryginalne rozwiązanie problemu naukowego*, a poziom i wyniki z przeprowadzonych badań wskazują, że mgr inż. Kacper Świechowski posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia badań i pracy naukowej. Mając na uwadze podjętą przez Doktoranta aktualną tematykę badawczą z elementami praktyki, prawidłowość

zastosowanych metod i opracowanie oraz przedstawienie wyników i wniosków, niezależnie od przedstawionych w Recenzji uwag, **pracę doktorską oceniam pozytywnie.**

Rozprawa doktorska spełnia wymagania formalne zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2022 poz. 574) wnioskuję więc o dopuszczenie jej do kolejnych czynności w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Mając na uwadze wysoki poziom przeprowadzonych badań, potwierdzony opublikowaniem uzyskanych wyników w artykułach naukowych w prestiżowych czasopismach o wysokim wskaźniku IF, stanowiących rozprawę doktorską wnoszę o **wyróżnienie pracy.**

Wojciech Orkociński