

Prof. UPP dr hab. inż. Wojciech Czekala

Poznań, 23 czerwca 2023 r.

Katedra Inżynierii Biosystemów

Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgra Przemysława Liczbińskiego pt. „Opracowanie nowej metody przetwarzania odpadów zielonych wraz z odpadami kuchennymi na biogaz”,
wykonanej na Politechnice Łódzkiej**

Ocena formalna pracy

Dnia 25 kwietnia 2023 r. na posiedzeniu Rady ds. Stopni Naukowych Politechniki Łódzkiej w dyscyplinie nauki chemiczne, inżynieria chemiczna, technologia żywności i żywienia zostałem powołany na recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora Panu mgr. Przemysławowi Liczbińskiemu.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Sebastian Borowski, prof. uczelni.

Recenzje opracowałem na podstawie materiałów przesłanych przez Dziekana Wydziału Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej prof. dr hab. inż. Grzegorza Wielgosińskiego.

Rozprawę doktorską stanowi zbiór pięciu powiązanych ze sobą tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w latach 2020-2022. Liczba Autorów w poszczególnych artykułach mieści się w przedziale od dwóch do trzech. We wszystkich pięciu publikacjach Pan mgr Przemysław Liczbiński jest pierwszym autorem. Artykuły wchodzące w skład rozprawy doktorskiej zostały opublikowane w czasopiśmie *Bioresource Technology* (Elsevier) oraz *Energies* i *Molecules* (Multidisciplinary Digital Publishing Institute).

Wykaz publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej

Publikacja 1

Liczbiński, P., Borowski, S. (2020). Hyperthermophilic treatment of grass and leaves to produce hydrogen, methane and VFA-rich digestate: Preliminary results. *Energies*, 13(11), 2814. <https://doi.org/10.3390/en13112814>

Liczba punktów MNiSW: 140 IF 2020: 3,004

Publikacja 2

Liczbiński, P., Borowski, S. (2021). Effect of hyperthermophilic pretreatment on methane and hydrogen production from garden waste under mesophilic and thermophilic conditions. *Bioresource Technology*, 335, 125264. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125264>

Liczba punktów MNiSW: 140 IF 2021: 11,889

Publikacja 3

Liczbiński, P., Borowski, S. (2021). Co-Digestion of Kitchen Waste with Grass and Leaves after Hyperthermophilic Pretreatment for Methane and Hydrogen Production. *Energies*, 14(18), 5880. <https://doi.org/10.3390/en14185880>

Liczba punktów MNiSW: 140 IF 2021: 3,252

Publikacja 4

Liczbiński, P., Borowski, S., Nowak, A. (2022). Isolation and Use of Coprothermobacter spp. to Improve Anaerobic Thermophilic Digestion of Grass. *Molecules*, 27(14), 4338. <https://doi.org/10.3390/molecules27144338>

Liczba punktów MNiSW: 140 IF 2021: 4,927

Publikacja 5

Liczbiński, P., Borowski, S., Cieciera-Włoch, W. (2022). Anaerobic co-digestion of kitchen waste with hyperthermophilically pretreated grass for biohydrogen and biomethane production. *Bioresource Technology*, 364, 128053. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128053>

Liczba punktów MNiSW: 140 IF 2020: 11,889

Rozprawa doktorska składa się z pięciu spójnych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych posiadających współczynnik wpływu Impact Factor oraz przygotowanego *Opracowania*. Łączna liczba stron dla pięciu artykułów to 50, średnio 10 stron na artykuł. Łączna liczba zacytowanych w nich pozycji literaturowych i innych źródeł to 180. W mojej ocenie literatura w każdej z pięciu prac została odpowiednio dobrana do tematyki realizowanej i zaprezentowanej w pracy doktorskiej.

Na podkreślenie zasługuje liczba artykułów stanowiących rozprawę doktorską i liczba punktów – 140 dla każdego z wykazanych artykułów. Udział procentowy mgr Przemysława Liczbińskiego jest równomierny i wynosi 70% dla każdej publikacji. Wartość tę uznaję jako wysoką.

Suma punktów według listy czasopism punktowanych wynosi 700, a sumaryczny IF według roku wydania publikacji 34,961.

Biorąc pod uwagę oba przedstawione wyżej parametry uważam i chciałbym podkreślić ich bardzo wysoką wartość, jako wskaźników oceny naukowej zaprezentowanych prac.

Pragnę zauważyć, że według aktualnie obowiązującego Załącznika do Komunikatu Ministra Edukacji i Nauki w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych czasopisma *Bioresource Technology* oraz *Molecules* przypisane są do dyscypliny inżynieria chemiczna. Czasopismo *Energies* nie jest przypisane do wskazanej dyscypliny.

W moim przekonaniu wszystkie pięć wykazanych artykułów mieści się w tematyce dyscypliny inżynieria chemiczna, w której to dyscyplinie kandydat zamierza uzyskać stopień doktora. Poza wymienionymi publikacjami, w skład przekazanych do recenzji materiałów wchodzi *Opracowanie* zawarte na 104 stronach, w tym 37 stron bez uwzględnienia publikacji oraz oświadczeń współautorów poszczególnych publikacji.

Opracowanie składa się z następujących elementów:

- Streszczenie
- Abstract (streszczenie w języku angielskim)
- Wykaz publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej
- Wstęp i cel pracy
- Zakres pracy
- Wyniki badań
- Wnioski

- Literatura
- Osiągnięcia
- Publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej (55 stron)
- Oświadczenia współautorów publikacji (12 stron)

Przedstawione wyżej rozdziały zostały wykonane właściwie, a zawarta w nich treść stanowi, prawidłowo opracowany materiał tworzący spójną całość. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego poszukiwania warunków technologicznych pozwalających na poprawę efektywności fermentacji beztlenowej odpadów pochodzenia roślinnego powstających w gospodarstwach domowych.

Mając na uwadze liczbę artykułów, udział procentowy Pana mgra Przemysława Liczbińskiego 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. 2018 poz. 1668, z późn. zm.).

Ocena merytoryczna pracy

Wzrost liczby mieszkańców na Ziemi, rozwój gospodarczy wielu krajów na świecie oraz zwiększony konsumpcjonizm bezpośrednio i pośrednio wpływają na niekorzystne zmiany biosfery. Wynika to m.in. z rosnącego zapotrzebowania na energię oraz ze zwiększonej produkcji odpadów. Znaczna część energii produkowana jest z paliw kopalnych, których wydobycie i wykorzystanie powoduje zmiany dla środowiska. W związku z tym na znaczeniu przybierają inne formy produkcji energii, w tym energia odnawialna.

Ze względu na fakt, że odpady stanowią zagrożenie dla środowiska, należy je zgodnie z prawem zagospodarowywać. Zgodnie z hierarchią sposobów postępowania z odpadami, recykling odpadów i odzysk są bardziej preferowanymi metodami ich zagospodarowania niż termiczne przekształcenie czy składowanie. Jak wskazał Pan mgr Przemysław Liczbiński, jednym ze sposobów produkcji energii odnawialnej jest produkcja i wykorzystanie biogazu. Biogazownie pozwalają wykorzystać do produkcji energii odpady, co stanowi bardzo ważną zaletę.

W Rozdziale „4. Wstęp i cel pracy” Doktorant podkreślił, że udział energii produkowanej ze źródeł odnawialnych, w tym z biomasy, rośnie z każdym rokiem. Wskazano, że jednym

z alternatywnych sposobów na pozyskiwanie energii jest fermentacja beztlenowa, gdzie do produkcji energii wykorzystuje się zarówno odpady, jak i biomasę. Wskazano również, że proces fermentacji beztlenowej może być przeprowadzony w tradycyjny sposób, prowadząc do uzyskania biogazu o wysokim stężeniu metanu oraz lub jako ciemna fermentacja, której głównymi gazami procesowymi są wodór i ditlenek węgla.

Zdaniem Doktoranta, substraty wykorzystywane w procesie fermentacji metanowej powinny charakteryzować się przede wszystkim łatwą dostępnością oraz szybkim tempem regeneracji. Biorąc to pod uwagę wskazano trawę i liście jako potencjalnie atrakcyjne materiały zarówno do produkcji metanu, jak i wodoru. Podkreślono jednak rolę struktury lignocelulozowej surowej trawy i liści, dzięki czemu są one odporne na rozkład biologiczny, a w konsekwencji charakteryzują się niską wydajnością biogazu. Z tego względu szczególną rolę pełnią metody obróbki wstępnej wyżej wymienionych substratów, które zostały również analizowane w pracy. W Rozdziale omówione zostały m.in. rodzaje metod wykorzystywanych do obróbki wstępnej, parametry i etapy procesu fermentacji metanowej. Szczególną uwagę poświęcono aspektowi związanemu z temperaturą obróbki substratów, jak i samego procesu rozkładu oraz rolą poszczególnych grup mikroorganizmów. Zdaniem Doktoranta biologiczna obróbka w temperaturze 70-80°C może zwiększyć aktywność bakterii termofilnych, umożliwia również rozwój szczepów hipertermofilnych i jest szczególnie efektywna w przypadku odpadów o wysokim udziale białek i lipidów. Dodatkowo stwierdzono, że „W porównaniu z ogólnie stosowanym procesem mezofilnym, procesy fermentacji beztlenowej w warunkach termofilnych i hipertermofilnych wyróżniają się zwiększoną redukcją cząstek organicznych oraz wyższą produkcją biogazu”. Pragnę podkreślić, że jednak nie zawsze zwiększenie temperatury powoduje zwiększony rozkład oraz zwiększoną produkcję metanu w procesie fermentacji beztlenowej.

Mgr Przemysław Liczbiński słusznie podsumował, że „temperatura może znacząco wpływać na szybkości hydrolizy, a także na produkcję i profil LKT. Ponadto istnieją różnice w optymalnej temperaturze dla wzrostu różnych mikroorganizmów zaangażowanych w fermentację beztlenową. Dlatego temperatura może wpływać zarówno na jakościową i ilościową produkcję między innymi H₂, LKT i CH₄. W związku z tym temperatura może stać się kluczowym parametrem, za pośrednictwem którego możliwe będzie powstawanie oczekiwanych produktów”. Informacje te miały wpływ na opracowanie koncepcji i realizację rozprawy doktorskiej, co wnioskuje z dalszej części Opracowania.

Autor postawił **hipotezę badawczą** mówiącą, że „wstępna obróbka hipertermofilna odpadów zielonych zwiększy produkcję biogazu, gdyż umożliwi ona rozbicie struktur

lignocelulozowych liści i traw, a tym samym zwiększenie dostępności tych substratów dla bakterii i metanogenów środowiska fermentacji beztlenowej”.

Rozdział „4. Wstęp i cel pracy” zakończony został zaprezentowaniem **celu badań**, którym było „zweryfikowanie postawionej hipotezy badawczej poprzez ocenę efektywności hipertermofilnej obróbki wstępnej trawy i liści, a także jej wpływu na wydajność procesu kofermentacji tych materiałów z odpadami kuchennymi w warunkach termofilnych oraz mezofilnych. Dodatkowym celem było wyizolowanie bakterii ze środowisk termofilnych i hipertermofilnych o potencjalnych zdolnościach hydrolitycznych, które można zastosować do wspomagania procesu przetwarzania odpadów zielonych na metan i wodór”.

Analizując rozdział „4. Wstęp i cel pracy” uważam, że można było przedstawić w ujęciu całościowym zakres przeprowadzonych prac, niezależnie od jego przedstawienia w poszczególnych artykułach (5. Zakres pracy).

W rozdziale „5. Zakres pracy”, zgodnie z nazwą rozdziału, Doktorant omówił zakres wykonanych działań w ramach każdego z pięciu artykułów wchodzących w skład rozprawy doktorskiej.

Szczegółowe informacje dotyczące m.in. wykorzystanych substratów oraz zastosowanych metod badawczych zostały zawarte w poszczególnych publikacjach stanowiących rozprawę doktorską. Na szczególną uwagę i wkład Doktoranta zasługuje dobranie odpowiednich metod pozwalających na prowadzenie złożonych badań naukowych. Wartościowym elementem było również umieszczenie rycin schematycznie przedstawiających eksperymenty przeprowadzone w poszczególnych etapach badań (6. Wyniki badań).

W rozdziale „6. Wyniki badań” Pan mgr Przemysław Liczbiński omówił rezultaty badań uzyskane w ramach przeprowadzonych prac dla każdej z publikacji. Pragnę podkreślić, że w każdym z podrozdziałów opisujących kolejne publikacje, Autor odwoływał się do poprzednich artykułów pokazując jednocześnie zależności między nimi występujące.

Moim zdaniem działanie to zostało wykonane bardzo dobrze, a sama treść wyraźnie wskazuje, że publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej są ze sobą połączone tematycznie. Podkreślił to również Doktorant w Opracowaniu wskazując liczne powiązania między poszczególnymi publikacjami.

Zdaniem Recenzenta, tak szerokie ujęcie zaplanowanych i przeprowadzonych badań, których wyniki zostały opublikowane aż w pięciu artykułach o wysokiej punktacji zdecydowanie podnoszą 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. I ten aspekt podjęcia tematyki badań przez

doktoranta uważam za bardzo ważny, świadczący również o dobrym rozeznaniu zakresu prowadzonych prac badawczych w innych ośrodkach naukowych. Pragnę podkreślić również wysoki stopień innowacyjności przeprowadzonych badań, których wyniki z powodzeniem mogą być wdrożone w praktyce. Tym bardziej, że ilość selektywnie zebranych bioodpadów rośnie z każdym rokiem, a ich właściwe zagospodarowanie jest kluczowym elementem osiągnięcia wymaganych poziomów recyklingu.

Jak wspomniałem wcześniej tematyka badań prowadzona przez Doktoranta wpisuje się w zakres dyscypliny inżynieria chemiczna, a ich wyniki z pewnością pozwolą częściowo wypełnić pewne braki w wiedzy, o których wspominał i do których odnosił się mgr Przemysław Liczbiński w Opracowaniu stanowiącym element rozprawy doktorskiej. Pragnę przy tym zwrócić uwagę, że wyniki opublikowane w pięciu artykułach naukowych mogą zostać wykorzystane w praktyce, jak i stanowić bazę pod planowanie kolejnych badań naukowych.

Łączna liczba zacytowanych w pięciu artykułach pozycji literaturowych i innych źródeł to 180 (średnio po 36 na artykuł) 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 kilku 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:

- Według mnie w Opracowaniu zabrakło ryciny obrazującej ogólną strukturę pracy wraz z umiejscowieniem pięciu publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej. Dałoby to pewną przejrzystość informacyjną dotyczącą pracy, co jednak nie stanowi formalnego wymogu ani nie obniża wartości naukowej pracy.
- W Opracowaniu na stronie 7 napisano: „Oprócz wysokiej zawartości węglowodanów, substraty atrakcyjne dla procesów fermentacji powinny charakteryzować się przede wszystkim łatwą dostępnością oraz szybkim tempem regeneracji”. Czy w przypadku biomasy, w tym odpadów można mówić o regeneracji?
- Wykorzystane w badaniach bioodpady pochodziły z sektora komunalnego. Pytanie: Czy Pana zdaniem oddzielna zbiórka odpadów zielonych oraz odpadów kuchennych powinna być

obowiązkowa w Polsce? Jaki wpływ na możliwość wykorzystania wyników z badań zrealizowanych w ramach rozprawy doktorskiej może mieć system zbiórki bioodpadów.

- Pytanie: Które z zanieczyszczeń występujących w selektywnie zbieranych bioodpadach będą najtrudniejsze do usunięcia oraz jak te zanieczyszczenia mogą wpłynąć na przebieg procesu fermentacji?

- Pytanie: Jakie największe bariery może Pan wskazać, jako te kluczowe i problematyczne, aby zastosować omawianą technologię na szeroką skalę?

- W Opracowaniu nie wspomniano zbyt dużo o pofermencie, będącym drugim równie istotnym produktem procesu fermentacji. Pytanie: Jaki sposób Pana zdaniem będzie najbardziej optymalny w kontekście jego zagospodarowania, mając na uwadze zarówno właściwości pofermentu, jak i aspekty prawne, środowiskowe oraz ekonomiczne.

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

- błędna numeracja podrozdziałów w rozdziale 6 (str. 2),
- różnice w stosowaniu spacji między liczbami i jednostkami np. „Zawartość azotu stanowiła odpowiednio 2,63 % s.m. dla **trawa** oraz 2,91% s.m. dla liści” (str. 16),
- kilkukrotnie zastosowano kropkę zamiast przecinka podając wartości liczbowe np. „0.24%”, „20.07%”, czy „6.4%” (str. 16),
- zastosowanie skrótu bez jego wyjaśnienia np. ChZT i LKT (str. 17),
- nieprawidłowy zapis jednostek np. „g/l”, zamiast „g·dm³” (str. 18),

które to uchybienia nie miały jednak wpływu na wysoką wartość merytoryczną pracy.

Wniosek końcowy

W recenzowanej pracy doktorskiej poruszony został temat przetwarzania odpadów zielonych oraz odpadów kuchennych na biogaz, w procesie fermentacji. Podkreślić należy dużą aktualność wyboru tematu, co jest związane z dynamicznie rozwijającym się sektorem gospodarki odpadami. Zwłaszcza w kontekście selektywnie zebranych bioodpadów, których ilość znacząco rośnie w ostatnich latach. Należy więc stwierdzić, że wyniki uzyskane w ramach realizacji pracy mają charakter użyteczny, czyli mogą zostać zastosowane w praktyce. Zwłaszcza, że rola bioodpadów może być kluczowa w kontekście uzyskania wymaganych poziomów recyklingu.

Recenzowana rozprawa doktorska ma formę zwartego opracowania, do którego zostały włączone publikacje wchodzące w jej skład wraz z oświadczeniami wszystkich autorów dotyczących ich wkładu w powstanie artykułów. Zbiór publikacji włączonych do rozprawy doktorskiej uważam za spójny tematycznie. Pragnę podkreślić, że przedstawiona rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Problem naukowy dotyczył poszukiwania warunków technologicznych pozwalających na poprawę efektywności fermentacji beztlenowej odpadów pochodzenia roślinnego powstających w gospodarstwach domowych. W celu rozwiązania problemu przeprowadzono szereg badań, których wyniki pozwoliły określić wpływ wybranych metod obróbki i parametrów procesu fermentacji na zmianę właściwości biomasy i produkcji biogazu. Jak podkreślił w jednym z wniosków Doktorant, badania umożliwiły wyizolowanie bakterii zdolnej do hydrolizy odpadów zielonych oraz poprawy wydajności procesu fermentacji i zwiększenia uzysku biogazu.

Rozprawę doktorską stanowi zbiór pięciu powiązanych ze sobą tematycznie artykułów naukowych, które uzyskując pozytywne recenzje w czasopismach *Bioresource Technology* (Elsevier) oraz *Energies* i *Molecules* (Multidisciplinary Digital Publishing Institute) zostały opublikowane w latach 2020-2022. Pragnę raz jeszcze podkreślić, że wszystkie z wykazanych artykułów ukazały się w czasopismach o przypisanej wartości 140 pkt., a Doktorant jest pierwszym autorem z 70% udziałem w każdym z artykułów.

Przedmiotem rozprawy doktorskiej **jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**, a poziom i wyniki z przeprowadzonych badań wskazują, że mgr Przemysław Liczbiński posiada umiejętność 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. 2018 poz. 1668, z późn. zm.) **wnioskuję więc o dopuszczenie** jej do kolejnych czynności w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora w dyscyplinie inżynieria chemiczna.

Mając na uwadze wysoki poziom przeprowadzonych badań, potwierdzony opublikowaniem uzyskanych wyników w artykułach naukowych w prestiżowych czasopismach o wysokim wskaźniku IF, stanowiących rozprawę doktorską oraz po zapoznaniu się z dokumentem Zasady wyróżniania prac doktorskich z dyscypliny inżynieria chemiczna wnoszę o **wyróżnienie pracy**.

Wojciech Czekała