

dr hab. inż. Monika Żubrowska-Sudoł, prof. uczelni  
Politechnika Warszawska  
Wydział Instalacji Budowlanych Hydrotechniki  
i Inżynierii Środowiska

Warszawa, 21.02.2023

### RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Weroniki Ciecziury-Włoch  
pt. „**Wytwarzanie wodoru w procesie ciemnej fermentacji  
z wykorzystaniem odpadowej biomasy roślinnej**”

Promotor: dr hab. inż. Sebastian Borowski, prof. uczelni

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Weroniki Ciecziury-Włoch wykonana została pod promotorską opieką dr hab. inż. Sebastiana Borowskiego, prof. uczelni na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności Politechniki Łódzkiej.

Dysertacja znajduje się w obszarze prac i badań naukowych nad biologicznymi metodami wytwarzania wodoru. Jej celem było określenie efektywności biologicznego wytwarzania wodoru z odpadowej biomasy roślinnej, a także intensyfikacja procesu ciemnej fermentacji poprzez zastosowanie związków suplementujących zawierających azot, fosfor oraz żelazo.

Temat rozprawy spełnia kryterium obiektywnej ważności, jako mający znaczenie dla rozwoju technologii wytwarzania bioenergii z biomasy odpadowej, jak i w szerszym zakresie całej biotechnologii. Stanowi również istotny element w rozwoju niskoemisyjnej, cyrkularnej biogospodarki bazującej na zasobach wtórnych. Temat spełnia także kryterium aktualności określone zainteresowaniem specjalistów z uwagi na ciągłe poszukiwanie i doskonalenie metod wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych oraz ze względu na poszukiwanie metod, które pozwolą na uniezależnienie krajowych gospodarek od paliw kopalnych.

Rozprawa doktorska mgr inż. Weroniki Ciecziury-Włoch została przygotowana w formie spójnego tematycznie zbioru 6. oryginalnych prac. Pięć prac zostało opublikowanych w latach 2019-2021 w następujących periodykach wymienionych w wykazie czasopism naukowych Ministra Edukacji i Nauki: *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*

(Publikacja 1 (P1), 2019 r., 40 pkt., IF=2,733), *Energies* (Publikacja 2 (P2), 2019 r., 140 pkt., IF=2,702), *Renewable Energy* (Publikacja 3 (P3), 2020 r., 140 pkt., IF=8,001), *Bioresource Technology* (Publikacja 4 (P4), 2020 r., 140 pkt., IF=9,642 oraz Publikacja 5 (P5), 2021 r., 140 pkt., IF=11,889). Jeden z artykułów naukowych został wysłany do czasopisma *Journal of Environmental Chemical Engineering* (Publikacja 6 (P6)). Zgodnie z oświadczeniami Doktorantki, potwierdzonymi przez współautorów poszczególnych prac, jej wkład naukowy w powstanie ostatecznej wersji publikacji P1, P4, P5 i P6 wynosił 70% przy całkowitej ilości autorów od 2. (P1) do 3 (P4-P6). W przypadku prac P2 i P3 był on równy odpowiednio 55% (ilość autorów: 7) i 65% (ilość autorów: 3). Każdorazowo obejmował: opracowanie koncepcji pracy, zaplanowanie i przeprowadzenie eksperymentów, wykonanie analizy statystycznej, interpretację i dyskusję uzyskanych wyników, napisanie manuskryptu, pełnienie obowiązków autora korespondencyjnego. Ponieważ praca P6 nie została opublikowana, nie posiadała ona również statusu przyjętej do druku, w świetle obowiązujących przepisów prawa nie powinna stanowić części składowej rozprawy doktorskiej. Zgodnie bowiem z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce „rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym (...), zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych”. W dalszej części mojej recenzji nie będę brała pod uwagę przedmiotowej pracy. Pragnę przy tym zaznaczyć, że zbiór opublikowanych artykułów naukowych, tj. publikacje P1 – P5, w pełni dokumentuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktorantkę, stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jaki w tym przypadku stanowiło wytwarzanie wodoru z odpadowej biomasy roślinnej na drodze mikrobiologicznej. Przedstawione fakty pozwalają zatem na stwierdzenie, że materiał przedstawiony w opublikowanych artykułach naukowych w pełni odpowiada kryteriom stawianym pracom doktorskim.

W szczególny sposób doceniam dwie prace opublikowane w czasopiśmie *Bioresource Technology*. Biorąc pod uwagę renomę tego czasopisma uważam, że to osiągnięcie należy uznać za wybitne. Jednocześnie pragnę podkreślić, że również pozostałe artykuły opublikowano w cenionych międzynarodowych periodykach. Sumaryczny IF oraz liczba punktów zgodna z wykazem czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych MEN zbioru prac stanowiącego dysertację wynoszą odpowiednio 34,967 oraz 690.

Rozprawa doktorska liczy 141 stron oraz dodatkowo zawiera oświadczenia współautorów publikacji dotyczące ich udziału w powstaniu poszczególnych prac. Dysertacja

rozpoczyna się streszczeniem w języku polskim oraz angielskim, życiorysem naukowym Doktorantki oraz wykazem publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej. Kolejne 32. strony stanowi przewodnik do artykułów naukowych stanowiących podstawę dysertacji. Pierwszy rozdział tegoż przewodnika Autorka zatytułowała „Wstęp i cel pracy”. Przedstawiła w nim znaczenie wodoru jako paliwa proekologicznego stanowiącego alternatywę dla paliw kopalnych, omawiając jednocześnie ograniczenia związane z jego wykorzystaniem. Zaprezentowała również metody otrzymywania wodoru, rozwijając temat związany z wytwarzaniem wodoru na drodze biologicznej. Szczególną uwagę poświęciła procesowi ciemnej fermentacji. Omówiła zasadę tego procesu oraz czynniki wpływające na jego efektywność takie jak rodzaj surowca stanowiącego substrat do produkcji wodoru, rodzaj inokulum, sposoby wstępnej obróbki substratów oraz możliwości suplementacji. W ten sposób skomponowany wstęp uzasadnia podjęte przez Doktorantkę wyzwania badawcze polegające na określeniu warunków umożliwiających poprawę efektywności i stabilności procesu ciemnej fermentacji, w której jako substraty zastosowano różne rodzaje biomasy wtórnej. Kolejny rozdział w sposób syntetyczny prezentuje zakres przeprowadzonych prac. Cytując Doktorantkę obejmował on:

1. analizę fizykochemiczną biomasy oraz dobór substratów dopasowanych do procesu ciemnej fermentacji, dostosowanie metod obróbki wstępnej inokulum oraz ustalenie optymalnych warunków przebiegu fermentacji dla testów okresowych;
2. ocenę efektywności obróbki wstępnej biomasy lignocelulozowej oraz określenie potencjału produkcji wodoru na przykładzie wyśódków buraczanych w celu zwiększenia wydajności procesu;
3. optymalizację procesu oraz ocenę przebiegu ciemnej fermentacji dla wybranych substratów roślinnych w eksperymentach półciągłych;
4. określenie wpływu suplementacji związkami azotu i fosforu na wydajność i stabilność procesu półciągłej ciemnej fermentacji w warunkach mezofilnych;
5. określenie wpływu suplementacji związkami żelaza na wydajność i stabilność procesu półciągłej ciemnej fermentacji w warunkach mezofilnych;
6. optymalizację i określenie wpływu suplementacji związkami żelaza na wydajność i stabilność procesu półciągłej ciemnej fermentacji w warunkach termofilnych (w tym miejscu pragnę zaznaczyć, że przedmiotowe zagadnienie zostało omówione w publikacji nr 6, którą ze względu na fakt, że nie posiadała

choćby statusu pracy przyjętej do druku, nie będę brała pod uwagę przy ocenie rozprawy doktorskiej).

Następnie Doktorantka omówiła wyniki uzyskane w kolejnych etapach badawczych kierując przy tym czytelnika do stosownych artykułów naukowych. Każdemu z etapów badawczych poświęciła oddzielny rozdział dysertacji (rozdziały 8 – 12). Przewodnik do artykułów zamykają wnioski, prezentujące zasadnicze osiągnięcia badań przedstawionych w rozprawie oraz spis literatury wykorzystanej przy pisaniu tej części rozprawy doktorskiej (spis obejmuje 11 pozycji). Następnie Autorka przedstawiła swoje osiągnięcia, a w szczególności: odbyte staże i praktyki, dorobek publikacyjny, prelekcje oraz postery zaprezentowane na konferencjach naukowych, uzyskane nagrody i stypendia, dorobek w zakresie patentów, odbyte szkolenia oraz osiągnięcia w obszarze działalności organizacyjnej. Kolejny rozdział (rozdział 16) to artykuły naukowe stanowiące rozprawę doktorską. Po tej części zamieszczono oświadczenia Doktorantki i pozostałych współautorów o ich udziale w powstaniu poszczególnych publikacji.

Szczegółowy zakres prac zaprezentowanych w publikacjach przedstawia się następująco:

1. „Biohydrogen production from wastes of plant and animal origin via dark fermentation”, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 2019, 27 (2), 101-113;

W niniejszej pracy porównano szeroką gamę odpadów organicznych pochodzenia rolno-spożywczego pod kątem wykorzystania ich jako substratów w procesie ciemnej fermentacji. Wydajność produkcji wodoru w testach porcjowych określono dla: wysłodków buraczanych (świeżych; poddanych hydrolizie enzymatycznej; poddanych hydrolizie termicznej), liści wysłodków buraczanych, odpadów owocowo-warzywnych, kiszonki kukurydzy, wywaru buraczanego, wywaru żytniego, odpadów kuchennych oraz odpadów pochodzenia zwierzęcego takich jak odpady jelitowe, tkanka i osad poflotacyjny; uwzględniając przy tym różne metody obróbki wstępnej tychże substratów oraz inokulum, a mianowicie: i) korektę pH do wartości 5,5 przy użyciu 20 % roztworu kwasu siarkowego (VI), ii) obróbkę termiczną w temperaturze 80°C przez 1,5 h, iii) połączenie korekty pH i obróbki termicznej. Wysoką wydajność produkcji wodoru uzyskano dla odpadów owocowo-warzywnych, wysłodków buraczanych oraz kiszonki kukurydzy, przy czym najwyższą wartość analizowanego wskaźnika odnotowano dla odpadów owocowo-warzywnych poddanych uprzednio hydrolizie kwaśnej w podwyższonej temperaturze (280 dm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>/kg s.m.o.). Ponadto wykazano, że substraty pochodzenia roślinnego były bardziej

podatne na proces ciemnej fermentacji w porównaniu do substratów pochodzenia zwierzęcego. Istotnym osiągnięciem przeprowadzonych badań było również stwierdzenie, że substraty roślinne bogate w polisacharydy wymagają obróbki wstępnej przed poddaniem ich procesowi ciemnej fermentacji. Brak tego etapu skutkuje bowiem znaczącym ograniczeniem wydajności produkcji wodoru z tego typu materiałów.

Badania omówione w przedmiotowej publikacji stanowiły pierwszy etap badań przeprowadzonych przez Doktorantkę, którego głównym celem była selekcja różnych substratów pod kątem ich wykorzystania do produkcji wodoru oraz metod obróbki wstępnej.

2. „The use of acidic hydrolysates after furfural production from sugar waste biomass as a fermentation medium in the biotechnological production of hydrogen”, *Energies*, 2019, 12, 3222;

Kolejna praca poświęcona jest termicznym i termochemicznym metodą wstępnej obróbki biomasy lignocelulozowej pod kątem zwiększenia efektywności procesu ciemnej fermentacji, a tym samym osiągnięcia wyższej produkcji wodoru z tego typu materiału. Do badań wykorzystano wysłodki buraczane poddane obróbce enzymatycznej, termicznej w 140°C oraz termochemicznej w 140°C i przy zastosowaniu 2% i 5 % kwasu siarkowego (VI). Skuteczność analizowanych sposobów wstępnej obróbki oceniono na podstawie zmian wartości stężeń poszczególnych cukrów, wydajności produkcji furfuralu oraz wydajności produkcji wodoru i metanu. Za istotne osiągnięcie pracy uważam wykazanie, że znaczące zwiększenie wydajności produkcji wodoru z wysłodków buraczanych można uzyskać stosując obróbkę termochemiczną prowadzoną w 140°C (gdzie najczęściej prowadzi się ją w temperaturach wyższych od 160°C), przy czym jednym z kluczowych czynników jest stężenie wykorzystanego kwasu (w przeprowadzonych badaniach najwyższą wydajność produkcji wodoru wynoszącą 220 dm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>/kg s.m.o. uzyskano dla hydrolizatu po termochemicznej obróbce 2 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; wartość tego wskaźnika dla obróbki termochemicznej prowadzonej 5 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> wynosiła jedynie 67 dm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>/kg s.m.o.).

3. „Biohydrogen production from fruit and vegetable waste, sugar beet pulp and corn silage via dark fermentation”, *Renewable Energy*, 2020, 153, 1226-1237;

W publikacji nr 3 w odróżnieniu do wcześniejszych artykułów naukowych przedstawiono wyniki eksperymentów półciągłych. Miały one na celu ocenę przebiegu i efektywności ciemnej fermentacji dla następujących substratów roślinnych: wysłodków buraczanych, odpadów owocowo-warzywnych, kiszonki kukurydzy. Wymienione powyżej materiały

wybrano na podstawie wyników wcześniejszych badań (omówionych w publikacji nr 1). Podczas eksperymentu zmieniano obciążenie substratowe reaktorów (wyrażone w g s.m.o/m<sup>3</sup>·d) oraz czas zatrzymania. Przeprowadzone badania oprócz szerokiego zakresu analiz fizyko-chemicznych obejmowały również analizę metagenomiczną biomasy. Pragnę w tym miejscu szczególnie docenić wybór wykorzystanych metod badawczych oraz dojrzałą dyskusję otrzymanych wyników, która ściśle łączy wątki technologiczne z wątkami mikrobiologicznymi. Dodatkowo chciałabym zaznaczyć niezmiernie dużą pracowitość jakiej wymaga przeprowadzenie eksperymentów półciągłych. Przedstawione przeze mnie walory badań opisanych w publikacji nr 3 odnoszą się również do prac zaprezentowanych w publikacjach nr 4 i 5. Wracając do omawianego artykułu naukowego, wyniki w nim zaprezentowane dały podstawę do stwierdzenia, że spośród badanych substratów największy potencjał pod kątem wytwarzania wodoru posiadają wysłodki buraczane po wstępnej obróbce enzymatycznej oraz odpady owocowo-warzywne. Aczkolwiek proces ciemnej fermentacji był stosunkowo niestabilny ze względu na wysoką aktywność bakterii mlekowych oraz obecność metanogenów. Niska wydajność produkcji wodoru w przypadku trzeciego z badanych substratów, a mianowicie kiszonki kukurydzy, wynikała między innymi z niskiej zawartości cukrów. Z poznawczego punktu widzenia wartym podkreślenia jest również wykazanie obecności metanogenów w reaktorach fermentacyjnych pomimo niskiej wartości pH. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że zostało to również dowiedzione w kolejnych eksperymentach przeprowadzonych przez Doktorantkę, które opisano w publikacjach nr 4 i 5. Ta obserwacja rzuca „nowe światło” na zdolności adaptacyjne archeonów metanogenicznych do niekorzystnych warunków środowiska, a tym samym na możliwości przebiegu procesu fermentacji metanowej.

4. „Dark fermentative hydrogen production from hydrolyzed sugar beet pulp improved by iron addition”, *Bioresource Technology*, 2020, 314, 123713;

W publikacji nr 4 podjęto nowatorskie badania mające na celu określenie wpływu dodatku związków żelaza (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeSO<sub>4</sub>, FeCl<sub>3</sub>) na wydajność produkcji wodoru w procesie ciemnej fermentacji zhydrolizowanych wysłodków buraczanych. Zakres przeprowadzonych badań obejmował testy porcjowe oraz półciągłe, które pozwoliły na ocenę wydajności produkcji wodoru oraz przebiegu procesu ciemnej fermentacji w próbach bez i z suplementacją związkami żelaza, a także analizę metagenomiczną produktów pofermentacyjnych, dzięki której poznano skład zbiorowisk mikroorganizmów.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie tlenku żelaza (III) pozwala na znaczące zwiększenie wydajności produkcji wodoru ze hydrolizowanych wysłodków buraczanych. Dodatek tego związku wpływał również stabilizująco na przebieg procesu ciemnej fermentacji m.in. poprzez hamowanie rozwoju bakterii wytwarzających kwas mlekowy. Interesujący wniosek jaki udało się również sformułować dotyczył analizowanych soli żelaza. W tym przypadku nie uzyskano tak znaczącej stymulacji produkcji wodoru, a przy wyższych dawkach notowano wyraźną inhibicję procesu ciemnej fermentacji.

5. „Dark fermentative hydrogen production from hydrolyzed sugar beet pulp improved by nitrogen and phosphorus supplementation”, *Bioresource Technology*, 2021, 340, 125622;

Publikacja nr 5 to logiczne rozwinięcie badań omówionych w publikacji nr 3. Jej celem było określenie wpływu dodatku soli zawierających azot i fosfor na przebieg procesu ciemnej fermentacji oraz wydajność produkcji wodoru. Jak już wspomniano, podjęcie tego wątku badawczego związane było z wynikami uzyskanymi we wcześniejszych badaniach. Dały one bowiem podstawę do sformułowania hipotezy, że jednym z czynników, który mógł wpływać na niestabilność przebiegu ciemnej fermentacji była niska zawartość azotu i fosforu w zhydrolizowanych wysłodkach buraczanych. Podobnie jak w przypadku publikacji nr 4 zakres przeprowadzonych badań obejmował testy porcjowe i półciągłe, oraz analizę metagenomiczną biomasy. Jako źródło N i P wykorzystano następujące związki:  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  i  $\text{K}_3\text{PO}_4$ . Za istotne osiągnięcie pracy uważam potwierdzenie hipotezy, która wynikała ze wcześniej przeprowadzonych badań oraz wykazanie, że spośród badanych soli najkorzystniejszy wpływ na efektywność procesu ciemnej fermentacji miał fosforan potasu.

Rozprawę doktorską cechuje czytelny sposób prezentowania wyników i wyciąganych na ich podstawie wniosków. Jej wnikliwa lektura dała podstawę do sformułowania kilku pytań i uwag o polemicznym charakterze. Nie mają one jednak wpływu na moją końcową ocenę wartości merytorycznej dysertacji:

1. Jak już zaznaczyłam, uważam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Weroniki Ciecior-Włoch zawiera nowatorskie elementy oraz posiada bardzo wysoki poziom merytoryczny. Aczkolwiek w dysertacji zabrakło mi sformułowania dalszych kierunków badawczych.

2. W pracy zawarto następujące stwierdzenie: „Uzyskane wyniki badań mogą być wykorzystane przy wdrażaniu procesu ciemnej fermentacji na skalę przemysłową” (str. 13). Proszę o rozwinięcie tego stwierdzenia. Które z uzyskanych przez Panią wyników mają największe znaczenie z utylitarne punktu widzenia? Czy widzi Pani ograniczenia technologiczne dla wdrożenia procesu ciemnej fermentacji (jeśli tak, to jakie)? W jaki sposób proponuje Pani przeprowadzić komercjalizację uzyskanych wyników?
3. W pracy występuje pewna niespójność co do numeracji publikacji. Dotyczy to publikacji nr 4 i 5. W rozdziale 10 (str. 26- 30) jako publikację nr 4 przedstawiono pracę dotyczącą określenia wpływu suplementacji związkami azotu i fosforu na wydajność i stabilność procesu półciąglej ciemnej fermentacji w warunkach mezofilowych, podczas gdy w rozdziale 16 publikacja nr 4 podejmuje temat związany z suplementacją związkami żelaza, a publikacja nr 5 odnosi się do tematu sformułowanego w rozdziale 10 (również w wykazie publikacji (str. 7) przyjęto taką numerację).
4. W badaniach zaprezentowanych w publikacji nr 4 stwierdzono, że dodatek chlorku żelaza (III) nie wpływał na zwiększenie wydajności produkcji wodoru, co przypisano inhibitującemu działaniu chlorków na aktywność fermentacyjną mikroorganizmów. Jaki był powód wyboru chlorku amonowego do badań nad wpływem suplementacji związkami azotu? (Pytanie zostało sformułowane przy założeniu, że badania opisane w publikacji nr 4 przeprowadzono przed eksperymentami opisanymi w publikacji nr 5. Jeśli kolejność prowadzenia badań była inna, proszę o odpowiedź na pytanie dlaczego w badaniach nad suplementacją związkami żelaza wybrano chlorek żelaza).
5. Odnosząc się do kompozycji rozprawy doktorskiej pragnę zwrócić uwagę, że w tzw. przewodniku do artykułów naukowych warto zawrzeć rozdział, w którym w syntetyczny sposób opisana zostanie metodyka badawcza.
6. Str. 7: popełniono pomyłkę w tytule publikacji nr 3.
7. Str. 10: przypuszczam, że Autorce chodziło o źródło cukrów prostych. W dysertacji czytamy: „...źródłami cukrów są skrobia oraz celuloza...”.
8. Na stronie 20 Doktorantka podkreśliła, że „różnica w ilości wytwarzanego wodoru po hydrolizie enzymatycznej mogła wynikać z wykorzystania wysłodków zebranych w dwóch różnych kampaniach”. Słusznie również zaznaczyła również, że „te dwie zmienne pokazują, że przy każdym eksperymencie należy wykonywać nowe testy odniesienia, aby uzyskane wyniki były miarodajne”. Wydaje się, że w tym kontekście warto również rozważyć jako kolejną zmienną rodzaj inokulum. Jaka jest Pani opinia



na temat wpływu tego czynnika na uzyskiwane wyniki. Czy uważa Pani, że dyskusja wyników w której wykorzystuje się wartości względne (rozumiem przez to procentowy wzrost lub spadek wydajności produkcji wodoru w stosunku do próby kontrolnej) umożliwia wyeliminowanie wpływu takich czynników jak pochodzenie substratów czy pochodzenie inokulum?

9. W rozdziale 12 popełniono błąd we wzorze tlenku żelaza (III), analogiczny błąd występuje w publikacji nr 6.
10. Przy powołaniu „Ren et al.” brakuje roku (str. 36).
11. Str. 36: Z czego wynika odniesienie się do badań prowadzonych w temperaturze 37°C (badania w warunkach mezofilowych prowadzono w temperaturze 35°C)?
12. Jak już wielokrotnie wskazałam doceniam pracowitość przeprowadzonych badań i nie mam wątpliwości, że ich wykonanie wymagało od Doktorantki bardzo dużego zaangażowania. Jednakże w przedłożonej do oceny dysertacji można się doszukać pewnych uchybień edytorskich np. str. 7: „fromsuger” – brak spacji; str. 8: „....alternatywę. Pierwiastek...” – błąd interpunkcyjny; str. 12: „opadów organicznych”; str. 13: przedstawione równanie reakcji chemicznej powinno być ponumerowane; str. 14: ostatnie zdanie rozdziału 5 nie posiada kropki; str. 15, czwarty wiersz rozdziału 7: brak przecinka; str. 26: „...na proces produkcji wodoru przez (?) i przebieg ciemnej fermentacji”; str. 27, przedostatni wiersz: brak przecinka; str. 31: „Najwyższą wydajność wytwarzania wodoru (...), została odnotowana.... I była ona ...” – błąd gramatyczny; str. 35: „...ilość dodanego była związku...”; str. 36: „... natomiast stężeni kwasu...”.

Pragnę również zwrócić uwagę na następujące sformułowanie: „wydajność wodoru”; wydaje się, że stanowi to skrót myślowy dla określenia wydajności produkcji wodoru.

Podsumowując, stwierdzam, że oceniana praca doktorska posiada wysoki poziom merytoryczny oraz wnosi nowe elementy poznawcze w obszarze wytwarzania bioenergii, a w szczególności w zakresie wytwarzania biowodoru w procesie ciemnej fermentacji. Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, dokumentuje znaczną, ogólną wiedzę Doktorantki, a także umiejętność planowania i prowadzenia przez Nią badań naukowych, opracowania i krytycznej dyskusji wyników oraz wyciągania wniosków. Tym samym oceniana rozprawa doktorska spełnia wymagania formalne dla tego typu prac zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Dlatego wnioskuję do Rady ds. Stopni Naukowych Politechniki Łódzkiej w dyscyplinach nauki chemiczne, inżynieria chemiczna, technologia żywności i żywienia o dopuszczenie Pani mgr inż. Weroniki Cieciury-Włoch do dalszego etapu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Jednocześnie doceniając bardzo wysoki poziom merytoryczny oraz zawarte w rozprawie nowe elementy poznawcze stwierdzam, że w mojej ocenie praca zasługuje na wyróżnienie.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Szwed', is written on the right side of the page. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke extending to the right.

dr hab. inż. Monika Żubrowska-Sudol, prof. uczelni  
Politechnika Warszawska  
Wydział Instalacji Budowlanych Hydrotechniki  
i Inżynierii Środowiska

Warszawa, 21.02.2023

**Wniosek o wyróżnienie**  
rozprawy doktorskiej mgr inż. Weroniki Cieciry-Włoch  
pt. „Wytwarzanie wodoru w procesie ciemnej fermentacji  
z wykorzystaniem odpadowej biomasy roślinnej”

Biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny rozprawy doktorskiej mgr inż. Weroniki Cieciry-Włoch pt. „Wytwarzanie wodoru w procesie ciemnej fermentacji z wykorzystaniem odpadowej biomasy roślinnej” oraz zawarte w rozprawie nowe elementy poznawcze w obszarze wytwarzania bioenergii, a w szczególności w zakresie wytwarzania biowodoru w procesie ciemnej fermentacji wnioskuję o wyróżnienie przedmiotowej dysertacji.

Wniosek o wyróżnienie uzasadniam w szczególności następującymi walorami ocenianej rozprawy doktorskiej:

- ✓ porównaniem wydajności produkcji wodoru w procesie ciemnej fermentacji dla szerokiej gamy materiałów pochodzenia roślinnego oraz zwierzęcego i wykazaniem, że substraty pochodzenia roślinnego są bardziej podatne na proces ciemnej fermentacji;
- ✓ przeprowadzeniem kompleksowych badań nad przebiegiem ciemnej fermentacji wysłodków buraczanych, odpadów owocowo-warzywnych, kiszonki kukurydzy, które pozwoliły na poznanie uwarunkowań technologicznych analizowanego procesu;
- ✓ określeniem wpływu różnych metod wstępnej obróbki substratów na wydajność produkcji wodoru oraz stabilność procesu ciemnej fermentacji;
- ✓ przeprowadzeniem nowatorskich badań nad wpływem suplementacji związkami żelaza, azotu i fosforu na wydajność i stabilność procesu ciemnej fermentacji;
- ✓ wyróżniającym się doborem metod badawczych oraz umiejętnością wykorzystania uzyskanych wyników do wyjaśnienia obserwowanych zjawisk.

Szczegółowe omówienie walorów przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawarłam w recenzji.

Dodatkowo pragnę podkreślić, że o wysokim poziomie merytorycznym i o nowatorskim charakterze niniejszej dysertacji świadczy ranga periodyków naukowych, w których opublikowano uzyskane wyniki, w tym w szczególności czasopism: *Bioresource Technology* i *Renewable Energy*.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'J. S. ...', with a long horizontal flourish extending to the right.