

Dr hab. inż. Sławomir WIERZBICKI, prof. UWM
Katedra Mechatroniki
Wydział Nauk Technicznych
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Piątka
pt. „Modelowanie kinetyki procesu wytwarzania biogazu z materiałów
lignocelulozowych”

Promotor: prof. dr. hab. inż. Aleksander Lisowski
Promotor pomocniczy: dr inż. Magdalena Dąbrowska

*Recenzja wykonana na zlecenie nr IIM.5100.1.2020 Przewodniczącego Rady Dyscypliny
Inżynieria Mechaniczna Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
dr hab. Tomasz Nurka, prof. SGGW z dnia 25.04.2021.*

Ocena problematyki pracy

Ochrona środowiska naturalnego i ograniczenie emisji związków toksycznych do atmosfery to obecnie jedno z największych wyzwań ludzkości. Z wyzwaniem tym wiąże się przede wszystkim zwiększenie udziału paliw odnawialnych w ogólnym bilansie energetycznym, a co za tym idzie poszukiwanie nowych i optymalizacja już istniejących metod ich wytwarzania. Szczególną uwagę przywiązuje się do paliw drugiej generacji, które mogą być produkowane z różnego rodzaju odpadów pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, z uwagi na fakt, iż ich produkcja nie konkuruje z produkcją żywności.

Według różnych przewidywań jednym z paliw, którego znaczenie w ogólnym bilansie energetycznym będzie rosło jest biogaz, który powstaje na skutek naturalnego rozkładu substancji organicznych, jak również może być wytwarzany w sposób kontrolowany w biogazowniach. Warto zaznaczyć, iż skład biogazu nie jest stały i zależy od przebiegu fermentacji. Udział metanu, głównego składnika biogazu waha się w przedziale 35-75%. Celowe zatem jest opracowanie efektywnych metod pozyskiwania biogazu o dużym udziale metanu, jak również budowa modeli symulacyjnych opisujących zjawiska zachodzące w trakcie jego wytwarzania. Pozwala to na zwiększenie potencjału produkcyjnego biogazu jak

również na optymalizację procesu jego produkcji, co z kolei wpływa na zwiększenie efektywności jego wytwarzania, jak i obniżenie kosztów produkcji.

Jednym ze znaczących źródeł substratu do produkcji biogazu jest biomasa lignocelulozowa, która z uwagi na specyficzną strukturę powinna być wcześniej rozdrobiona. Takie przygotowanie substratów warunkuje zapewnienie właściwej kinetyki procesu wytwarzania biogazu.

W ocenianej rozprawie doktorskiej Doktorant podjął próbę opisu matematycznego procesu fermentacji anaerobowej biomasy lignocelulozowej z uwzględnieniem wstępnej obróbki mechanicznej substratów wykorzystanych do jej produkcji.

Zatem z punktu widzenia walorów naukowych i praktycznych należy uznać, iż tematyka recenzowanej pracy doktorskiej jest ważna i aktualna. **Tematyka rozprawy spełnia również oczekiwania, jakie stawia się tematом prac doktorskich realizowanym w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.**

Analiza rozprawy doktorskiej

Przedstawioną do recenzji rozprawę stanowi 38-stronicowy autoreferat w języku polskim oraz dwie publikacje będące zasadniczą częścią rozprawy doktorskiej:

1. **Piątek M.**, Lisowski A., Dąbrowska M., 2021. *Surface-related kinetic models for anaerobic digestion of microcrystalline cellulose: The role of particle size*. Materials. 14, 487.
2. **Piątek M.**, Lisowski A., Dąbrowska M., 2021. *The effects of solid lignin on the anaerobic digestion of microcrystalline cellulose and application of smoothing splines for extended data analysis of its inhibitory effects*. Bioresource Technology. 320, 124262.

W autoreferacie Doktorant zawarł najważniejsze zagadnienia związane z realizowaną tematyką. Po krótkim wprowadzeniu w tematykę pracy Autor przedstawił problem, hipotezy badawcze, a także cel prowadzonych badań.

Jako główne przesłanki do realizacji pracy po przeprowadzonej analizie literatury Autor wskazuje:

- model kinetyki pierwszego rzędu nie wystarczająco opisuje hydrolizę lignocelulozy w procesie fermentacji anaerobowej;
- brak badań dotyczących wpływu ligninu w formie stałej na fazę metagenozy.

Na podstawie tych przesłanek Doktorant stawia dwie hipotezy badawcze:

- modele uwzględniające ubytek dostępnej powierzchni celulozy lepiej opisują proces jej hydrolizy w procesie fermentacji anaerobowej;

– nierozpuszczone ligniny są inhibitorem zarówno hydrolizy, jak i metanogenezy.

W dalszej części autoreferatu Doktorant formułuje cel użyteczny pracy jako „Opracowanie wytycznych dotyczących projektowania reaktorów fermentacji anaerobowej materiałów lignocelulozowych”, oraz formułuje dwa cele naukowe.

Przedstawione w tej części pracy braki wiedzy, hipotezy jak i cele naukowe składają się z dwóch niezależnych części, które są szczegółowo realizowane w artykułach wchodzących w skład rozprawy.

Następnie w autoreferacie Doktorant bardzo syntetycznie przedstawia metodykę badań, a także dość obszernie przedstawia wyniki przeprowadzonych badań i ich analizę. W dalszej części autoreferatu zamieszczone są bardzo syntetyczne wnioski o charakterze naukowym i użytecznym. Autoreferat kończy wykaz literatury obejmujący 46 pozycji. Warto podkreślić, iż wykaz cytowanej literatury w całości stanowią pozycje anglojęzyczne w zdecydowanej większości nie starsze niż 5 lat, zatem obejmują najnowsze wyniki badań z zakresu analizowanych zagadnień.

Pierwszy z załączonych artykułów „*Surface-related kinetic models for anaerobic digestion of microcrystalline cellulose: The role of particle size*” dotyczy opracowania matematycznego modelu fermentacji anaerobowej uwzględniającego ubytek powierzchni podczas hydrolizy celulozy. Artykuł ten opublikowany zgodnie ze standardami wydawniczymi czasopisma „Materials” liczy łącznie 18 stron.

W artykule tym przedstawiono szczegółowo proces przygotowania próbek celulozy mikrokryształicznej do badań obejmujący ich separację ze względu na wielkość. W dalszej części artykułu Autorzy opisali szczegółowo metodykę analizy wyników opisując metody określania obrazu próbek, gęstości właściwej, stopnia polimeryzacji, stopnia krystalizacji, oznaczania powierzchni właściwej oraz wskaźnika retencji wody, a także przebieg procesu fermentacji.

Następnie opisano zaproponowane modele ubytku masy cząstek celulozy w procesie fermentacji zakładając dwa warianty ich kształtu: cylindryczny i sferyczny. Przy budowie tych modeli założono promieniowy ubytek masy, co ze względu na charakter zachodzących procesów w trakcie fermentacji wydaje się być uzasadnione.

W dalszej kolejności Autorzy artykułu przedstawili analizę wyników prowadzonych badań, której dokonano na podstawie analizy statystycznej. Do szczególnie istotnych wyników prezentowanych w tej pracy zaliczyłbym krzywe produkcji biogazu (Figure 2) uzyskane na podstawie modelu kinetyki I rzędu oraz zaproponowanych modeli zakładających cylindryczny i sferyczny kształt cząstek. Z przedstawionych na tym rysunku przebiegów

wyraźnie widać, iż obydwie zaproponowane modele znacznie dokładniej opisują zjawiska zachodzące w trakcie fermentacji celulozy w stosunku do stosowanych obecnie modeli I rzędu. Wyniki porównania modeli oparte są na podstawie przeprowadzonych testów statystycznych. Następnie Autorzy prezentują szereg innych analiz w formie wykresów i tabel przedstawiających wpływ poszczególnych parametrów na kinetykę procesu fermentacji.

Na podkreślenie zasługuje też fakt, iż w omawianym artykule Autorzy dokonali dość szczegółowej analizy światowej literatury. Łącznie w artykule cytowanych jest 69 pozycji literatury, jest to wyłączenie literatury anglojęzycznej, obejmująca opis najnowszych osiągnięć z tej dziedziny. Wśród cytowanej literatury są 2 pozycje, których Doktorant jest współautorem.

Drugi z artykułów wchodzących w skład rozprawy „*The effects of solid lignin on the anaerobic digestion of microcrystalline cellulose and application of smoothing splines for extended data analysis of its inhibitory effects*” dotyczy określenia potencjalnego wpływu ligniny na hydrolizę i metanogenezę celulozy w trakcie procesu fermentacji. Artykuł ten opublikowany zgodnie ze standardami czasopisma *Bioresource Technology* liczy 7 stron, do artykułu dodatkowo dołączone są 3 wykresy będące suplementem artykułu.

Celem badań przedstawionych w tym artykule było określenie wpływu dodatku ligniny w formie stałej na proces fermentacji celulozy mikrokrystalicznej. Na podstawie tych wyników opracowano krzywe produkcji biometanu, do opracowania ich wykorzystano krzywe „smoothing spline” pozwalające na odfiltrowanie szumów. W dalszej kolejności wyznaczono pochodną modelu pozwalającą na określenie godzinowej produkcji metanu. Takie podejście pozwoliło na wyznaczenie charakterystycznych punktów procesu, dzięki czemu możliwe jest sterowanie procesem fermentacji. Dodatkowo w artykule określono wpływ dodatku ligniny na czas trwania pierwszego etapu procesu, efekt dodatku ligniny na czas osiągnięcia maksymalnej inhibicji wywołanej lotnymi kwasami tłuszczowymi (LKT) oraz efekt dodatku ligniny na trwanie etapu wychodzenia z inhibicji wywołanej LKT. Również w przypadku tego artykułu wykaz cytowanej literatury jest dość obszerny, stanowi go 49 pozycji anglojęzycznych.

Ocena merytoryczna rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy modelowania procesu kinetyki wytwarzania biogazu z materiałów lignocelulozowych i zgodnie z celem użytecznym pracy ma to na celu opracowanie wytycznych do projektowania reaktorów fermentacji anaerobowej materiałów

lignocelulozowych. Zatem nie ulega wątpliwości, iż tematyka pracy mieści się w obszarze zainteresowań dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Zasadniczą część rozprawy stanowią dwa artykuły naukowe opublikowane w anglojęzycznych czasopismach. Wskaźniki IF wg bazy Web of Science tych artykułów wynoszą odpowiednio 3,057 i 7,539, według aktualnej punktacji MEiN artykuły w tych czasopismach są punktowane po 140 punktów. Co istotne, obydwa czasopisma przypisane są do dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna. Z uwagi na wskaźnik IF jak i punktację MEiN należy zatem uznać, iż czasopisma te należą niewątpliwie do renomowanych czasopism w tej dyscyplinie.

Na uwagę również zasługuje fakt, iż w obydwu artykułach Doktorant jest pierwszym autorem, jak również autorem korespondencyjnym. Istotne jest również to, że współautorami tych artykułów są jedynie osoby związane z realizowanym przewodem doktorskim czyli promotor i promotor pomocniczy.

Według deklaracji doktoranta jego udział w obydwu artykułach wynosił 90%. Wartość ta wydaje się być niepotrzebnie zawyżona, gdyż udział zarówno promotora jak i promotora pomocniczego w przygotowaniu rozprawy doktorskiej jest wręcz wymagany. Przykładowo w publikacji nr 1 w zakładce „Autor Contributions” nazwisko promotora pojawia się przy koncepcji, metodologii, pisaniu i redakcji artykułu, wizualizacji wyników, nadzorze i administracji projektu. Można zatem przypuszczać, iż udział procentowy promotora w opracowaniu tego artykułu był większy niż kilka procent.

Jednoznaczna ocena merytoryczna jakości naukowej jest dość trudna ponieważ tego typu czasopisma mają swoją specyfikę, którą uwzględnia się już w trakcie przygotowywania artykułu, następnie artykuły są korygowane zgodnie z otrzymanymi recenzjami. Dlatego oceniając przedstawioną do oceny rozprawę należy mieć świadomość, iż zasadnicze fragmenty rozprawy (opublikowane artykuły) zostały zrecenzowane przez osoby o renomowanym dorobku naukowym z tej dziedziny nauki. W tego typu publikacjach zazwyczaj wiele informacji podaje się w formie skrótowej ze względu na ograniczoną objętość artykułu, a wyniki przedstawia się bardzo syntetycznej formie. Niemniej jednak należy podkreślić, iż tak renomowane czasopisma w trakcie oceny zgłaszanych artykułów przykładają dużą wagę do jakości publikowanych prac, dobierając na recenzentów osoby o uznanym światowym dorobku w danej tematyce.

Warto jednak podkreślić, iż Doktorant udowodnił, że potrafi nie tylko prowadzić badania na wysokim poziomie, ale również opanował umiejętność prezentacji uzyskanych

wyników na światowym poziomie. Jest to niewątpliwie obecnie jedna z najważniejszych umiejętności wymaganych od pracowników naukowych.

Na podkreślenie zasługuje również dobre przygotowanie autoreferatu w języku polskim. Doktorant w autoreferacie przedstawił nie tylko w sposób syntetyczny wyniki przeprowadzonych i opublikowanych w artykułach badań, ale również sformułował problem, hipotezy badawcze i cel badań. Dzięki temu cała rozprawa tworzy logiczną całość powiązanych ze sobą i wzajemnie się uzupełniających informacji. Świadczy to niewątpliwie o dojrzałości naukowej Doktoranta nie tylko do prowadzenia badań, ale również właściwej formy prezentacji osiągniętych wyników.

Z uwagi na fakt, iż zasadniczą część pracy stanowią artykuły opublikowane w tak renomowanych wydawnictwach jak MDPI i Elsevier ocena redakcyjna i edycyjna jest jednoznacznie pozytywna. W trakcie procesu publikacji tych artykułów zarówno poprawność językowa jak i strona edycyjna są skrupulatnie kontrolowane.

Autoreferat opracowany w języku polski jest napisany poprawnym językiem, w którym występują pojedyncze błędy stylistyczne. Treść poszczególnych rozdziałów jest streszczeniem informacji omawianych szerzej w poszczególnych artykułach i ma na celu wprowadzenie czytelnika w tematykę rozprawy oraz jak wcześniej wspomiano pozwala na logiczne powiązanie z sobą artykułów będących zasadniczą częścią pracy. Nie mniej jednak wydaje się, że niektóre zagadnienia byłoby dobrze pominąć w autoreferacie albo rozszerzyć. Przykładowo podrozdział 4.2 autoreferatu stanowią dwa pojedyncze zdania, przez co podrozdział w takiej formie wydaje się zbędny.

Uwagi krytyczne do prezentowanej rozprawy:

- zarówno w autoreferacie jak i w artykułach brak informacji czy w trakcie realizacji badań przedstawionych w rozprawie, kontrolowano skład wytwarzanego biogazu. Co prawda w autoreferacie pojawia się zdjęcie analizatora biogazu jednak w tekście brak jest informacji o składzie chemicznym otrzymanego biogazu. Wydaje się, że skład biogazu, a w szczególności udział procentowy metanu jest równie istotny do oceny procesu fermentacji jak ilość wytwarzanego biogazu;
- brak kryteriów, jakimi Doktorant kierował się przy wyborze testów statystycznych wykorzystywanych do weryfikacji stawianych hipotez, w prezentowanej rozprawie używanych było naprzemiennie kilka rodzajów testów statystycznych. Zapewne przedstawianie tego typu analiz w artykułach nie było możliwe z uwagi na ograniczenia redakcyjne. Niemniej jednak oczekiwałbym od Doktoranta wyjaśnienia tej kwestii podczas publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Konkluzja

W trakcie realizacji ocenianej rozprawy Doktorant niewątpliwie wykazał się umiejętnością krytycznej analizy dostępnej literatury, formułowania problemów badawczych, planowania i prowadzenia eksperymentów badawczych. Ponadto wykazał się znajomością aparatu matematycznego niezbędnego do opisu analizowanych zjawisk, a także umiejętnością statystycznej analizy uzyskanych wyników.

Zawarte w mojej recenzji nieliczne uwagi krytyczne nie wpływają jednak na ogólną pozytywną ocenę rozprawy, a często mają charakter dyskusyjny.

Biorąc zatem pod uwagę omówione i ocenione wyżej rezultaty rozprawy doktorskiej stwierdzam, iż rozprawa doktorska **mgr inż. Michała Piątka, p.t. „Modelowanie kinetyki procesu wytwarzania biogazu z materiałów lignocelulozowych”** spełnia wymogi stawiane pracom na stopień doktora nauk technicznych, w rozumieniu:

1. Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie w wyższym i nauce (Dz.U. 2018, poz. 1669);
2. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85),
3. Regulaminu przeprowadzania postępowań w sprawie nadania stopnia doktora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie stanowiący załącznik do uchwały nr 8 – 2019/2020 z dnia 23 września 2019 r. Senatu Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (z późn. zm.).

Wniosuję zatem o **dopuszczenie mgr inż. Michała Piątka do publicznej obrony** przedstawionej rozprawy doktorskiej.

Wienbal