

Dr hab. Tomasz Oniszczyk, prof. nadzw.
Wydział Inżynierii Produkcji
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Lublin, dn. 19.06.2019

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Marka Kolasińskiego zatytułowanej

„Model energetyczno-ekonomiczny fermentacji biogazowej

w oczyszczalniach ścieków”

wykonanej pod kierunkiem **Pana prof. dr hab. Jacka Dacha**

w Instytucie Inżynierii Biosystemów

Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu,

promotor pomocniczy: **Pan dr inż. Jakub Mazurkiewicz**

OCENA FORMALNA PRACY

Recenzję rozprawy doktorskiej wykonałem na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Gospodarki Przestrzennej, Pana dra hab. Jerzego Bykowskiego, prof. nadzw. Promotorem pracy jest prof. dr hab. Jacek Dach, a promotorem pomocniczym dr inż. Jakub Mazurkiewicz.

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska opracowana została w układzie klasycznym, charakterystycznym dla prac eksperymentalnych. Jest to 100-stronicowy maszynopis, podzielony na 9 rozdziałów. Tekst uzupełniony został o 21 rysunków, 35 równań oraz 49 tabel. Praca liczy 125 pozycji literaturowych w bibliografii (oraz dodatkowo 8 stron internetowych), w tym 47 pozycji angielskojęzycznych, co świadczy o szerokim korzystaniu przez Autora z literatury światowej i podnosi wartość dysertacji.

Obserwowane ostatnio dążenie do stworzenia gospodarki o obiegu zamkniętym jest strategią rozwoju, która umożliwia wzrost gospodarczy przy jednoczesnej optymalizacji zużycia zasobów. Wiąże się to z głębokimi przekształceniami łańcuchów produkcji i konsumpcji oraz projektowaniem na nowo systemów przemysłowych. Koncepcja ta przewiduje przejście od modelu linearnego opartego na schemacie produkcja – zużycie – wyrzucenie do modelu pętli, w którym odpady, jeśli powstają, stają się surowcem.

Jednym z kluczowych obszarów technologicznych, które mają istotne znaczenie dla rozwoju Polski, w kontekście powyższej strategii, jest gospodarka wodno-ściekowa. Obserwowanym obecnie trendem jest stworzenie samowystarczalnych energetycznie

oczyszczalni ścieków, poprzez optymalizację procesów technologicznych oraz nacisk na produkcję własną energii, z wykorzystaniem własnych oraz łatwo dostępnych substratów. Aktualnie fermentacja metanowa jest najefektywniejszym sposobem zabezpieczenia energetycznych potrzeb własnych oczyszczalni ścieków. Jednak potencjał biogazowy osadów ściekowych nie zawsze może zaspokoić w pełni zapotrzebowanie oczyszczalni ścieków na energię. Coraz częściej stosowanym rozwiązaniem technologicznym jest więc kofermentacja, w której dodatkowo jako substraty wykorzystuje się m.in. odpady tłuszczowe, rolno-spożywcze oraz wywar gorzelniany.

W odniesieniu do powyższego stanu rzeczy bardzo uzasadnione jest poszukiwanie rozwiązania problemu naukowego, sformułowanego w analizowanej dysertacji w postaci pytania: „Jaka powinna być kombinacja substratów i parametrów instalacji, która pozwoli na wysokowydajną i ekonomicznie opłacalną produkcję biogazu, przy zastosowaniu osadów ściekowych i kosubstratów zewnętrznych?”, która stanowi cel recenzowanej pracy. Biorąc więc pod uwagę zawartość pracy, jak i sformułowany problem naukowy i jego późniejsze rozwiązanie stwierdzam, że z formalnego punktu widzenia praca spełnia warunki stawiane dysertacjom doktorskim.

SZCZEGÓŁOWA OCENA PRACY

W **przeglądzie literatury**, składającej się z dwóch podrozdziałów, Doktorant zaprezentował podstawy teoretyczne zagadnień podjętych w pracy. Pierwszy z podrozdziałów, poświęcony oczyszczalniom ścieków, charakteryzuje trzy zasadnicze etapy oczyszczania ścieków: oczyszczanie wstępne biologiczne i zagospodarowanie osadów. Przedstawia także charakterystykę odpadów ściekowych oraz gospodarkę nimi na terenie naszego kraju. W drugim mgr Kolański opisuje przebieg fermentacji metanowej, rodzaje używanych substratów, a także modelowanie procesów fermentacji. Szczegółowe wprowadzenie, uzasadniające tematykę podjętych badań, świadczy o dużej teoretycznej i praktycznej wiedzy Autora, ale również o umiejętności syntetycznego, logicznie uporządkowanego, a przez to zrozumiałego zaprezentowania posiadanych wiadomości.

Cel główny pracy dotyczył opracowania otwartego modelu energetyczno-ekonomicznego fermentacji biogazowej w oczyszczalniach ścieków, dla trzech różnej wielkości oczyszczalni, a także potwierdzenie jego zasadności na podstawie badań laboratoryjnych oraz w skali technicznej. Doktorant wyznaczył cztery zadania badawcze

(określenie potencjału energetycznego substratów w procesie monofermentacji, dla różnych wielkości oczyszczalni ścieków; określenie stopnia redukcji masy wybranych kosubstratów, podczas fermentacji; opracowanie modelu energetyczno-ekonomicznego oraz analiza modelu na podstawie danych rzeczywistych). Sformułował również trzy hipotezy badawcze:

1. Zastosowanie zewnętrznych substratów organicznych, w procesie fermentacji metanowej osadu ściekowego, pozwala na zwiększenie produkcji biogazu, a w konsekwencji poprawia bilans ekonomiczny inwestycji.
2. Zastosowanie wybranych kosubstratów nie wpływa istotnie na zwiększenie ilości suchej masy osadu pofermentacyjnego, a w konsekwencji nie zmienia ekonomicznego uzasadnienia realizacji inwestycji.
3. Opracowany model energetyczno-ekonomiczny, pozwala na szerokie możliwości prowadzenia analiz porównawczych, zarówno przy uwzględnieniu analizy wrażliwości (tylko jedna zmienna wartość) jak również przy szerokim spektrum analizy scenariuszy (wiele zmiennych jednocześnie).

Część poświęcona badaniom własnym zawiera 5 rozdziałów. W Rozdziale 4. Autor przedstawił **zastosowaną metodykę**. Część badawcza pracy realizowana była w Pracowni Ekotechnologii Instytutu Inżynierii Biosystemów na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu. Badania przeprowadzono wg standardowych metod badania biogazodochodowości czyli DIN 38414/S8 oraz VDI4630, w zestawach 21-reaktorowych o pojemność pojedynczego reaktora 2 dm³. Część obliczeniowa pracy, oparta na procedurach kalkulacji energetycznych przy planowaniu instalacji biogazowych, uwzględnia analizy energetyczne, nakłady inwestycyjne, przychody, koszty, ocenę opłacalności oraz inne wskaźniki, takie jak wewnętrzna stopa zwrotu, wskaźnik zyskowności. **Metodyka badań** opisana została bardzo skrupulatnie. Zarówno model energetyczno-ekonomiczny jak i część eksperymentalna zaprezentowane są w przejrzysty, przyjazny dla czytelnika sposób. Użyte metody pozwalają w pełni na wykonanie wszystkich celów i zrealizowanie założonej przez Autora koncepcji badawczej.

W pierwszej części zaprezentowanych **wyników badań** Autor przeanalizował efektywność prowadzenia procesu fermentacji metanowej, dla wybranych substratów. Celem przeprowadzonych analiz było doświadczalne wyznaczenie możliwości produkcji biogazu po to, aby otrzymać wiarygodne dane, służące do weryfikacji założeń modelu energetyczno-ekonomicznego fermentacji biogazowej, który Doktorant prezentuje w kolejnej sekcji. Model powyższy został opracowany dla trzech oczyszczalni różnej wielkości; potwierdzono jego

zasadności na podstawie badań laboratoryjnych oraz w skali technicznej. Wyniki zostały opisane w sposób czytelny. Umieszczenie rycin, równań i tabel bezpośrednio po opisującym je tekście pozwala na szybką analizę oraz ocenę uzyskanych efektów.

Rozdział 7. zawiera krótką, lecz treściwą **dyskusję** treści zawartych w pracy doktorskiej, w odniesieniu do światowej literatury. W Rozdziale 8. natomiast zawartych jest 8 szczegółowych **wniosków**, wyciągniętych na podstawie uzyskanych wyników. We wnioskach Doktorant sumarycznie podaje także rozwiązanie postawionego w celu pracy problemu naukowego.

Uważam, że należy bardzo wyraźnie podkreślić aplikacyjny charakter przedstawionej do recenzji dysertacji. Zbudowany przez Doktoranta model energetyczno-ekonomiczny pozwala na konfigurację dowolnych substratów dostępnych w danej lokalizacji – tak, aby dać odpowiedź inwestorowi w zakresie najlepszej wydajności energetycznej oraz uzyskania najbardziej efektywnego bilansu ekonomicznego planowanej inwestycji. Czynniki te różnią się dla poszczególnych kategorii (wielkości) analizowanych oczyszczalni ścieków. Ogromną zaletę pracy stanowi fakt, że przedstawiony model jest całkowicie otwarty, co pozwala na dowolne wprowadzanie danych i modyfikację parametrów instalacji, jak również śledzenie mechanizmów zmian i formuł prowadzących do osiągniętych wyników energetycznych i ekonomicznych. W analizowanych bilansach ekonomicznych bardzo istotną rolę odgrywa koszt pozyskania substratu. Warte podkreślenia są korzyści energetyczne i ekonomiczne zastosowania w procesie fermentacji kosubstratów. Przeprowadzone badania, opracowany model energetyczno-ekonomiczny, otrzymane wyniki i wyciągnięte na ich podstawie, odpowiednie wnioski, stanowią oryginalny udział Autora w pracach nad unowocześnianiem oczyszczalni ścieków w kierunku wzrostu ich rentowności i poszanowania środowiska naturalnego.

Uwagi krytyczne

Pomimo wysokiej oceny jakości naukowej i edytorskiej pracy, w pracy nie udało się uniknąć pewnych drobnych błędów interpunkcyjnych czy stylistycznych, jak też lekkiego pomieszania jednostek SI i zwyczajowych (tony versus Megagramy (Mg), czy też używania sformułowań typu m^3/Mg oraz $PLN Mg^{-1}$). W odniesieniu natomiast do merytorycznej treści pracy mam kilka uwag i pytań, na których wyjaśnienie oczekiwał będę w czasie publicznej obrony. Formułuję je w następującej formie:

Skąd wzięła się aż taka wielka rozbieżność w suchej masie osadów użytych w części eksperymentalnej?

W pracy podaje się, że model jest otwarty i może być rozbudowywany o bazę substratową badaną wg norm niemieckich (DIN i VDI). A czy mogą być wobec tego użyte do rozbudowy bazy danych wyniki testów wydajności biogazowej badanej wg innych metodyk?

Czy NPV jest najlepszym wyznacznikiem opłacalności inwestycji? A może lepszy byłby model oparty na innych wskaźnikach?

W pracy założono, że głównym celem wytwarzania energii jest osiągnięcie stanu samowystarczalności energetycznej oczyszczalni. A czy nie bardziej efektywne byłoby nastawienie się na produkcję i sprzedaż na rynek produkowanej energii?

Czy opracowany model może być wykorzystywany nie tylko w sektorze gospodarki komunalnej, ale też w sektorze biogazowni rolniczych?

UWAGI KOŃCOWE

Pragnę jednak podkreślić, iż wartość merytoryczna niniejszej rozprawy doktorskiej jest wysoka i świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu jej Autora do dalszej pracy naukowej. Lektura dysertacji uprawnia mnie do stwierdzenia, że Autor wykazał dobre zrozumienie zagadnień teoretycznych z zakresu tematu oraz opanował szereg nowatorskich technik niezbędnych w pracy doświadczalnej. Przedstawione w pracy doktorskiej wyniki badań oraz obszerna i zrozumiała, ale i krytyczna dyskusja, potwierdzają dojrzałość badawczą Doktoranta i jego dużą wiedzę praktyczną, jak i dociekliwość oraz umiejętność stawiania i rozwiązywania pytań/problemów natury naukowej. Przeprowadzony, długoterminowy eksperyment oraz zaproponowany model wymagał szczegółowo przemyślanych hipotez badawczych. Ten schemat, jasno postawionych kolejnych etapów badawczych, został zrealizowany bez zarzutu. Strona techniczna dysertacji została przygotowana w bardzo estetycznym układzie edytorskim i nie budzi moich zastrzeżeń. Rzetelnie dobrane piśmiennictwo wskazuje na pełne i wyczerpujące przygotowanie rozprawy.

Reasumując, stwierdzam że Doktorant w zupełności wypełnił zadania jakie zostały postawione w celu pracy, rozwiązał sformułowany problem naukowy, a przedstawiona do recenzji dysertacja jest niezwykle wartościowa z naukowego i aplikacyjnego punktu widzenia oraz spełnia wszystkie kryteria i wymogi stawiane

pracom doktorskim zawarte w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dn. 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka (dawniej: nauk rolniczych w zakresie ochrony i kształtowania środowiska). Na tej podstawie kieruję do Rady Wydziału Inżynierii Środowiska i Gospodarki Przestrzennej wniosek o dopuszczenie Pana mgra inż. Marka Kolasińskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie wnioskuję o wyróżnienie powyższej dysertacji.

Tomasz Owiśczak