

Częstochowa 16.09.2021.

Prof. dr hab. inż. Ewa Neczaj  
Wydział Infrastruktury i Środowiska  
Katedra Inżynierii Środowiska i Biotechnologii  
Politechnika Częstochowska  
Ul. Dąbrowskiego 69  
42-201 Częstochowa

**Recenzja rozprawy doktorskiej**

**mgr inż. Magdaleny Budych-Górznej**

**pt. „Intensyfikacja produkcji biogazu jako możliwość poprawy bilansu energetycznego komunalnej oczyszczalni ścieków” wykonanej w Instytucie Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki**

**Politechniki Poznańskiej**

**pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Piotra Oleśkowicz-Popiela**

**Podstawa formalna opracowania recenzji**

Formalną podstawą opracowania recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej, Profesora dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego z dnia 29.06.2021 informujące o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Budych-Górznej . Promotorem pracy pt. Intensyfikacja produkcji biogazu jako możliwość poprawy bilansu energetycznego komunalnej oczyszczalni ścieków” jest prof. dr hab. inż. Piotr Oleśkowicz-Popiel.

**Ocena istotności i celowości podjętego tematu**

Sektor oczyszczania ścieków charakteryzuje się bardzo dużym zużyciem energii, wynikającym przede wszystkim z bardzo wysokiego zapotrzebowania na energię w procesach napowietrzania bioreaktorów oraz energochłonności procesów jednostkowych stosowanych

w węzle osadowym. Wobec aktualnych wyzwań stawianych oczyszczalniom ścieków związanych z odzyskiem ścieków oczyszczonych należy spodziewać się dalszego wzrostu zapotrzebowania na energię w tych obiektach. Nie da się bowiem uzyskać zadowalającej jakości ścieków oczyszczonych bez wprowadzenia w systemie oczyszczania ścieków dodatkowych procesów jednostkowych tj. procesy membranowe, metody AOP, dezynfekcja za pomocą UV. Jasnym staje się, że uzyskanie „neutralności energetycznej” będzie priorytetem dla eksploatatorów oczyszczalni ścieków. Podjęty przez Doktorantkę temat pracy mający na celu poprawę bilansu energetycznego oczyszczalni poprzez intensyfikację produkcji biogazu z komunalnych osadów ściekowych uważam za bardzo ważny, a uzyskane wyniki badań o charakterze aplikacyjnym mogą zostać wykorzystane w wielu oczyszczalniach ścieków.

### **Ocena układu rozprawy doktorskiej i formalnej strony**

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Budyh-Górznej przygotowana została jako cykl trzech prac doświadczalnych, opublikowanych w latach 2016 i 2021. W momencie wszczynania postępowania o nadanie stopnia doktora ostatnia z prac była w trakcie recenzji i została opublikowana we wrześniu bieżącego roku.

Należy podkreślić, że wszystkie prace składające się na cykl zostały opublikowane w renomowanych czasopismach z listy JCR o wysokich współczynnikach wpływu oraz dużej liczbie punktów MNiSW. Sumaryczna wartość współczynnika IF dla tych prac wyniosła ponad 16 (średni IF=5,6). Pierwsza praca została ukazała się w 2016 roku w czasopiśmie Applied Energy (IF=8,848, 200 pkt MNiSW), kolejna w 2021 roku w Energies (IF=2,702, 140 pkt MNiSW), natomiast ostatnia ukazała się już po wszczęciu procedury doktoryzowania, we wrześniu 2021 roku, w Journal of Environmental Chemical Engineering (IF=5,909, 100 pkt MNiSW).

W przedstawionym zbiorze powiązanych tematycznie artykułów, Doktorantka jest pierwszym autorem i zgodnie z zamieszczonymi oświadczeniami, miała bardzo duży udział w ich tworzeniu (70-75%). W omawianych pracach Pani mgr inż. Magdalena Budyh-Górzna była odpowiedzialna za przygotowanie stanowiska badawczego, opracowanie koncepcji i metodyki badań w testach laboratoryjnych i w pełnej skali, prowadziła większość badań, dokonała analizy wyników, przeprowadziła kalkulację korzyści technologicznych i energetycznych badanego procesu w warunkach rzeczywistych oraz opracowywała manuskrypty. Tak obszerny zakres prac włożony w powstanie publikacji świadczy o bardzo

dużym zagazowaniu i samodzielności Doktorantki. Ponadto fakt, że zbiór publikacji jest wieloautorski potwierdza umiejętność zespołowej pracy Kandydatki.

### **Cel i zakres pracy**

Cel pracy został jasno sprecyzowany w rozdziale 2 rozprawy na stronie 23 i brzmi następująco: "Celem niniejszej pracy było opracowanie koncepcji poprawy bilansu energetycznego komunalnej oczyszczalni ścieków poprzez zintensyfikowanie procesu fermentacji."

Zakres prac zrealizowanych przez Doktorantkę obejmował następujące obszary badawcze:

- Określenie wpływu kofermentacji osadów ściekowych i odpadów organicznych pochodzących spoza oczyszczalni ścieków na produkcję biogazu w procesie fermentacji metanowej;
- Zbadanie wpływu procesu koagulacji osadu wstępnego na efektywność produkcji biogazu w procesie fermentacji metanowej;
- Wypracowanie metody wstępnej hydrolizy zagęszczonego osadu nadmiernego oraz ocena jej wpływu na produkcję biogazu;

Wybór obszarów badawczych został syntetycznie przedstawiony w formie graficznej i wynikał z praktycznej znajomości przez Doktorantkę potencjału technologicznego komunalnych oczyszczalni ścieków. W mojej opinii założony w rozprawie cel ma charakter zarówno naukowy jak i użyteczny, a zaplanowany zakres prac w pełni gwarantował jego osiągnięcie.

### **Układ i treść rozprawy**

Układ rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Budyń-Górznej jest zgodny z normami przyjętymi dla tego typu opracowań. Recenzowana rozprawa doktorska składa się z siedmiu głównych rozdziałów, poprzedzonych listą publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej, streszczeniem oraz spisem oznaczeń, rysunków i tabel.

Lista publikacji stanowiącą podstawę rozprawy doktorskiej obejmuje trzy artykuły:

1. *Enhancement of biogas production at the municipal wastewater treatment plant by co-digestion with poultry industry waste*, Magdalena Budyń-Górzna, Marcin Smoczyński, Piotr Oleśkiewicz-Popiel: Applied Energy 2016, 161, 387-394;



2. *Towards an Energy Self-Sufficient Resource Recovery Facility by Improving Energy and Economic Balance of a Municipal WWTP with Chemically Enhanced Primary Treatment*, Magdalena Budyń-Górzna, Beata Szatkowska, Łukasz Jaroszyński, Bjarne Paulsrud, Ewelina Jankowska, Tymoteusz Jaroszyński, Piotr Oleśkiewicz-Popiel, *Energies* 2021, 14 (5), 1445;
3. *Improved energy balance at a municipal Wastewater Treatment Plant through waste activated sludge low-temperature alkaline pretreatment*, Magdalena Budyń-Górzna, Łukasz Jaroszyński, Piotr Oleśkiewicz-Popiel, artykuł na temat wszczynania postępowania o nadanie stopnia doktora był w trakcie recenzji. W momencie przygotowania tej recenzji był on już opublikowany w czasopiśmie *Journal of Environmental Chemical Engineering* (<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106366>).

Wprowadzenie do rozprawy doktorskiej (Rozdział 1) obejmuje 9 stron tekstu bardzo dobrze wprowadza w tematykę badań. Autorka podaje, że oczyszczalnie ścieków to zakłady o bardzo dużej energochłonności, które generują znaczne ilości osadów będących ubocznym produktem procesu oczyszczania ścieków (10 mln ton suchej masy rocznie w krajach UE). Koszty operacyjne komunalnych oczyszczalni ścieków związane są przede wszystkim z zapotrzebowania na energię oraz kosztami zagospodarowania osadów ściekowych. Priorytetem staje się zatem osiągnięcie samowystarczalności energetycznej oczyszczalni. Jak pokazuje Doktorantka można to osiągnąć poprzez:

- zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną poprzez stosowanie mniej energochłonnych urządzeń i zaawansowanych systemów sterowania procesami;
- zwiększenie produkcji energii z biogazu, pompy ciepła, panele fotowoltaiczne.

W dalszej części tego rozdziału Doktorantka skupia się nad sposobami zwiększenia produkcji energii w oczyszczalniach ścieków poprzez zwiększenie produkcji biogazu. Jako zasadne Autorka wymienia: kofermentację osadów ściekowych z odpadami pochodzącymi spoza oczyszczalni; wstępną obróbkę osadów nadmiernych oraz zagęszczenie węgla organicznego w osadnikach wstępnych poprzez chemiczne kondycjonowanie osadów wstępnych metodą CEPT. W kolejnej części Wprowadzenia Pani mgr inż. Magdalena Budyń-Górzna w sposób syntetyczny pokazuje korzyści wynikające z zastosowania zaproponowanych rozwiązań w oczyszczalniach ścieków. W podsumowaniu rozdziału podkreśla, że w rozprawie doktorskiej zaprezentowano holistyczne podejście do oczyszczalni ścieków, jako jednego organizmu łączącego wiele wzajemnie na siebie oddziałujących procesów.

W rozdziale 2 przedstawiono cel pracy i graficznie zaprezentowano obszary badawcze będące przedmiotem rozprawy doktorskiej. W kolejnej części pracy (Rozdział 3) uszczegółowiono zakres badań. Dla kofermentacji zakres prac obejmował: półciągłe testy fermentacyjne, testy realizowane w pełnej skali oraz przeprowadzenie bilansu energetycznego. Dla wstępnego strącania CEPT najpierw ustalono najkorzystniejsze stężenie siarczanu żelaza (PIX), następnie przeprowadzono testy na pilotażowej instalacji oczyszczania ścieków, a w kolejnym etapie powtórzono eksperyment w pełnej skali wykonując jednocześnie bilans energii i rachunek ekonomiczny. Etap prac związany z termiczno-alkaliczną obróbką wstępną osadu nadmiernego obejmował: testy zlewkowe, półciągłe testy fermentacyjne oraz przeprowadzenie bilansu energetycznego i rachunku ekonomicznego. W rozdziale czwartym liczącym 20 stron przedstawiono metodykę badań zawierającą informacje na temat miejsca prowadzenia badań, zastosowanych metod analitycznych, charakterystykę substratów oraz szczegółowo opisano metody eksperymentalne. Możliwości intensyfikacji produkcji biogazu mające na celu uzyskanie niezależności energetycznej oczyszczalni z analizą opłacalności przebadanych metod zostały przedstawione w rozdziale 5 rozprawy. Rezultaty prac nad kofermentacją podsumowano w rozdziale 5.1. Wpływ dodatku odpadów tłuszczowych z przemysłu drobiarskiego na przebieg fermentacji i wzrost produkcji badano w półciągłych testach fermentacyjnych. W celu zapewnienia adaptacji mikroorganizmów do zmieniającego się składu substratu stopniowo zwiększano dawkę odpadów tłuszczowych. Wyniki badań odniesiono do próby kontrolnej, czyli fermentacji mieszaniny osadów PS:WAS (1:1 v/v) dla której jednostkowa produkcja biogazu wyniosła  $0,5 \text{ m}^3/\text{kg VS}$ . Dawki odpadów tłuszczowych w mieszaninie wprowadzanej do bioreaktora wyniosły odpowiednio 6,3%, 13,3%, 17,8% oraz 20,7% (w odniesieniu do ładunku VS), a wraz z ich zwiększaniem obserwowano systematyczny wzrost produkcji biogazu. Proces fermentacji był stabilny w całym okresie trwania testów, a jego wyniki pozwoliły na przystąpienie do badań w pełnej skali. Masę dozowanych do komór fermentacyjnych odpadów zwiększano stopniowo z  $14 \pm 1,6 \text{ Mg/d}$  do  $60 \pm 3,3 \text{ Mg/d}$  tj.: z 4% do 13%. Jednostkowa produkcja biogazu w badanym okresie wzrosła prawie o 30%, z  $0,38 \pm 0,04 \text{ m}^3/\text{kg VS}$  do  $0,49 \pm 0,06 \text{ m}^3/\text{kg VS}$ . Natomiast jednostkowa produkcja metanu przy średniej zawartości metanu wynoszącej 65%, wzrosła z  $0,24 \pm 0,02 \text{ m}^3/\text{kg VS}$  do  $0,32 \pm 0,04 \text{ m}^3/\text{kg VS}$ . W oparciu o uzyskane wyniki badań przeprowadzono bilans masy i energii, który wykazał, że w procesie fermentacji metanowej na oczyszczalni ścieków możliwe jest wyprodukowanie dodatkowo  $7000 \text{ m}^3/\text{d}$  biogazu przy wykorzystaniu odpadów tłuszczowych jako kosubstratu. W rozdziale 5.2 omówiono wyniki badań nad zastosowaniem procesu koagulacji do strącania wstępnego. Wykazano znaczną



poprawę efektywności usuwania zanieczyszczeń w wyniku zastosowania koagulantu PIX zarówno w badaniach laboratoryjnych, jak i w pełnej skali. W wyniku przeprowadzonego modelowania procesu oczyszczania ścieków z zastosowaniem CEPT wykazano, że możliwe jest zmniejszenie zużycia energii w procesie napowietrzania, wzrost produkcji energii z biogazu oraz zmniejszenie produkcji osadu odwodnionego. Wyniki badań nad obróbką wstępną osadu nadmiernego opisane w rozdziale 5.3 udowodniły, że w Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach można dodatkowo uzyskać 1830 MWh energii elektrycznej na rok. Ponadto przeprowadzony bilans energii wykazał, że zastosowanie obróbki wstępnej osadu nadmiernego metodą termiczno-alkaliczną umożliwia ograniczenie kosztów operacyjnych na poziomie 300 tys. EUR rocznie dla oczyszczalni ścieków o wielkości 1 mln PE. W rozdziale 6 przedstawiono model efektywnej oczyszczalni ścieków komunalnych. Do klasycznego modelu oczyszczalni wprowadzono dodatkowo: proces kofermentacji odpadów tłuszczowych (udział do 20% w mieszaninie kofermentacyjnej), proces CEPT (60g PIX/L dopływających ścieków) oraz proces obróbki wstępnej osadu nadmiernego (30%NaOH w ilości 2 mL/L osadu z jednoczesnym ogrzewaniem (60°C przez 1 h). Model został w sposób czytelny przedstawiony w formie graficznej. Przeprowadzona analiza wykazała, że dzięki zastosowaniu wszystkich trzech procesów (kofermentacji, CEPT i obróbki wstępnej) możliwe jest uzyskanie prawie 65% wzrostu produkcji biogazu, metanu i energii co prowadzić może do uzyskania nie tylko samowystarczalności energetycznej oczyszczalni ale również nadprodukcji energii na poziomie 20%. Wnioski z przeprowadzonych przez Autorkę badań zostały w sposób syntetyczny przedstawione w rozdziale 7 rozprawy. Przedstawiony do recenzji dokument zamyka wykaz wykorzystanych pozycji literaturowych oraz kopie cyklu artykułów wraz z oświadczeniami współautorów wskazujących zakres ich pracy i procentowy udział w przygotowanie publikacji naukowych, które stanowią cykl publikacji będący podstawą o ubieganie się o nadanie stopnia naukowego doktora.

Reasumując recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Budych-Górcznej jest kompleksowym opracowaniem o charakterze utylitarnym. Zakres zrealizowanych przez Doktorantkę prac pozwolił na zrealizowanie założonego celu. Głównym osiągnięciem przeprowadzonych prac jest wykazanie, że w istniejących oczyszczalniach ścieków możliwe jest poprawa bilansu energetycznego poprzez wdrożenie technologii kofermentacji oraz technologii CEPT, przy stosunkowo niskich nakładach inwestycyjnych i ingerencję w obecną infrastrukturę. Za wzorowe uważam przygotowanie projektu badań oraz sposób ich realizacji.

## **Ocena formalna pracy**

Rozprawa jest bardzo dobrze przygotowana pod względem formalnym. Nie budzi zastrzeżeń jej strona językowa edycyjna, układ oraz struktura. Do napisania pracy Doktorantka wykorzystowała 103 pozycje literaturowe, które w ogromnej większości zostały opublikowane w ciągu ostatnich 10 lat. Dobór źródeł literaturowych jest moim zdaniem prawidłowy i odpowiada aktualnemu stanowi wiedzy na temat metod intensyfikacji produkcji biogazu w oczyszczalniach ścieków oraz poprawy ich bilansu energetycznego. Niemniej jednak zdarzają się drobne błędy edytorskie, które nie wpływają jednak na wartość naukową pracy.

## **Uwagi do rozprawy doktorskiej**

Jak już wcześniej podkreśliłam rozprawę doktorską mgr inż. Magdaleny Budych-Górznej oceniam bardzo wysoko. Pozwolę sobie jednak przedstawić kilka uwag o charakterze dyskusyjnym.

Uwaga pierwsza ma charakter edycyjny i dotyczy rozdziałów 2 i 3 rozprawy. Uważam, że zamiast rozdziałów 2 *Cel pracy* oraz 3 *Cel i zakres przeprowadzonych badań* można było napisać jeden rozdział obejmujący zarówno cel jak i zakres pracy.

Prosiłabym doktorantkę o odpowiedź na poniżej wyszczególnione uwagi i pytania.

Czym kierowała się Doktorantka przy wyborze kosustratu? Czy możliwe było wykorzystanie w badaniach innych grup odpadów?

Proszę o wyjaśnienie określenia „parametry zawartości komory fermentacyjnej” na stronie 24.

Jedną z wielu korzyści procesu ko fermentacji jest możliwość prowadzenia procesu przy krótszych HRT. Uważam, że wartości parametru HRT są wysokie. Jakimi kryteriami kierowała się Doktorantka przy wyborze wartości tego parametru?

## **Podsumowanie i wnioski**

W podsumowaniu chciałabym podkreślić, że wymienione powyżej uwagi nie mają wpływu na moją bardzo wysoką ocenę przedstawionej do recenzji rozprawy. Doktorantka wykazała się obszerną wiedzą teoretyczną oraz umiejętnościami samodzielnego prowadzenia eksperymentu naukowego i poprawnego interpretowania uzyskanych rezultatów. **Uważam że aplikacyjny charakter pracy doktorskiej oraz wysoka jakość czasopism naukowych**

w których publikuje Doktorantka i jej udział w przygotowaniu manuskryptów spełnia, a nawet przewyższa wymagania stawiane procom doktorskim.

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. „**Intensyfikacja produkcji biogazu jako możliwość poprawy bilansu energetycznego komunalnej oczyszczalni ścieków**” spełnia wszelkie wymagania określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 roku, poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 roku, poz. 1669). **W związku z powyższym, przedkładam Wysokiej Radzie Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej wniosek o dopuszczenie mgr inż. Magdaleny Budyń-Górznej do dalszych etapów przewodu doktorskiego, rekomendując jednocześnie wyróżnienie rozprawy stosowną nagrodą.**

*Ewa Wencaj*