



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII ŁĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



**UCZELNIA
BADAWCZA**
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

dr hab. inż. Sylwia Fudala-Książek, prof. PG
Katedra Inżynierii Sanitarnej
Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska
e-mail: sksiazek@pg.edu.pl

Gdańsk, 06.09.2021 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Budych-Górznej

pt. „Intensyfikacja produkcji biogazu jako możliwość poprawy bilansu energetycznego komunalnej oczyszczalni ścieków”

I. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnicztwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 25 czerwca 2021 r., zgodnie z pismem prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego, Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki, z dnia 29 czerwca 2021 r. Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pani mgr inż. Magdaleny Burzych-Górznej pt. „Intensyfikacja produkcji biogazu jako możliwość poprawy bilansu energetycznego komunalnej oczyszczalni ścieków”, która została wykonana w Instytucie Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechniki Poznańskiej oraz w przedsiębiorstwie AQUANET S.A. w Poznaniu. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Piotr Oleśkowicz-Popiel, prof. Politechniki Poznańskiej.

II. Ocena problematyki rozprawy

Tematyka energochłonności oczyszczalni ścieków jest w ostatnich latach często poruszonym tematem zarówno w kręgu eksploatatorów tych obiektów jak i naukowców. Wdrożenie wysokoefektywnych metod biologicznego i chemicznego oczyszczania w szczególności nastawionych na podwyższone usuwania biogenów i redukcję substancji organicznej, w celu spełnienia wymagań Ramowej Dyrektywy Wodnej (2000/60/WE) generuje ogromne ilości osadów ściekowych. Należy podkreślić, iż jednym z zagadnień przynoszącym najwięcej problemów całej branży wodociągowo - kanalizacyjnej w Polsce była i nadal jest



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Tel.: +48 58 347 22 05
Fax: +48 58 347 20 44
e-mail: biurowyd@pg.edu.pl
www.wilis.pg.edu.pl



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



**UCZELNIA
BADAWCZA**
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

gospodarka osadowa. Rozwiązanie problemów związanych z bieżącą eksploatacją (brak właściwej stabilizacji osadów, ograniczone możliwości ostatecznego zagospodarowania), trudności o charakterze ekonomicznym (kosztowne rozwiązania systemowe), a także negatywny wpływ na środowisko (zła gospodarka osadowa w oczyszczalni przekłada się na zanieczyszczenia środowiska naturalnego np. akumulacja metali ciężkich, mikrozanieczyszczeń, odorów itd.) są istotą obecnej gospodarki osadowej w większości obiektów oczyszczających ścieki. Dlatego też szukanie nowych, racjonalnych ekonomicznie i wysokosprawnych rozwiązań w gospodarce osadowej jest niezwykle istotne, a mając na uwadze, iż obecnie koszty przeróbki osadów stanowią od 50 do 70% budżetu eksploatacyjnego większości oczyszczalni ścieków, ich redukcja nawet o 1÷2% daje wymierne efekty finansowe. Jednocześnie dążenie do maksymalizacji wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE) jest jednym z priorytetów Unii Europejskiej na najbliższe 30 lat (Komunikat Komisji Europejskiej, 2018). Osad czynny (nadmierny i wstępny) jest nie tylko problem dla wielu obiektów gospodarki ściekowej, ale może stanowić istotny wkład w rozwój gospodarki OZE i być źródłem (bioproduktem/biodopadem) wysokosprawnej energii odnawialnej.

Celem naukowym rozprawy doktorskiej pani mgr inż. Magdaleny Budyń-Górnaj było opracowanie modelu technologicznego oczyszczalni ścieków w kierunku zwiększenia produkcji biogazu, a przez to poprawy efektywności energetycznej oczyszczalni. Analiza obejmowała szczegółowe przebadanie wybranych procesów mogących zwiększyć produkcję biogazu: (1) kofermentację odpadów organicznych (odpady tłuszczowe, poflotacyjne z przemysłu drobiarskiego), (2) strącanie w osadniku wstępnym według koncepcji CEPT – z ang. *chemically enhanced primary treatment*), (3) obróbkę wstępną osadu nadmiernego (dezintegracja chemiczna połączona z niskotemperaturową). Doktorantka wskazała, że wybór obszarów badawczych był podyktowany praktyczną znajomością potencjału technologicznego komunalnych oczyszczalni ścieków.

Tematykę badawczą podjętą przez panią mgr inż. Magdaleny Budyń-Górnaj uważam za aktualną i w pełni uzasadnioną, tak z poznawczego jak i przede wszystkim aplikacyjnego punktu widzenia. Dotyczy ona zagadnień obejmujących samowystarczalności energetyczną oczyszczalni, a tym samym wpisuje się w długoterminową strategię ograniczenia emisji gazów cieplarnianych ogłoszoną w listopadzie 2018 r. przez Komisję Europejską, dążącą do neutralności klimatycznej, tworząc gospodarkę o zerowej emisji gazów cieplarnianych (Komunikat Komisji Europejskiej, 2018).



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Tel.: +48 58 347 22 05
Fax: +48 58 347 20 44
e-mail: biurowyd@pg.edu.pl
www.wilis.pg.edu.pl



III. Formalna ocena pracy

Dysertację stanowi liczące 76 stron opracowanie (w tym 21 stron bibliografii), starannie zredagowane. Podstawę rozprawy stanowi zbiór 3 spójnych tematycznie artykułów naukowych. Dwie prace opublikowane w latach 2016 – 2021 w czasopismach o zasięgu międzynarodowym z sumarycznym współczynnikiem wpływu $IF = 12.831$ i jedna praca w recenzji w czasopiśmie *Journal of Environmental Chemical Engineering* o $IF=5.909$. Pierwsza publikacja ukazała się a *Applied Energy* ($5Y-IF = 9.746$; Q1), kolejna w *Energies* ($5Y-IF = 3.085$; Q3). Wszystkie publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej są pracami współautorskimi, będącymi efektem badań zespołów badawczych. Jest to związane z eksperymentalnym i interdyscyplinarnym charakterem prac badawczych. We wszystkich manuskryptach Doktorantka jest pierwszym autorem, a jej udział jest dominujący, co wynika z dostarczonej dokumentacji (oświadczeń współautorów). Jej udział w powstawanie poszczególnych artykułów stanowił: 75%, 70% i 75%. Doktorantka uczestniczyła we wszystkich etapach powstawania prac, poczynając od pomysłu, opracowania koncepcji badań, metodyki, wykonania prac laboratoryjnych i terenowych zarówno w skali laboratoryjnej, półtechnicznej, jak i technicznej, poprzez opracowanie wyników i ich analizę, przygotowanie publikacji do druku, a na wprowadzeniu korekty do manuskryptów kończąc.

Poniżej zestawiałam prace Doktorantki z podaniem wybranych danych bibliograficznych (zgodnie z bazą Web of Science):

1. Budych-Gorzna M., Smoczyński M., Oleśkiewicz-Popiel P. 2016. Enhancement of biogas production at the municipal wastewater treatment plant by co-digestion with poultry industry waste. *Applied Energy*; 161; 387-394 ($5Y-IF = 9.953$; punkty ministerialne: 200; liczba cytowań: 29,)
2. Budych-Gorzna M., Szatkowska B., Jaroszyński Ł., Paulsrud B., Jankowska E., Jaroszyński T., Piotr Oleśkiewicz-Popiel P., 2021. Towards an Energy Self-Sufficient Resource Recovery Facility by Improving Energy and Economic Balance of a Municipal WWTP with Chemically Enhanced Primary Treatment. *Energies*, 14(5),1445-1-1445-17 ($5Y-IF = 3.085$; punkty ministerialne: 140; liczba cytowań: 2)
3. Budych-Gorzna M., Jaroszyński Ł., Oleśkiewicz-Popiel P., 2021. Improved energy balance at a municipal Wastewater Treatment Plant through waste activated sludge low-temperature alkaline pretreatment. – w recenzji *Journal of Environmental Chemical Engineering (JECE-D-21-01710R1)*; ($5Y-IF = 5.649$; punkty ministerialne: 100; liczba cytowań: 0)



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII ŁĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



**UCZELNIA
BADAWCZA**
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

W mojej opinii i w świetle powyższych faktów, udział Doktorantki w badaniach i powstawaniu publikacji (w jednym przypadku jest autorem korespondencyjnym) nie budzi zastrzeżeń, a współpraca z przedstawicielami innych jednostek naukowych, rozwojowych w tym z przemysłem wskazuje na umiejętności korzystania z wiedzy, doświadczeń i pracy w interdyscyplinarnych zespołach.

Istotne znaczenie w pracach w skali technicznej miał fakt wsparcia spółki AQUANET S.A. w Poznaniu, której Doktorantka jest pracownikiem. Doktorantka znakomicie przełożyła wiedzę naukową (teorię, badania laboratoryjne) na badania w skali półtechnicznej i technicznej, poprzedzającej etap wdrożeniowy. Praca ta jest przykładem łączenia nauki z przemysłem, co podnosi wartość tych badań, a jednocześnie pokazuje, że doktorantka znakomicie potrafi łączyć działalność badawczą z rozwojową (B+R).

IV. Merytoryczna ocena pracy

Struktura dysertacji obejmuje:

1. Spis treści;
2. Listę publikacji;
3. Streszczenie w języku polskim;
4. Abstrakt w języku angielskim;
5. Listę skrótów, bardzo przydatną podczas czytania dysertacji;
6. Spis rysunków i tabel, który moim zdaniem mógłby zostać umieszczony również na końcu dysertacji;
7. Rozdział 1: Wprowadzenie teoretyczne wraz z podaniem na końcu rozdziału celu podjętych prac badawczych;
8. Rozdział 2: Cel pracy, szczegółowo opisany wraz z zakresem;
9. Rozdział 3: Ponownie powtórzony Cel i zakres prowadzonych badań. Moim zdaniem Rozdział 2 i 3 mógłby stanowić jeden rozdział, być może z jakimś podrozdziałami.
10. Rozdział 4: Metodyki pracy badawczej, gdzie określono zakres i miejsce prowadzonych badań, przedstawiono zestawienia metod analitycznych, podano charakterystykę substratów poddawanych badaniom oraz przedstawiono schemat metod eksperymentalnych obejmujących: kofermentację, strącanie wstępne oraz dezintegrację chemiczną w połączeniu z dezintegracją niskotemperaturową osadu nadmiernego przed fermentacją. W ramach metod eksperymentalnych przedstawiono dla wybranych



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Tel.: +48 58 347 22 05
Fax: +48 58 347 20 44
e-mail: biurowyd@pg.edu.pl
www.wilis.pg.edu.pl



technologii zakres prac w skali laboratoryjnej, półtechnicznej i pełnej technicznej. Ponieważ nie dla wszystkich trzech metod były realizowane trzy etapy prac, dlatego wydaje się zasadnym przedstawienie zakresu prac w formie schematu (lub rozbudowanie rysunku 2.1), co znacznie ułatwiłoby szybkie zorientowanie się w zakresie realizowanych prac. W tym miejscu należy zaznaczyć, iż w Rozdziale 3 doktorantka wykonała czytelny opis zakresu prowadzonych badań. Dla każdej z technologii przedstawiono również metodykę bilansu energii a dodatkowo dla strącania wstępnego, w połączeniu z kofermentacją i obróbką wstępną osadu nadmiernego wykonano rachunek ekonomiczny wdrożenia i eksploatacji.

W kolejnych rozdziałach:

11. Rozdział 5: Możliwości intensyfikacji produkcji biogazu w kierunku niezależności energetycznej oczyszczalni ścieków a opłacalności badanych metod.
12. Rozdział 6: Obróbka wstępna osadu nadmiernego.

Doktorantka omówiła uzyskane wyniki badań, analizując potencjalny wzrost produkcji biogazu dla trzech wybranych procesów niezależnie (tak też zostały przygotowane manuskrypty). W pierwszej kolejności przeanalizowała proces kofermentacji. Wraz z osadem wstępnym i nadmiernym w stosunku 1:1 był dodawany surowiec pochodzący z przemysłu drobiarskiego – flotat o wysokiej zawartości tłuszczu stanowiący produkt uboczny oczyszczania ścieków z przetwórstwa mięsnego. Analizy prowadzono w skali laboratoryjnej (półciągłej), gdzie okresowo zwiększono dodatek odpadów zewnętrznych z 0% do 20,7% masy organicznej w mieszaninie osadu wstępnego i nadmiernego (przy hydraulicznym czasie zatrzymania 35 dni). Próby fermentacyjne prowadzono 142 dni. Jednostkowa produkcją biogazu z tego okresu wynosiła 0,62 m³/kg VS wsadu i była wyższa od fermentowanego osadu bez wsadu kofermentacyjnego o 0,12 m³/kg VS wsadu. Przy dawce 20,7% masy organicznej w mieszaninie osadu wstępnego i nadmiernego, uzyskano wzrost produkcji biogazu o 24%. W kolejnym etapie do reaktora laboratoryjnego 18 L (o 4 L większym niż we wcześniejszym etapie), odpady tłuszczowe z przemysłu drobiarskiego dodawano w dawce 5,1 i 12% (przy czasie zatrzymania 27 dni), przy temperaturze prowadzenia procesu fermentacji 35°C. Etap ten prowadzono 3 miesiące, i w ramach którego Doktorantka potwierdziła stabilność procesu i wzrost produkcji biogazu jak w serii I. Następnie prowadzono testy w pełnej skali w instalacji tymczasowej, wykonanej na potrzeby prowadzonych badań przez Doktorantkę, gdzie zainstalowano na oczyszczalni ścieków zbiorniki o objętości 25 m³. Założono w zbiorniku podgrzewanie odpadów do 35°C, należy zwrócić uwagę iż ogrzewanie substratu jest to pewien rodzaj dezintegracji (przy tej temperaturze na pewno o niewielkiej



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII ŁĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



**UCZELNIA
BADAWCZA**
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

efektywności ale prawdopodobnie wpływający na końcowy efekt). Pytanie jak długo przetrzymywano tłuszcze w tym zbiorniku? Chciałam zaznaczyć, że z mojego doświadczenia wynika, że podgrzew tego typu substratu na obiektach technologicznych jest wymagany dla prawidłowego przebiegu procesu fermentacji (m.in. płynnego dozowania), więc nie stawiam pod wątpliwość tego rozwiązania, interesuje mnie jedynie czy analizowano stopień dezintegracji podczas ogrzewania substratu. Przez pierwsze 5 miesięcy prowadzonych badań komory fermentacji zasilano niewielką ilością kofermentu, nieprzekraczającą 4%, pozwalając na wpracowanie się układu, co jest właściwym podejściem chroniącym proces fermentacji przed załamaniem. W kolejnych 3 miesiącach zwiększano stopniowo ilość surowca dozowanego do komór fermentacji, aby ostatecznie osiągnąć 13% w stosunku do całkowitego ładunku organicznego kierowanego do fermentacji. Doktorantka analizowała w trakcie badań: produkcję biogazu, obciążanie komór fermentacyjnych, lotne kwasy tłuszczowe (VFA), zasadowość, pH, P-PO₄, N-NH₄, a w biogazie H₂S i CH₄, a także parametry substratów i parametry osadu po fermentacji (zawartość suchej masy (TS) i suchej masy organicznej (VS)). W skali technicznej jednostkowa produkcja biogazu wynosiła średnio 1,24 m³/kg VS (w tym metanu 0,81 m³/kg VS). Należy podkreślić, iż wydajność produkcji biogazu w pełnej skali była wyższa, niż w skali laboratoryjnej przy tym samym obciążeniu, a także wyższa niż przedstawione dane literaturowe. Oprócz prawidłowo wciągniętych wniosków przez doktorantkę takiego stanu rzeczy, przyczyną mogą być również, jak się często okazuje modele laboratoryjne, ich nie szczelność, niedoskonały pomiar produkcji biogazu (często tylko okresowy), a tym samym obarczony dużym błędem. Pani mgr inż. Magdalena Budych-Górzna wykazała, iż na podstawie uzyskanych wyników badań (w tym przypadku nie określiła czy ze skali laboratoryjnej, czy ze skali technicznej – prawdopodobnie technicznej) bilans masy i energii dla określenia wzrostu energii (przy max 20% udziale odpadów tłuszczowych z przemysłu drobiarskiego) wskazuje, że możliwe jest wyprodukowanie dodatkowo 7000 m³/d biogazu (zakładając zawartość metanu na poziomie 65%), czyli w procesie kofermentacji można uzyskać dodatkowo około 5700 MWh/rok energii elektrycznej wyprodukowanej w kogeneracji w Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach o wielkość ok. 1 mln równoważnych mieszkańców (PE). Przedstawione wyniki wskazują na opłacalność tej inwestycji i szybką stopę wzrostu. Uzyskane wyniki badań zostały opublikowane w manuskrypcie nr 1 z bardzo wysokim wskaźnikiem oddziaływania (IF = 9.746).

Kolejny analizowany proces przez Doktorantkę mający na celu zwieszenie produkcji biogazu w miejskiej oczyszczalni ścieków obejmował strącanie chemiczne (siarczanem żelaza (III)) w osadniku wstępnym, w celu zwiększenia ilości osadu wstępnego (poprzez wychwytywanie materii organicznej), który ma wyższy



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Tel.: +48 58 347 22 05
Fax: +48 58 347 20 44
e-mail: biurowyd@pg.edu.pl
www.wilis.pg.edu.pl



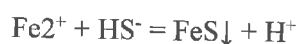
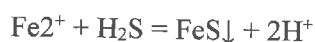
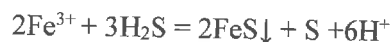
**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII ŁĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



**UCZELNIA
BADAWCZA**
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

potencjał metanowy niż osad wtórny. Proces ten również poprawia właściwości sedymentacyjne osadu wstępnego. Testy prowadzono w trzech etapach: testy laboratoryjne w zlewkach, pilotażowe (w odzwierciedlającym oczyszczalni ścieków Koziegłowach), oraz testy w pełnej skali. W trakcie testów laboratoryjnych analizowano trzy dawki $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$: 20, 60 i 100 mg/L PIX 113, a w skali półtechnicznej analizowano dawkę 60 g PIX/m³ ścieków, która została wybrana jako optymalna na podstawie wyników uzyskanych w testach laboratoryjnych. Dla testów w skali technicznej nie podano dawki PIX 113, Doktorantka wskazała jedynie miejsce podawania: strumień ścieków przed osadnikiem wstępnym, proporcjonalnie do przepływu (w jakiej dawce?). Badania w skali technicznej trwały 10 miesięcy. Bilans mas i energii, oraz rachunek ekonomiczny Doktorantka przeprowadziła wielowariantowo (wariant 1- bieżące rozwiązanie na oczyszczalni ścieków – bez koagulacji; 2 - koagulacja, wraz z procesem częściowej nityfikacji i Anammox (PN/A) wspomagającym podczyszczanie odcieków z odwadniania osadu; wariant 3 uwzględnia tylko proces koagulacji w osadniku wstępnym; wariant 4 – zastosowanie koagulacji i procesu PN/A. Analizy dokonała zarówno dla procesu strącania w osadniku wstępny jak i kofermentacji odpadów z przemysłu drobiarskiego (stała ilość 30 Mg/d). W badaniach uzyskano wzrost biogazu o 21% w stosunku do wariantu 1. Uzyskane wyniki badań przez Doktorantkę wskazują jednoznacznie na wzrost produkcji biogazu i wzrost odwadnialności osadu (zawartość suchej masy wzrastała z 22% do 24%). Według wariantu 1 zmniejszenie ładunku węgla i azotu kierowanego do części biologicznej pozwoliło dodatkowo ograniczyć zużycie energii o 8%, a w przypadku wariantu W1A (koagulacja z PN/A) może to być nawet 20%. Ponadto doktorantka wykazała korzystny wpływ dozowania $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ na redukcję stężenia siarkowodoru w biogazie aż o 40,1% i redukcję fosforu, zmniejszając obciążenie ciągu głównego oczyszczalni. Interesujący (i rozpropagowany przez handlowców) jest wątek ograniczenia siarkowodoru w biogazie, który może przebiegać zgodnie z poniższymi równaniami:



co może ograniczyć znacząco potrzebę odsiarczania spalin. Jednak w przypadku stosowania $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ prawdopodobnie wzrasta stężenie siarczanów, które w warunkach redukcyjnych mogą zostać zredukowane do siarczków, i może dojść do wtórnego powstawania siarkowodoru. Stąd pytanie, dlaczego Doktorantka wybrała ten koagulant a nie np. FeCl_3 (pozbawiony jonu siarczanowego), gdzie dane literaturowe [Anaerobic digestion of chemically enhanced primary treatment (CEPT) sludge and the microbial community structure,



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Tel.: +48 58 347 22 05
Fax: +48 58 347 20 44
e-mail: biurowyd@pg.edu.pl
www.wilis.pg.edu.pl



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII ŁĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



**UCZELNIA
BADAWCZA**
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

Feng Ju, Yubo Wang, Frankie T K Lau, W C Fung, Danping Huang, Yu Xia, Tong Zhang] wskazują na wysoką efektywność bez ryzyka wtórnego powstawania siarkowodoru. Czy w analizie ekonomicznej brano po uwagę wysoką korozyjność PIX 113 a tym samym szybkość korozji urządzeń?

Wadą tego procesu jest niewątpliwie usuwanie biodostępnego węgla już w osadniku wstępny niezbędnego do redukcji azotu w procesie nityfikacji i denityfikacji, co spowodowało wzrost azotanów a tym samym azotu ogólnego na odpływie. Jednak Doktorantka zaproponowała podczyszczanie odcieków z odwadniania osadów w procesie PN/A, co ograniczy ładunek na wejściu do oczyszczalni, a tym samym ograniczy zapotrzebowanie na węgiel do procesu denityfikacji. Wzrost biogenów na odpływie powoduje wzrost opłaty środowiskowej, co również należy uwzględnić w rachunku ekonomicznym danej oczyszczalni.

Zgodnie z kalkulacją przeprowadzoną przez Doktorantkę ilość energii uzyskana w wyniku zastosowania wstępnego strącania może wzrosnąć o ponad 20%. To oznacza, że dla analizowanej oczyszczalni produkcja energii elektrycznej wzrośnie z 17 880 MWh/rok do 21 651 MWh/rok. Wzrost produkcji energii z biogazu oraz ograniczenie konsumpcji energii w procesie napowietrzania w części biologicznej zwiększa pokrycie zapotrzebowania obiektu na energię z 75% do 96%. Na podstawie bilansu masy i energii Doktorantka dokonała również oceny ekonomicznej każdego scenariusza. Przyrost kosztów i oszczędności dla każdego wariantu w stosunku do scenariusza W0 umożliwia ograniczenie kosztów operacyjnych na poziomie 650 tys. EUR rocznie dla analizowanej oczyszczalni ścieków, co jest znaczącą sumą w budżecie nawet tak dużej oczyszczalni.

Proces strącania chemicznego w osadniku wstępny w celu zwiększenia produkcji biogazu, redukcji masy organicznej w komorach fermentacji, jest tematem analizowanym od wielu lat, co potwierdzają liczne badania, również cytowane przez Doktorantkę. Jednak przeprowadzone przez Doktorantkę badania zakładające holistyczne podejście, czyli analizy procesu od skali laboratoryjnej, do pełnej technicznej dodatkowo uwzględniające bilans energii i analizę ekonomiczną nie są już tak powszechne, a znakomicie pokazują możliwości implementacji tego rozwiązania w pełnej skali.

Wyniki tych prac opublikowano w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym nr 2 (IF= 3.085).

Jako ostatnią technologię wpływającą na zintensyfikowanie procesu fermentacji metanowej Doktorantka analizowała dezintegrację chemiczną w pierwszej kolejności w testach zlewkowych (30% NaOH w ilości 0,6 mL/L, 1,0 mL/L, 2 mL/L oraz 3 mL/L co daje odpowiednio 4,8; 8,0; 16,0; 24,0 g NaOH/kg suchej masy osadu) wspomaganą dezintegracją niskotemperaturową osadu nadmiernego (dla trzech temperatur:



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Tel.: +48 58 347 22 05
Fax: +48 58 347 20 44
e-mail: biurowyd@pg.edu.pl
www.wilis.pg.edu.pl



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII ŁĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



**UCZELNIA
BADAWCZA**
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

temperatury otoczenia, jako próba odniesienia - ok. 18°C i w temperaturze 35°C i 60°C). Doktorantka przeprowadziła również badania samej dezintegracji niskotemperaturowej (dla temperatur 35°C i 60°C) bez dezintegracji chemicznej. Analizowała również różne czasy prowadzenia procesu dezintegracji niskotemperaturowej: 120 min, 180 min, jedynie dla dawki 2 mL/L. W trakcie tej części badań analizowano wiele parametrów, jednak ograniczając możliwości porównawcze uzyskanych wyników. Tego typu testy powinno się planować jako macierz kwadratową, najwyżej ograniczając ilość parametrów, co ułatwia późniejszą analizę i możliwości porównania uzyskanych wyników badań.

W każdej próbie analizowano rozpuszczone chemiczne zapotrzebowanie na tlen (SCOD) i całkowite (TCOD) oraz pH, aby sprawdzić efektywność wybranych parametrów i stopień dezintegracji osadu nadmiernego. Moim zdaniem dobrym parametrem określającym efektywność dezintegracji jest również analiza lotnych kwasów tłuszczowych, co przy kontynuacji badań przez Panią mgr inż. Monikę Budych-Górną można rozważyć.

Testy prowadzono w skali laboratoryjnej: zlewkowej i półciąglej. Badania w skali półciąglej prowadzono w trzech reaktorach fermentacji metanowej, o objętości roboczej 15 L (w tym jeden jako reaktor odniesienia – fermentacja osadu nadmiernego bez dezintegracji, przy czasie zatrzymania 21,5 dnia), a w dwóch kolejnych analizowano wpływ dezintegracji niskotemperaturowej (dla 60°C) i chemicznej z 30% NaOH w dawce 2 mL/L, z różnymi czasami retencji: 15 dni (reaktor 1) i 21,5 dni (reaktor 2). Analizowano szeroki zakres parametrów raz w tygodniu w przypadku osadu nadmiernego zagęszczonego i dwa razy w tygodniu w przypadku osadu dezintegrowanego, i osadu zdeintegrowanego pobranego z fermentatorów.

Doktorantka wykazała, że zastosowanie jedynie dezintegracji chemicznej 30% NaOH wymagałoby wysokich dawek wodorotlenku sodu, co znowu spowodowałoby potrzebę korekty pH np. kwasem solnym, przed podaniem wsadu do komory fermentacji, a to zwiększyłoby koszty eksploatacyjne. Dodatkowo wysokie dawki NaOH mogą powodować wzrost stężenia Na⁺ i w połączeniu z korekta pH może powodować wzrost zasolenia. Doktorantka dążąc do optymalizacji procesu podjęła decyzję o połączeniu obróbki chemicznej (alkalicznej) z termiczną, a tym samym optymalizacji zużycia zasady sodowej. Obróbka termiczna prowadzona była docelowo w 60°C, co wynikało z możliwości uzyskania ciepła w pełnej skali w Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach.

Optymalny czas dezintegracji termicznej określiła Doktorantka jako 60 min, dalsze wydłużanie czasu reakcji nie przynosiło zadowalających efektów. Uzyskane wyniki pokazują, iż wstępna obróbka osadu nadmiernego pozwala na skrócenie czasu fermentacji metanowej i nie wpływa inhibującą na proces fermentacji



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Tel.: +48 58 347 22 05
Fax: +48 58 347 20 44
e-mail: biurowyd@pg.edu.pl
www.wilis.pg.edu.pl



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



**UCZELNIA
BADAWCZA**
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

metanowej.

Doktorantka podobnie jak w poprzednich procesach przeprowadziła bilans energii, gdzie wykorzystano również ciepło odpadowe do podgrzewu osadu. Jest to rozwiązanie, które przynosi dodatkowe korzyści ponieważ większość oczyszczalni nie wykorzystuje w pełni generowanej energii cieplnej w procesie kogeneracji, ponieważ nie ma na nią pełnego zapotrzebowania, szczególnie w okresie letnim. Na końcu doktorantka przeprowadziła analizę ekonomiczną rozwiązania, która wskazuje, że obróbka wstępna osadu nadmiernego pozwala uzyskać w przypadku Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach dodatkowo 1 830 MWh/rok energii elektrycznej wyprodukowanej w kogeneracji. Ciepło potrzebne do procesu obróbki wstępnej może zostać zabezpieczone z ciepła odpadowego z kogeneracji, bez potrzeby zastosowania dodatkowego medium grzewczego. Dzięki wyższej redukcji masy organicznej w komorach fermentacyjnych ilość produkowanego osadu odwodnionego może zmniejszyć się o 8,7%. Rachunek ekonomiczny określony dla wariantów w hodowli półciąglej fermentacji wykazał ograniczenie kosztów operacyjnych na poziomie 300 tys. EUR rocznie dla oczyszczalni ścieków o wielkości 1 mln PE.

Powyższe wyniki prac badawczych zostały przedstawione w publikacji nr 3.

Należy podkreślić, iż Doktorantka wykonała bardzo szerokie badania, które wymagały ogromnego zaangażowania. Podejście do przeprowadzonych badań było wielowątkowe, jednak bardzo spójne tematycznie i nastwione na postawione przez Doktorantkę cele.

13. Rozdział 6. Model efektywnej oczyszczalni ścieków komunalnych.

W ramach tego rozdziału Doktorantka przedstawiła koncepcję nowego, korzystnego pod względem technologicznym, ekonomicznym i ekologicznym modelu oczyszczalni ścieków komunalnych (Rys. 6.1). Podsumowała tu w czytelny sposób uzyskane efekty dla wszystkich przebadanych technologii. Wykazała również, że zastosowanie wszystkich analizowanych metod pozwoli na sumaryczny wzrost produkcji biogazu o prawie 65%, a ostatecznie oczyszczalnia może wykazać się 20% nadprodukcją energii.



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Tel.: +48 58 347 22 05
Fax: +48 58 347 20 44
e-mail: biurowyd@pg.edu.pl
www.wilis.pg.edu.pl



14. Podsumowanie i wnioski

Dysertacja pani mgr inż. Magdaleny Budyń-Górzyna posiada bardzo treściwe podsumowanie uzyskanych wyników badań. Na szczególną uwagę zasługuje schematyczne i bardzo czytelne podsumowanie wyników badań. Chciałam jedynie zwrócić uwagę, iż należy zachować spójność w przedstawianiu wartości, ponieważ część wyników ma odchylenie standardowe a w części ich brak, dotyczy to całej rozprawy doktorskiej.

Doktorantka wykazała się niezwykłą znajomością literatury przedmiotu. Wyniki pracy badawczej zostały skonfrontowane z wartościową i aktualną literaturą, w dysertacji składającą się z 103 pozycji.

W trakcie lektury rozprawy nasunęło mi się jednak kilka pytań, które przedstawiam poniżej:

- 1) Czym kierowała się Doktorantka w doborze technologii wpływającej na zintensyfikowanie procesu fermentacji metanowej? I dlaczego wybrała jako koferment produkty tłuszczowe z przemysłu drobiarskiego?
- 2) W przypadku możliwości zastosowania tylko jednej metody, którą Doktorantka rekomenduje. Na jakiej podstawie oczyszczalnie powinny wybierać metody intensyfikacji produkcji biogazu, czy można to zestandaryzować?
- 3) Czy proces podczyszczania odcieków z odwadniania osadów w ciągu bocznym jest rekomendowany dla wszystkich technologii, jeśli tak czy został uwzględniony w kalkulacjach (bilansie energetycznym i ekonomicznym) wszystkich technologii?
- 4) Czy proces wstępnego strącania chemicznego jest rozwiązaniem możliwym do wdrożenia w polskich oczyszczalniach, które jednak borykają się z brakiem odpowiedniej ilości węgla organicznego? Ponieważ stosowanie tych metod jest uzasadnione, ale implementacja na danym obiekcie musi być dokładnie przemyślana i przeanalizowana, gdyż strącanie w osadniku wstępnym może okazać się problemem dla oczyszczalni, która nie ma wystarczającej ilości łatworozkładalnego węgla w ściekach, a dodatkowo dozowanie odpadów zewnętrznych może spowodować, że 'ściągnięcie azotu' w ciągu bocznym jest niewystarczające. I dla zachowania parametrów na wylocie z oczyszczalni wymagane będzie stosowanie zewnętrznego źródła węgla.
- 5) Czy brano pod uwagę zastosowanie jedynie dezintegracji niskotemperaturowej (ponieważ prowadzono takie testy, ale nie przedstawiono uzyskanych wyników),
- 6) W metodyce nie zawsze podano prędkość wirowania, czy zawsze była taka sama? Ponieważ wysokie obroty również mogą generować proces dezintegracji.

Wymienione wyżej uwagi mają charakter dyskusyjny i nie obniżają wartości merytorycznej przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej. Pozostałe, mniej istotne uwagi szczegółowe, dotyczące np. odsyłaczy do rysunków, cytowanej literatury oraz nieprecyzyjnych sformułowań (np. 'gospodarka cyrkularna' – tłumaczenie z angielskiego, w Polsce częściej mówimy 'obiegu zamkniętego'; zamiast 'bilans kosztów i



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



**UCZELNIA
BADAWCZA**
INIICYTYWA DOSKONAŁOŚCI

oszczędności’, zamieniałabym na ‘bilans kosztów i zysków’; zamiast ‘osiadania’ w zlewkach raczej ‘opadania’ itd.), o mniejszym znaczeniu zostały naniesione na tekst rozprawy i zostaną przekazane Autorce w bezpośredniej rozmowie. Pragnę jednak zaznaczyć, iż praca jest napisana bardzo starannie, a ilość błędów nomenklaturowych, stylistycznych i edytorskich jest niewielka.

V. Podsumowanie

Pani mgr inż. Magdalena Budy-Górzna wykonała interesujące badania, które pozwoliły zrealizować określone cele. Zrealizowała bardzo obszerny i przemyślany program badań oraz przeprowadziła wyczerpującą interpretację zebranego materiału badawczego. Wykazała się umiejętnością samodzielnego i zespołowego prowadzenia prac, bardzo dobrą znajomością warsztatu badawczo-analitycznego, oraz wiedzą w zakresie podjętej tematyki.

Całościowe ujęcie tematyki badawczej od laboratorium po skalę póltechniczna i techniczną świadczy o bardzo dobrym merytorycznym przygotowaniu doktorantki. Pragnę zaznaczyć, iż cele badawcze wyznaczone w pracy doktorskiej były bardzo ambitne i wymagały ogromnego zaangażowania Doktorantki w proces badawczy, tym bardziej, że Doktorantka jest jednocześnie pełnoetatowym pracownikiem spółki AQUANET S.A. w Poznaniu. I w tym miejscu należy podkreślić, iż Doktorantka znakomicie połączyła naukę z przemysłem, od laboratorium do wdrożenia w obiekcie rzeczywistym, co zasługuje na wyróżnienie. Praca ta może być istotnym źródłem wiedzy zarówno dla świata nauki jak i operatorów infrastruktury ściekowej. W pracy znakomicie widać, że Pani mgr inż. Magdalena Budy-Górzna posiada oprócz wiedzy teoretycznej ogromną wiedzę praktyczną, co na pewno pomogło jej w realizacji tej pracy.

VI. Wniosek końcowy

Podsumowując Doktorantka wykazała się umiejętnością samodzielnego i zespołowego prowadzenia prac, bardzo dobrą znajomością warsztatu badawczego oraz wiedzą w zakresie podjętej tematyki. Badania przedstawione jako rozprawa doktorska pt.: *Intensyfikacja produkcji biogazu jako możliwość poprawy bilansu energetycznego komunalnej oczyszczalni ścieków*, prezentują wysoki poziom naukowy, zawierają elementy nowości naukowej o znaczącej wartości poznawczej, a co bardzo istotne przede wszystkim praktycznej, praca spełnia zatem wszystkie ustawowe wymogi formalne i merytoryczne stawiane dysertacjom doktorskim, wnosząc interesujące informacje związane z dyscypliną Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki. Wyniki badań zostały opublikowane w prestiżowych czasopismach o zasięgu międzynarodowym (łącznie IF=18,687), które wchodzi w zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych. W mojej opinii doktorantka spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Tel.: +48 58 347 22 05
Fax: +48 58 347 20 44
e-mail: biurowyd@pg.edu.pl
www.wilis.pg.edu.pl



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



**UCZELNIA
BADAWCZA**
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r. (z późniejszymi zmianami). Na tej podstawie występuję do wysokiej Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Półtechniki Poznańskiej z wnioskiem o dopuszczenie mgr inż. Magdaleny Budyh-Górzna do publicznej obrony. W uznaniu dla poziomu naukowego pracy, ogromu wykonanych analiz, olbrzymiej pracowitości prowadzonych prac badawczych, a przede wszystkim doceniając holistyczne podejście do tematu pracy od laboratorium po testowanie w pełnej skali do wdrożenia przez Doktorantkę, stawiam wniosek o wyróżnienie rozprawy przez Radę Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Półtechniki Poznańskiej w stosownym trybie.

z wyrazami szacunku,

S. Fudala-Książek

dr hab. inż. Sylwia Fudala-Książek, prof. PG



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Tel.: +48 58 347 22 05
Fax: +48 58 347 20 44
e-mail: biurowyd@pg.edu.pl
www.wilis.pg.edu.pl