

Gdańsk, 20 maj 2019

Prof. dr hab. inż. Hanna Obarska-Pempkowiak, prof. zw. PG
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. **Radosława Marcina Żyłki** pt. „Modelowanie i optymalizacja zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków mleczarskich”

1. Podstawa formalna recenzji

Formalną podstawą recenzji jest pismo nr WBiLŚ-200.4030392019 z dn. 19 kwietnia 2019 r. Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej prof. dr hab. inż. Michała Bołtryka, prof. zw. PB informujące mnie, że zostałam powołana na recenzentkę rozprawy doktorskiej mgr inż. Radosława Marcina Żyłki.

2. Umieszczenie tematyki badawczej

Temat rozprawy doktorskiej został trafnie wybrany. Wpisuje się w najnowsze trendy badań w obszarze dotychczasowej dyscypliny *inżynieria środowiska*, a tym bardziej w dyscyplinie *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka* obowiązującej wg nowej kwalifikacji. Rozwój wysokoefektywnych technologii oczyszczania ścieków jest nierozłącznie związany ze wzrostem zużycia energii elektrycznej, która w Polsce, aż w 80% pochodzi ze spalania paliw kopalnych. Wysokoefektywne technologie spełniają obowiązujące wymogi odnośnie usuwania zanieczyszczeń, jednak zwykle odbywa się to kosztem dodatkowego zużycia energii. Sprawa jest istotna bowiem efektywność energetyczna rozmaitych technologii, w tym technologii z zakresu inżynierii środowiska jest istotnym kryterium ich oceny. Dotychczas nie została opracowana jednolita procedura określania *efektywności energetycznej oczyszczalni ścieków*, definiowanej jako iloraz uzyskiwanych wyników efektywności oczyszczania do wkładu użytkowej energii. Wyznaczenie efektywności energetycznej oczyszczalni ścieków jest związane z wykorzystaniem systemów, które umożliwiają monitorowanie nie tylko jakości oczyszczanych ścieków, lecz również monitorowanie parametrów procesowych oraz zużycia energii elektrycznej. Takie podejście powinno obowiązywać w najnowszych i najnowocześniejszych oczyszczalniach ścieków komunalnych, a tym bardziej ścieków przemysłowych, wymagających usuwania znacznych ładunków materii organicznej. Jednak dotychczas efektywność energetyczna jako kryterium oceny technologii oczyszczania jest rzadko spotykana w oczyszczalniach komunalnych. Zatem temat pracy doktorskiej dotyczący energochłonności procesów oczyszczania ścieków mleczarskich w zależności od efektywności oczyszczania oraz wykazanie potrzeby wykorzystania wyników badań w celu

optymalizacji zużycia energii elektrycznej należy uznać nie tylko za aktualny, ale również innowacyjny.

Celem pracy było uzyskanie bazy wyników zawierających informację o usuwanych ładunkach zanieczyszczeń oraz zużycia energii elektrycznej w procesach jednostkowych. Stworzona baza danych stanowiła podstawę do przeprowadzenia modelowania matematycznego, związanego z symulacją komputerową zmienności zapotrzebowania energetycznego oczyszczalni w zależności od wybranych parametrów wejściowych. Podjęty temat ma nie tylko znaczenie poznawcze, ale również użytkowe, ponieważ może zostać wykorzystane jako skuteczne narzędzie w racjonalnym wykorzystaniu energii przez operatorów ścieków mleczarskich. Jest to pierwszy krok w kierunku optymalizacji procesów usuwania zanieczyszczeń przy zachowaniu wymaganego efektu ekologicznego oraz obniżeniu kosztów funkcjonowania oczyszczalni.

3. Ocena pracy

Oceniana rozprawa doktorska ma formę opracowanego maszynopisu liczącego 187 stron i zawierającego 347 pozycji cytowanego piśmiennictwa w tym 4 strony adresów internetowych, 55 rysunków (w tekście) i 3 rysunki diagnostyczne (w załączniku), 3 tabele w tekście i 8 tabel w załączniku, a także 11 wyciągów ze środowiska statystycznego. W rozprawie znajduje się streszczenie w języku polskim i angielskim. Cennym elementem rozprawy jest znajdujący się na początku „Wykaz ważnych oznaczeń”. Praca została podzielona na 8 rozdziałów, kolejno: *Wprowadzenie* (1), *Podstawy teoretyczne* (2), *Cel* (3), *Teza i zakres badań* (4), *Koncepcja badań* (5), *Wyniki badań* (6), *Dyskusja wyników badań* (7) oraz *Wnioski* (8). Na stronach 181-184 znajduje się *Spis rysunków* a na stronie 185 *Spis wspomnianych wyciągów* zaś na stronie 186 *Spis wyciągów*. Strukturę pracy uważam za kompletną, zaś podział na poszczególne rozdziały jest logiczny.

W rozdziale *Podstawy teoretyczne*, liczącym 35 stron Doktorant dokonał przeglądu literatury dotyczącego charakterystyki ścieków mleczarskich, stosowanych metod i urządzeń w procesach ich oczyszczania, a także zużycia energii nie tylko w zakładach przetwórstwa mleczarskiego, ale także w komunalnych oczyszczalniach ścieków z uwzględnieniem przeróbki osadów ściekowych. Doktorant przeanalizował powszechnie stosowane wskaźniki jednostkowego zużycia energii elektrycznej w odniesieniu do ścieków i przetwarzanych osadów ściekowych. *Przegląd teoretyczny* stanowi wartościową część pracy. Przeanalizowano tutaj nie tylko pozycje krajowe (56 pozycji), lecz co najważniejsze - również pozycje napisane w językach obcych (181) (z dominacją publikacji anglojęzycznych). Świadczy to o znakomitym teoretycznym opanowaniu tematyki badań przez Doktoranta. Przegląd zagadnień teoretycznych stanowi wartościową część pracy. Został trafnie skomponowany i w sposób przejrzysty udokumentowano w nim omawiane zagadnienia.

Kandydat przyjął ambitny cel badań, dotyczący określenia zależności pomiędzy zużyciem energii elektrycznej a efektywnością jednostkowych procesów oczyszczania ścieków mleczarskich z uwzględnieniem zmian ilości i jakości ścieków, ilości wytwarzanych osadów ściekowych oraz efektu oczyszczania ścieków.

Realizacja celu badań wiązała się z udowodnieniem przyjętej tezy badań tj.:

Wykazanie, że jest możliwa optymalizacja zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków mleczarskich na podstawie oceny jej zużycia w poszczególnych procesach jednostkowych oraz efektywności tych procesów.

Udowodnienie przyjętej tezy wymagało:

- przeprowadzenia badań energochłonności procesów jednostkowych w wybranej oczyszczalni ścieków,
- określenie zmian jakości oczyszczanych ścieków,
- wyznaczenie jednostkowych współczynników energochłonności,
- przeprowadzenie modelowania matematycznego uzyskanych zbiorów danych,
- stworzenia aplikacji symulującej energochłonność analizowanej oczyszczalni ścieków

Badania prowadzono w oczyszczalni ścieków mleczarskich z mleczarni w Bielsku Podlaskim o zdolności produkcyjnej mleka wynoszącej 1,5 mln dm³/dobę. Ścieki po oczyszczeniu wstępnym realizowanym w sicie i w piaskowniku są oczyszczane w procesie fizyczno-chemicznym we flotatorze ciśnieniowym a następnie w dwóch biologicznych reaktorach sekwencyjnych SBR. Próbkę ścieków pobierano w trzech punktach: przed i po flotatorze oraz po biologicznym oczyszczaniu. Sposób poboru próbek do analiz, ich uśredniania oraz przyjęta procedura badań nie budzi zastrzeżeń. Oczyszczalnia zdaniem Doktoranta, jako jedyna tego typu w Polsce, jest wyposażona w system pomiaru zużycia energii elektrycznej. Opomiarowanie stopnia biologicznego oczyszczania umożliwiło Doktorantowi wybór 32 punktów pomiarowych usytuowanych na urządzeniach technologicznych i armaturze, które mają istotny wpływ na energochłonność procesów oczyszczania i przeróbkę osadów. Zainstalowano system złożony z 32 oddzielnych obwodów pomiarowych monitorujących w trakcie badań parametry związane z poborem energii elektrycznej. Przyjęta procedura badań została w sposób wyczerpujący opisana i zilustrowana. Zaprezentowane podejście umożliwiło z kolei wyznaczenie jednostkowych współczynników energochłonności w odniesieniu do przepływu ścieków lub osadów i do usuwanych ładunków zanieczyszczeń oraz do obsługiwanej liczby mieszkańców równoważnych. Na podstawie ich analizy Doktorant dokonał wyboru wskaźników charakteryzujących się łatwością interpretacji z uwzględnieniem możliwości porównania różnych systemów. Najbardziej interesujący, a równocześnie najściślej powiązany z tematyką badań jest wybór miarodajnego współczynnika jednostkowej energochłonności odniesiony do dowolnego ładunku materii organicznej oraz związków azotu i fosforu, których usuwanie stanowi główny element zużycia energii elektrycznej, w części biologicznej.

Uzyskane wyniki pomiarów zostały poddane analizie statystycznej uwzględniającej metody regresji oraz właściwe procedury testowania. Na podstawie uzyskanych wyników badań Doktorant wyznaczył strukturę zużycia energii elektrycznej, słusznie przyjmując podział na kryteria: technologiczne (procesowe) i techniczne (uwzględniające udział urządzeń) oraz pozostałe (uwzględniające ilość energii zużytej na potrzeby socjalne, oświetleniowe i aparaturę pomiarową). Następnie przeprowadzono optymalizację zużycia energii elektrycznej na podstawie analizy jej wykorzystania w poszczególnych procesach jednostkowych oraz ocenę efektywności tych procesów. Zbiór danych poddanych modelowaniu składał się z 95 serii pomiarowych.

Zastosowane metody badań oraz przyjęty sposób modelowania zostały właściwie dobrane. Umożliwiają też kompleksową ocenę i nie budzą zastrzeżeń pod względem

merytorycznym. Na podstawie przeprowadzonych badań opracowano modele matematyczne opisujące zmienność całkowitego zużycia energii elektrycznej przez oczyszczalnie ścieków, a także w procesie biologicznego oczyszczania ścieków i w procesie flotacji ciśnieniowej. Podjęto również próbę modelowania zużycia energii na potrzeby przeróbki osadów. Jako zmienną niezależną wybrano dobową ilość osadów poddawanych odwadnianiu. Jednak na podstawie analizy jakości danych, wykazano że za pomocą strumienia osadów nadmiernych nie można opisać zmienności zużycia energii elektrycznej na potrzeby gospodarki osadowej, ponieważ potwierdzono brak korelacji obydwu zmiennych.

Uzyskane wyniki badań potwierdziły, że głównym wskaźnikiem determinującym zużycie energii elektrycznej jest ładunek materii organicznej wyrażonej w ChZT. Doktorantowi udało się powiązać wpływ temperatury powietrza, który powodujące wzrost oddziaływania ładunku ChZT na całkowite zużycie energii elektrycznej podczas oczyszczania ścieków mleczarskich. Z tego powodu chciałabym, żeby Doktorant wyraził swoją opinię na temat przyczyn wzrostu ładunku materii organicznej wyrażonej w ChZT doprowadzonej do stopnia biologicznego w sezonie letnim i innych okresach charakteryzujących się podwyższoną temperaturą zewnętrzną.

Najważniejszym osiągnięciem pracy było wykazanie, że zużywana energia w procesach biologicznych stanowi 54,1% całkowitego zużycia energii elektrycznej oraz wykazanie, że traktując ten parametr jako zmienną niezależną w połączeniu z temperaturą powietrza można opisać w 91% czynniki warunkujące całkowite zużycie energii elektrycznej.

Uzyskane rezultaty stały się inspiracją do stworzenia aplikacji do symulacji zużycia energii elektrycznej. Podstawę aplikacji stanowią modele zużycia energii elektrycznej uzyskane w badaniach. Na podstawie zadanych parametrów wejściowych aplikacja dokonuje obliczeń ładunku ChZT po procesie flotacji. Wartość tę można korygować w odniesieniu do aktualnych parametrów technologicznych procesu. Po wykonaniu przez program obliczeń otrzymuje się zużycie energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków oraz w procesach oczyszczania biologicznego i flotacji ciśnieniowej. Dodatkowo, aplikacja oblicza udział procentowy flotacji ciśnieniowej i procesów biologicznych w całkowitym zużyciu energii elektrycznej. W ten sposób zostało stworzone bardzo wygodne i nowoczesne narzędzie dla operatorów mleczarskich oczyszczalni ścieków, umożliwiające optymalizację zużycia energii uwzględniające efektywność procesów jednostkowych oraz zmiany ilości i składu ścieków oraz wymaganego końcowego efektu oczyszczania ścieków.

4. Uwagi dotyczące pracy

Pan mgr inż. Radosław M. Żyłka jest autorem rozprawy, która odpowiada obowiązującym standardom. Jednak nie ustrzegł się pewnych błędów, które można skorygować przed opublikowaniem pracy, ale rozwiązaniem lepszym byłoby oczywiście ich wyeliminowanie na „*etapie redakcji rozprawy*”. M. in.:

- zamiast mówić „o parametrach” ścieków i podawać ich charakterystykę, znacznie bardziej poprawnie należy używać sformułowania „właściwości” ścieków, zamiast „zawartość tłuszczu” powinno być „zawartość tłuszczów”
- zamiast „związki organiczne” w inżynierii środowiska stosuje się określenie: „materia organiczna”

- w tabelach „podaje się” a na rysunkach „przedstawia się” wyniki badań
- zamiast „ilość związków organicznych wyrażonych w ChZT i BZT₅ powinno być „stężenie materii organicznej”.

5. Walory poznawcze pracy

Za istotne dokonania rozprawy uważam:

- wykazanie, że podstawową właściwością ścieków determinującą zużycie energii w oczyszczalni ścieków mleczarskich jest stężenie materii organicznej wyrażonej w ChZT,
- wykazanie również istotnego wpływu temperatury powietrza, zwiększającego oddziaływanie ładunku ChZT na całkowite zużycie energii elektrycznej,
- wykazanie, że jest możliwe opracowanie modeli matematycznych, które umożliwiają przeprowadzenie optymalizacji energii elektrycznej podczas oczyszczania ścieków mleczarskich,
- wykazanie na podstawie modelu opisującego całkowite zużycie energii elektrycznej, że w okresach podwyższonej temperatury powietrza, następuje wzrost ładunku materii,
- sformułowanie utylitarnego wniosku w postaci zalecenia, że wzrost efektywności usuwania materii organicznej w procesie flotacji DAF, przyczyni się do obniżenia całkowitej energochłonności oczyszczalni,
- wykazanie na podstawie analizy statystycznej, że zużycie energii elektrycznej w procesie flotacji ciśnieniowej DAF nie jest parametrem umożliwiającym określenie energochłonności oczyszczalni ścieków,
- doprowadzenie do powstania aplikacji do symulacji zużycia energii elektrycznej dla mleczarskich oczyszczalni ścieków.

6. Wniosek końcowy

Podane nieliczne zastrzeżenia i uwagi nie wpływają na bardzo pozytywny odbiór całokształtu rozprawy.

Podsumowując moją recenzję stwierdzam, że oceniana rozprawa mgr inż. Radosława Marcina Żyłki spełnia wymagania ustawy art. 30 z dn. 14 marca 2003 roku stawiane rozprawom doktorskim. Wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Biorąc pod uwagę zakres pracy i udowodnienie ambitnej i innowacyjnej tezy wnoszę o wyróżnienie pracy mgr inż. Radosława M. Żyłki.

J. Ołarska