

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Radosława Żyłki
pt.: „Modelowanie i optymalizacja zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków
mleczarskich”

1. Podstawy formalne sporządzenia recenzji

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Radosława Żyłki przygotowana została na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej, Pana prof. dr hab. inż. Michała Bołtryka (pismo WBiIS-200.403040.2019 z dnia 19.04.2019 r.), na podstawie przedłożonego maszynopisu pracy - mgr inż. Radosława Żyłka, Modelowanie i optymalizacja zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków mleczarskich, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, Białystok 2019.

2. Ocena trafności wyboru tematyki pracy

Produkcja mleka i przetworów mlecznych stanowi około 20% globalnej wartości produkcji rolniczej i około 30% towarowej produkcji zwierzęcej. W Polsce rocznie produkuje się średnio ponad 11,5 milionów litrów mleka. Przemysł mleczarski, ze względu na zróżnicowany zakres produkowanych wyrobów, jest jedną z najbardziej energochłonnych gałęzi przetwórstwa spożywczego. Na wysoką energochłonność procesów wpływają przede wszystkim procesy chłodzenia i podgrzewania stosowane w zależności od profilu produkcyjnego przedsiębiorstwa.

Przemysł mleczarski charakteryzuje się wysokim zapotrzebowaniem na wodę, a przerób tego surowca prowadzi do powstawania znacznych ilości ścieków. Zakłady

produkcyjne zobowiązane są do oczyszczania ścieków i minimalizowania niekorzystnego ich wpływu na środowisko. Oczyszczanie ścieków z przemysłu spożywczego wiąże się z dużymi nakładami energetycznymi, co w konsekwencji wpływa na wzrost kosztów ponoszonych przez zakłady mleczarskie. W oczyszczalniach ścieków opartych o tlenowe metody oczyszczania, koszty napowietrzania ścieków decydują w największym stopniu o całkowitych kosztach eksploatacyjnych oczyszczalni.

Efektywność wykorzystania energii w gospodarce stanowi istotny czynnik wpływający na wysokość kosztów produkcji, zyski przedsiębiorstw, konkurencyjność produktów oraz na społeczne koszty utrzymania i poziom życia obywateli. W konsekwencji nieefektywnego zużycia energii obserwuje się wysokie zużycie nieodnawialnych zasobów surowców energetycznych oraz problemy z zanieczyszczeniem środowiska naturalnego. Unia Europejska dąży do zdecydowania do poprawy efektywności wykorzystania energii, a w przyjętym pakiecie klimatyczno-energetycznym przewiduje się co najmniej 27% poprawę efektywności energetycznej do 2030 r. W Polsce potencjał oszczędności energii jest wciąż duży i możliwy do wykorzystania przy zaangażowaniu mniejszych środków niż jest to konieczne w innych rozwiniętych krajach.

W tym kontekście tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Radosława Żyłki wpisuje się w nurt badań dotyczących sposobów zmniejszenia zużycia energii elektrycznej i jej racjonalnego wykorzystania w procesach oczyszczania ścieków na przykładzie unieszkodliwiania ścieków mleczarskich. W mojej ocenie problematyka pracy jest aktualna i istotna z punktu widzenia inżynierii środowiska.

3. Ocena struktury pracy

Recenzowana praca doktorska liczy 187 stron i zawiera 55 rysunków, 11 tabel, w tym osiem jako załącznik 1, 11 listingów – załącznik 2, 3 rysunki diagnostyczne – załącznik 3, bibliografię obejmującą 237 pozycji literaturowych, głównie anglojęzycznych. Dysertację rozpoczyna spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń, streszczenie w języku polskim i angielskim. We wprowadzeniu Doktorant wyjaśnia przyczyny podjęcia badań będących tematem niniejszej rozprawy a także przybliża treść rozprawy. W kolejnym rozdziale obszernie omawia istniejący stan wiedzy na temat charakterystyki ścieków mleczarskich, metod i urządzeń stosowanych w oczyszczalniach ścieków mleczarskich, zużycia energii elektrycznej w zakładach przetwórstwa mleczarskiego w tym w procesach oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych. Następna część pracy obejmuje cel, tezę i zakres pracy, koncepcję badań, wyniki badań, ich dyskusję oraz podsumowanie. Pracę zamyka spis

literatury, załączniki oraz spis rysunków, tabel i listingów.

Praca składa się z ośmiu rozdziałów. Moim zdaniem przyjęta struktura pracy jest czytelna oraz kompletna.

Rozdział 1 – *Wprowadzenie* – to prawie czterostronicowe wyjaśnienie powodów podjęcia tematu pracy oraz próba zwrócenia uwagi na znaczenie problemu energochłonności procesów oczyszczania ścieków mleczarskich.

Rozdział 2 – *Podstawy teoretyczne* – składa się z czterech podrozdziałów i jest teoretycznym wprowadzeniem do przedmiotu pracy, obejmującym 36 strony (co stanowi około 19 % objętości pracy). Pierwszy podrozdział dotyczy charakterystyki ścieków mleczarskich. Uważam, że niepotrzebnie wyodrębniono w tym podrozdziale paragraf 2.1.1. Podział na rozdziały, podrozdziały, paragrafy itp. ma sens wtedy, gdy są co najmniej dwa rozdziały, podrozdziały itd., a nie jeden paragraf jak w omawianej pracy. W podrozdziale drugim zostały omówione metody do oczyszczania ścieków mleczarskich, z podziałem na mechaniczne, fizykochemiczne, biologiczne i membranowe. Poza tym zostały scharakteryzowane alternatywne metody oczyszczania ścieków takie jak: systemy hydrofitowe czy wykorzystanie ścieków mleczarskich do hodowli alg. W podrozdziale trzecim Doktorant scharakteryzował zużycie energii elektrycznej w zakładach przetwórstwa mleczarskiego, a w czwartym zużycie energii elektrycznej w procesach oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych. W podrozdziale tym Pan mgr inż. Żyłka szczegółowo omówił wskaźniki zużycia energii elektrycznej oraz czynniki wpływające na efektywność energetyczną oczyszczalni.

W rozdziale 3 – *Cel, teza i zakres badań* – Doktorant określił cel naukowy i trzy cele użytkowe oraz zdefiniował następującą tezę:

„Mozliwa jest optymalizacja zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków mleczarskich w oparciu o analizę jej wykorzystania w poszczególnych procesach jednostkowych oraz ocenę efektywności tych procesów.”

W rozdziale 4 – *Koncepcja badań* – w sposób szczegółowy opisano obiekt badań, czyli scharakteryzowano zakład produkcyjny S.M. Bielmlek, technologię oczyszczania ścieków w zakładowej oczyszczalni oraz ilość i skład dopływających do niej ścieków. W podrozdziale 4.2 *Metodyka badań* opisano procedury pomiarowe związane ze zużyciem energii elektrycznej, metodykę wyznaczania jednostkowych współczynników energochłonności oraz metody analityczne, obliczeniowe i statystyczne wykorzystane w pracy. W kolejnym podrozdziale omówiono zakres badań analitycznych ścieków i osadów ściekowych.

Obszerną część pracy (około 19% jej objętości) stanowi rozdział 5 – *Wyniki badań*, w

którym przedstawiono wartości wskaźników energochłonności wyliczone dla procesów jednostkowych (flotacji ciśnieniowej i oczyszczania biologicznego) oraz całej oczyszczalni. Wskaźniki te odniesiono do natężenia przepływu (ścieków lub osadów), usuwanego ładunku zanieczyszczeń (związków organicznych wyrażonych BZT₅ i ChZT oraz azotu ogólnego i fosforu ogólnego). Poza tym Doktorant opracował strukturę zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków oraz w odniesieniu do całkowitego zużycia energii przez zakład produkcyjny S.M. Bielmlek. W dalszej części zostało opisane modelowanie zużycia energii elektrycznej w procesie biologicznego oczyszczania ścieków, flotacji ciśnieniowej, przeróbki osadów ściekowych oraz całkowitego zużycia energii elektrycznej przez oczyszczalnię ścieków.

Dyskusję wyników badań przedstawiono w rozdziale 6, liczącym 15 stron. Merytoryczną część rozprawy zamyka rozdział *Wnioski*.

Pracę kończy rozdział *Literatura* obejmujący 237 pozycji, przede wszystkim anglojęzycznych, przedstawionych w porządku alfabetycznym (193 pochodzi z ostatniego dziesięciolecia), *Załączniki* oraz *Spis rysunków*, *Spis tabel*, *Spis listingów* i *Spis rysunków diagnostycznych* (niewykazany w spisie treści) bez podania numeracji stron, na których się znajdują.

4. Ocena merytoryczna

Przedmiotem badań, będących podstawą do przygotowania rozprawy doktorskiej mgr inż. Radosława Żyłki, było opracowanie modeli zużycia energii elektrycznej w procesie oczyszczania ścieków mleczarskich i przeróbki osadów ściekowych oraz przygotowanie aplikacji symulującej energochłonność oczyszczalni ścieków. Doktorant podjął próbę określenia zależności pomiędzy zużyciem energii elektrycznej, a efektywnością procesów jednostkowych oczyszczania ścieków mleczarskich uwzględniając zmiany ilościowe i jakościowe ścieków i osadów ściekowych oraz wymagany efekt oczyszczania ścieków. W tym celu wybrał i opomiarował łącznie 32 urządzenia technologiczne i elementy armatury, które mają najbardziej istotny wpływ na energochłonność procesów oczyszczania ścieków i przeróbki osadów. By określić ładunki usuwanych zanieczyszczeń, próbki ścieków poddawano analizom fizykochemicznym, które obejmowały oznaczenie stężenia azotu ogólnego, fosforu ogólnego, związków organicznych wyrażonych ChZT i BZT₅. Badania osadów ściekowych ograniczone zostały do ich charakterystyki ilościowej.

Wnioskowanie statystyczne zostało przeprowadzone w oparciu o metody regresji. Modelowanie całkowitego zużycia energii, zużycia energii elektrycznej w procesie oczyszczania biologicznego i procesie flotacji ciśnieniowej wykonano wykorzystując metodę regresji liniowej najmniejszych kwadratów. Poza tym przeprowadzono jakościową analizę obciążeń ładun-

kami zanieczyszczeń w procesie oczyszczania biologicznego i procesie flotacji ciśnieniowej z zastosowaniem metody regresji kwantylowej i regresji kwantylowej i segmentowej,

Wysoko oceniam wybór przedmiotu badań, kompleksowe podejście do problemu zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków mleczarskich oraz sposób oceny uzyskanych efektów. Należy podkreślić, że tytuł pracy, jej cele oraz hipoteza badawcza zostały trafnie sformułowane, a przyjęty zakres umożliwił realizację wskazanego przez Autora celu.

Przegląd literatury stanowi logiczne wprowadzenie do zagadnień, będących przedmiotem pracy. Może zbyt rozbudowany jest podrozdział 2.2 *Metody i urządzenia stosowane w oczyszczalniach ścieków mleczarskich*

W *Koncepcji badań* bardzo szczegółowo opisano sposób prowadzenia badań, obiekt badań, zastosowane metody analityczne i obliczeniowe, w tym statystyczne. Dobór metod badawczych, analitycznych i statystycznych oceniam jako właściwy i wystarczający do realizacji celów pracy.

Uzyskane wyniki wskazują, że konieczne jest stosowanie opomiarowania zużycia energii elektrycznej w czasie rzeczywistym podczas oczyszczania ścieków. Autor rozprawy stwierdził, że głównym czynnikiem wpływającym na wielkość zużycia energii elektrycznej jest ładunek substancji organicznych wyrażonych ChZT. Poza tym wykazał istotny wpływ temperatury powietrza na całkowite zużycie energii elektrycznej w procesie oczyszczania ścieków mleczarskich. Stwierdził, że pomimo iż energia zużywana w procesach biologicznych stanowi 54,1% całkowitego zużycia energii elektrycznej w badanej oczyszczalni ścieków, to przyjmując ten parametr jako zmienną niezależną, w połączeniu z temperaturą zewnętrzną, można w 91% opisać zmienność całkowitego zużycia energii elektrycznej. Opracowane przez Doktoranta modele matematyczne umożliwiają podejmowanie prób optymalizacji zużycia energii elektrycznej w procesie oczyszczania ścieków mleczarskich. Autor wykazał, w oparciu o model opisujący całkowite zużycie energii elektrycznej, że w okresach podwyższonej temperatury powietrza, wzrost ładunku związków organicznych wyrażonych jako ChZT doprowadzającego do stopnia biologicznego wpływa na znaczne zwiększenie zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków. I w związku z tym zaleca w okresie letnim zwiększenie efektywności usuwania zanieczyszczeń organicznych w procesie flotacji, co wpłynie na obniżenie całkowitej energochłonności oczyszczalni.

Dyskusja zaprezentowana przez Doktoranta jest poprawna i poparta argumentami bazującymi na wynikach prezentowanych w literaturze przedmiotu. *Wnioski* zawierają wykaz najistotniejszych osiągnięć pracy.

Za najważniejsze uważam stworzenie, w oparciu o opracowane w pracy modele

zużycia energii elektrycznej, aplikacji do symulacji zużycia energii elektrycznej. Na podstawie zadanych parametrów wejściowych (stężenia związków organicznych wyrażonych ChZT w ściekach surowych, natężenia przepływu ścieków oraz temperatury powietrza) można obliczyć zużycie energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków oraz w procesach oczyszczania biologicznego i flotacji ciśnieniowej. Poza tym aplikacja umożliwia obliczenie procentowego udziału flotacji ciśnieniowej i procesów biologicznych w całkowitym zużyciu energii elektrycznej.

Równolegle z pozytywną oceną pracy nasuwają się pytania:

Jednym z celów utylitarnych jest *optymalizacja* i zmniejszenie zużycia energii elektrycznej w procesie oczyszczania ścieków mleczarskich i przeróbki osadów ściekowych. Optymalizacja oznacza znalezienie optymalnego, najlepszego rozwiązania, czyli w tym przypadku takiego, które zagwarantuje najmniejsze zużycie energii elektrycznej w oczyszczalni. Czy można powiedzieć, że zmiana jedynie ładunku doprowadzanych związków organicznych wyrażonych ChZT wystarczy do optymalnego zmniejszenia zużycia energii elektrycznej? Czy może trzeba wziąć jeszcze pod uwagę inne czynniki, które pozwolą na optymalizację zużycia energii elektrycznej?

Podsumowując ocenę merytoryczną pracy stwierdzam, że uwagi przedstawione powyżej nie wpływają na ogólną, pozytywną opinię rozprawy doktorskiej mgr inż. Radosława Żyłki. Dysertacja zawiera obszerny materiał eksperymentalny, uporządkowany i zaprezentowany w sposób zrozumiały. Należy podkreślić duży nakład pracy i czasu związany z przeprowadzeniem badań, a także ich aplikacyjny charakter.

5. Uwagi szczegółowe

Praca jest dość starannie przygotowana pod względem redakcyjnym, jednak Autor nie ustrzegł się pewnych błędów. Występują błędy literowe oraz błędy ortograficzne: „niestwarzającym” – streszczenie, „nieznajdujące” – strona 14, „niestosujące,, – strona 47, „niepodlegające” – strona 54, „niewpływający,, – strona 55, „nieujętych,, – strona 106, 107 i 110; „nie” z imiesłowami przymiotnikowymi czynnymi i biernymi pisze się razem, w pracy jest oddzielnie; w wyrażeniu: „województwo podlaskie” zgodnie z obowiązującymi zasadami ortograficznymi oba wyrazy piszemy małą literą – strona 105, ale już „Ameryka Północna” oba wyrazy piszemy wielką literą – strona 48. Liczba błędów interpunkcyjnych jest znaczna – nagminne niestawianie przecinka przed „co” w zdaniach złożonych. Poza tym, jeśli

wskazujemy między rzeczami podobieństwa oraz różnice, to *porównujemy coś z czymś*. Jeśli natomiast pokazujemy podobieństwa między rzeczami, to *porównujemy coś do czegoś*. Dlatego według mnie na stronie 18, 46, 48, 104, powinno być użyte sformułowanie „*porównanie coś z czymś*” zamiast „*porównanie coś do czegoś*”. Jeżeli powołujemy się na wieloautorską pozycję literaturową, to powinniśmy używać czasowników w liczbie mnogiej np.: „Bhuyar i in. (2015) uzyskali”, a nie „uzyskał” (strona 35, 40).

Za niefortunne uważam użycie wyrażenia „znacznej eliminacji bakterii” (strona 39), ponieważ słowo *eliminacja* oznacza usunięcie „do zera” oraz wyrażen: „przebieg wskaźnika w przypadku procesów...” – strona 110 czy „przebieg wartości miesięcznego przepływu...” – strona 112. Pewną nieścisłością jest używanie nazwy podchloryn sodu. Zgodnie z wytycznymi Polskiego Towarzystwa Chemicznego zalecane jest stosowanie nomenklatury chemicznej według systemu Stocka, czyli zamiast podchlorynu sodu powinno być chloran(I) sodu (str. 23). Poza tym nie powinno się pisać „podstawowe parametry ścieków mleczarskich” (tytuł paragrafu 2.2.1) a podstawowe wskaźniki zanieczyszczeń ścieków mleczarskich.

Moim zdaniem czytelność rysunków 11 – 22 i 29 – 34 byłaby większa, gdyby były na nich umieszczone legendy z objaśnieniami, co oznacza ramka, wąsy itp. Poza tym na końcu tytułów rysunków, tak jak i tytułów tabel, nie stawia się kropek.

Pozostałe uwagi:

- zamiast „oczyszczania substancji biogenych” powinno być – usuwania substancji biogenych – strona 29,
- zamiast „ilość substancji organicznych” powinno być stężenie substancji organicznych – rysunek 9,
- wyrażenie „zawiesiny ogólnej” powinno być zastąpione terminem zawiesin ogólnych – strona 39
- zamiast fizyko-chemiczne powinno być fizykochemiczne (strona 56 i 107)

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi wartościowe opracowanie naukowe, a wyniki badań w sposób znaczący poszerzają stan wiedzy dotyczącej modelowania zużycia energii elektrycznej w procesach oczyszczania ścieków mleczarskich.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Radosława Żyłki pt.: „Modelowanie i optymalizacja zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków mleczarskich” spełnia kryteria określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i

tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz.U. 2014 poz. 1852) dla kandydatów ubiegających się o nadanie stopnia naukowego doktora, zgodnie z art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669). Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a Doktorant wykazał się wiedzą teoretyczną w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej (art. 13 ust. 1 Dz.U. 2014 poz. 1852).

Wnioskuje zatem do Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej *o dopuszczenie mgr inż. Radosława Żyłki do dalszych etapów postępowania kwalifikacyjnego o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.*



dr hab. inż. Joanna Rodziewicz, prof. UWM