

dr hab.inż. Monika Żubrowska-Sudoł, prof. uczelni
Politechnika Warszawska
Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki
i Inżynierii Środowiska

Warszawa, 14.12.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Natalii Gemzy
pt. „**Modelowanie procesu osadu czynnego
w kontekście oczyszczania ścieków pogody deszczowej**”

Promotor: dr hab. inż. Ryszard Szetela

1. Przedmiot recenzji i podstawa jej opracowania

Recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej pt. „Modelowanie procesu osadu czynnego w kontekście oczyszczania ścieków pogody deszczowej”, wykonanej przez Panią mgr. inż. Natalię Gemza w Katedrze Inżynierii i Ochrony Środowiska na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechnik Wrocławskiej. Praca obejmuje 176 stron tekstu, zawiera 40 tabel oraz 137 rysunków. Uzupełnienie rozprawy stanowią streszczenie w języku polskim i angielskim, spis najważniejszych symboli i skrótów wykorzystanych w pracy, spisy zamieszczonych w tekście tabel oraz rysunków, wykaz literatury oraz załącznik.

Podstawą do przygotowania recenzji było pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Wrocławskiej Profesora dr hab. inż. Roberta Króla z dnia 11.10.2024 (RDND08/42/2024) wraz z towarzyszącymi mu dokumentami.

2. Charakterystyka i ocena rozprawy

2.1. Ocena zasadności podjęcia tematu

W ostatnich latach jednym z istotnych wyzwań przed jakimi stoją oczyszczalnie ścieków komunalnych jest zarządzanie wodami opadowymi oraz adaptacja do zmian klimatu. Większa intensywność opadów atmosferycznych oraz wzrost częstotliwości ich występowania

zwiększają ryzyko zadziałania przelewów burzowych i przeciążenia hydraulicznego oczyszczalni ścieków, stanowiącej końcowy element systemu kanalizacyjnego.

Przelewy wód burzowych zostały zidentyfikowane jako jeden z trzech głównych źródeł pozostałego ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do środowiska, co sprawiło, że aspekt ten został ujęty w znowelizowanej Dyrektywie Ściekowej. Nowe przepisy narzucają obowiązek sporządzania zintegrowanego planu zarządzania ściekami komunalnymi dla wszystkich aglomeracji powyżej 150 000 RLM, który między innymi ma na celu ograniczenie zanieczyszczenia środowiska powodowanego przelewami burzowymi. Należy przy tym zwrócić uwagę, że ograniczenie zrzutów burzowych skutkuje wzrostem ilości ścieków i ładunków zanieczyszczeń doprowadzanych do oczyszczalni, co może wpłynąć negatywnie na przebieg i efektywność jednostkowych procesów usuwania zanieczyszczeń i w konsekwencji doprowadzić do niespełnienia wymagań stawianych ściekom oczyszczonym odprowadzanym do odbiornika. W tym kontekście istotne jest prowadzenie prac badawczych, których przedmiotem jest określenie możliwości implementacji modeli matematycznych w celu predykcji odpowiedzi oczyszczalni ścieków na gwałtowną zmianę dopływającego strumienia oraz określenia bezpiecznego zwiększenia przepustowości układu biologicznego oczyszczania ścieków. Takiego zadania podjęła się Doktorantka, formułując jako główny cel pracy „rozpoznanie możliwości i zakresu optymalizacji technologicznej pracy układu osadu czynnego Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków w warunkach dopływu ścieków mokrej pogody”.

Wybór tematyki rozprawy uznać należy zatem za trafny i wychodzący naprzeciw oczekiwaniom kierowanym pod adresem środowisk naukowych.

Należy również podkreślić użyteczny charakter rozprawy. Uzyskane wyniki posłużą jako ważny element doradczy przy podejmowaniu decyzji operacyjnych i inwestycyjnych Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków. Mogą być również pomocne dla eksploatatorów innych oczyszczalni. Warto przy tym zaznaczyć, że zmieniające się uwarunkowania prawne oraz postępujące zmiany w częstotliwości i intensywności opadów na obszarach miejskich sprawiają, że w oczyszczalniach ścieków coraz częściej pojawiają się problemy z utrzymaniem wymaganego efektu ekologicznego w warunkach przeciążenia hydraulicznego.

Już na tym etapie recenzji chciałabym zaznaczyć, iż w mojej opinii, recenzowana praca jest wzorowym przykładem doktoratu wdrożeniowego. Doktorantka wykorzystwała bowiem badania naukowe do rozwiązania rzeczywistego i aktualnego problemu komunalnych oczyszczalni ścieków.

2.2. Charakterystyka rozprawy

Praca została podzielona na 6 głównych rozdziałów. Rozdział 1. jest wstępem do zasadniczej części pracy, w którym można znaleźć jasno sformułowane uzasadnienie podjętego w dysertacji tematu. W kolejnym rozdziale Doktorantka przedstawiła szeroki przegląd literatury obejmujący: i) analizę wpływu opadów na pracę oczyszczalni ścieków, skupiającą się na węzłach oczyszczania mechanicznego i biologicznego, ii) omówienie procesu sedymentacji osadu czynnego z uwzględnieniem poszczególnych reżimów sedymentacji, czynników wpływających na właściwości sedymentacyjne osadu oraz teoretycznych i empirycznych modeli matematycznych, iii) problematykę doboru funkcji składowych modelu osadnika wtórnego oraz kalibracji ich parametrów.

Pragnę podkreślić, że przeprowadzony przez Doktorantkę przegląd literatury kompleksowo ujmuje wszystkie wątki, które powinny znaleźć się w dysertacji. W logiczny i przejrzysty sposób prowadzi czytelnika do kolejnego rozdziału, w którym Dyplomatka sprecyzowała cel i zakres swojej pracy.

Na wysokim poziomie przygotowana jest również kolejna część dysertacji. Stanowi ją Rozdział 4 poświęcony metodyce badawczej. Doktorantka w pierwszej kolejności omówiła obiekt badawczy, którą stanowiła Wroclawska Oczyszczalnia Ścieków (WOŚ). Następnie przedstawiła procedury wykorzystane do analizy jakości ścieków oraz przeprowadzenia badań kinetycznych, badań właściwości sedymentacyjnych osadu czynnego oraz testów przeciążenia osadnika wtórnego. Ostatni podrozdział dotyczy metodyki analiz symulacyjnych. Doktorantka omówiła w nim modele składowe wykorzystane do budowy oraz parametryzacji modelu matematycznego układu WOŚ. Opis zawiera wszystkie elementy, które pozwoliłyby na powtórzenie przedmiotowych eksperymentów oraz analiz symulacyjnych przez inne zespoły badawcze.

Omówieniu wyników badań własnych poświęcony jest rozdział 5. Składa się on z klarownie wydzielonych pięciu podrozdziałów. Doktorantka rozpoczyna od omówienia wyników badań empirycznych. Rozdział 5.1 prezentuje wyniki wsadowych testów sedymentacji osadu czynnego, które pozwoliły na wnikliwą analizę sezonowej zmienności właściwości sedymentacyjnych oraz weryfikację możliwości estymowania parametrów funkcji sedymentacji na podstawie indeksu osadu. Zakres przedmiotowych testów umożliwił również ocenę wpływu grawimetrycznej selekcji osadu czynnego na efektywność sedymentacji. Kolejny element omówienia wyników odnosi się do analizy ilości i jakości ścieków dopływających do oczyszczalni w przyjętych przez Doktorantkę scenariuszach. Jego efektem było

wytypowanie reprezentatywnych danych wejściowych, niezbędnych do badań symulacyjnych pracy układu oczyszczania WOS. Warty podkreślenia jest przeprowadzenie analizy frakcyjnej związków organicznych oraz związków azotu i fosforu. Na jej podstawie określono udział związków rozpuszczonych, koloidalnych oraz związków występujących w formie zawieszonych, co zostało wykorzystane w modelu ASM. W rozdziale 5.3 przedstawiono wyniki kinetycznych testów porcjowych, które pozwoliły na analizę szybkości procesu nityfikacji oraz procesu uwalniania ortofosforanów, z uwzględnieniem frakcji ciężkiej i lekkiej osadu czynnego.

Logicznym następstwem analizy przeprowadzonej w rozdziałach 5.1, 5.2 i 5.3 są wyniki badań symulacyjnych omówione w rozdziałach 5.4 i 5.5. Doktorantka przedstawiła wyniki kalibracji wybranych trzech modeli osadnika wtórnego wraz z ich walidacją względem danych z testów przeciążenia osadnika. Kalibracja poszczególnych modeli została przeprowadzona na bazie danych uzyskanych w badaniach własnych Doktorantki (testy wsadowe w kolumnie sedymentacyjnej). W ten sposób zweryfikowano, czy model, skalibrowany z wykorzystaniem danych zebranych w warunkach laboratoryjnych lub podczas normalnej pracy obiektu, jest w stanie oddać dynamikę zmian zachodzących w osadniku wtórnym w trakcie gwałtownego zwiększenia obciążenia. Warto przy tym zauważyć, że testy wsadowe na potrzeby kalibracji prowadzono w tym samym tygodniu, w którym przeprowadzano stress-test osadnika wtórnego, co świadczy o przemyślanej koncepcji prowadzenia badań. W analizie uwzględniono następujące modele osadnika wtórnego: model Takacs'a, model Burger'a-Diehl'a (model BD), model Plosz'a (modelu P). Kolejny rozdział (5.5) prezentuje wyniki badań symulacyjnych. Miały one na celu określenie wpływu wybranych strategii sterowania procesem oczyszczania przy napływie strumienia ścieków pogody mokrej na skuteczność oczyszczania ścieków. Doktorantka przeanalizowała trzy strategie sterowania oraz technologię grawimetrycznej selekcji osadu czynnego. Wyniki symulacji odniesiono do tzw. układu referencyjnego, który stanowił układ z przelewem kierującym nadmiarowy strumień ścieków mechanicznie oczyszczonych bezpośrednio do odpływu ścieków oczyszczonych. Jest to układ wykorzystywany obecnie w WOS. Zakres dysertacji obejmował również analizę pracy układu referencyjnego bez przelewu, tzn. z kierowaniem całości strumienia ścieków do bloków biologicznych. Celem tych symulacji było określenie maksymalnej przepustowości, przy której uzyskuje się wymaganą jakość oczyszczonych ścieków. Dla każdego testowanego układu przeprowadzono symulacje przy: i) zimowych oraz letnich właściwościach sedymentacyjnych, ii) różnych wartościach maksymalnego przepływu ścieków oraz iii) różnych parametrach operacyjnych (dla układu step-feed oraz retencji osadu czynnego).

Pracę kończą wnioski, odnoszące się do celu i zakresu dysertacji (Rozdział 6). Zostały one podzielone na dwie grupy - pierwsza dotyczy etapu przygotowania danych do symulacji oraz budowy, walidacji i kalibracji modelu, natomiast druga obejmuje wnioski wyciągnięte na bazie wyników przeprowadzonych symulacji.

Do najważniejszych osiągnięć pracy zaliczam:

- Wykazanie, że grawimetryczna selekcja osadu czynnego pozwala na bezpieczną pracę oczyszczalni ścieków przy przepływach prawie dwukrotnie większych od maksymalnego aktualnie obciążenia układu oczyszczania biologicznego. Autorka jednocześnie wskazała wadę tego rozwiązania, którą jest jej sezonowość, czyli brak utrzymania bardzo korzystnych właściwości sedymentacyjnych w okresie zimowym;
- Wskazanie parametru operacyjnego warunkującego uzyskiwaną jakość ścieków oczyszczonych w układzie step-feed. Na podstawie przeprowadzanych symulacji udokumentowano, że jest nim wielkość strumienia ścieków mechanicznie oczyszczonych, kierowanego bezpośrednio do komory nityfikacji, a nie liczba punktów, w których ścieki są do tej komory wprowadzane.
- Wykazanie, że w układzie z retencją osadu, wcześniejsze rozpoczęcie gromadzenia osadu czynnego w jednym z bloków nie przekłada się na znaczącą poprawę jakości ścieków oczyszczonych. Jakość ta zależy od wielkości strumienia kierowanego do bloku retencyjnego.
- Wytypowanie wskaźników jakości ścieków oczyszczonych, które limitują maksymalny, bezpieczny technologicznie przepływ w WOŚ. Doktorantka wykazała, że w okresie letnim jest nim azot ogólny, a w okresie zimowym azot ogólny i fosfor ogólny.

Kończąc tę część recenzji pragnę podkreślić, że zaimplementowane w ramach niniejszej pracy modyfikacje modelu osadnika wtórnego umożliwiły wykorzystanie jego zaawansowanej postaci w serii symulacji, które pozwoliły Doktorantce określić możliwości zwiększenia bezpiecznej technologicznie przepustowości hydraulicznej Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków.

2.3. Pytania i uwagi do pracy

Rozprawę doktorską cechuje czytelny sposób prezentowania wyników i wyciąganych na ich podstawie wniosków. Jej wnikliwa lektura dała podstawę do sformułowania kilku pytań i uwag o polemicznym charakterze. Nie mają one jednak wpływu na moją końcową ocenę wartości merytorycznej dysertacji:

1. Jak już zaznaczyłam, uważam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Natalii Gemzy posiada bardzo wysoki poziom merytoryczny. Aczkolwiek w dysertacji zabrakło mi sformułowania dalszych kierunków badawczych.
2. Podczas prowadzenia testów porcjowych mających na celu określenie szybkości uwalniania ortofosforanów w próbie zerowej określano między innymi stężenie azotanów. Czy podczas realizacji testów stwierdzono obecność tych związków w osadzie? Jeśli tak, proszę o wyjaśnienie, czy w metodyce testów zakładano, że związki te będą usuwane przed rozpoczęciem testów. Odnosząc się do metodyki testów, proszę również o sprecyzowanie do jakiej wartości korygowano pH (punkt 7., str. 73).
3. Tabela 5.6, str. 101. Czy wartość ChZT/BZT₅ wynosiła 0,54?
4. Tabela 5.7, str. 102. Sugeruję, aby ładunek związków organicznych wyrażać jako kg ChZT/d, kg BZT₅/d.
5. Wyniki przedstawione w tabeli 5.12 oraz na rysunku 5.18 wskazują na stosunkowo wysoki udział fosforu organicznego w fosforze ogólnym w ściekach po mechanicznym oczyszczaniu. Zwraca również uwagę wysoki udział nierozpuszczonej frakcji fosforu organicznego. Na wysoki udział fosforu organicznego w fosforze ogólnym w ściekach po mechanicznym oczyszczaniu wskazują również wyniki zamieszczone w tabeli 4.1 (str. 62). Jakie czynniki mogą mieć wpływ na wysoki poziom stężenia organicznych form fosforu, oprócz wymienionego na stronie 111 („Zwiększenie w sumarycznym strumieniu ścieków surowych udziału ścieków o krótkim czasie przetrzymania w sieci w jednoznaczny sposób przekłada się na zmniejszenie stężenia form nieorganicznych pierwiastków biogenych na korzyść ich form organicznych”).
6. Oceniana praca ma charakter wdrożeniowy. Jak Pani ocenia korzyści jakie osiągnęła WOŚ dzięki wdrożeniu wyników zaprezentowanych w dysertacji.
7. Na rysunkach 5.40 i 5.41 trudno odróżnić kolory wykorzystane do oznaczenia poszczególnych scenariuszy, co utrudnia analizę zaprezentowanych danych.
8. Praca przygotowana jest bardzo starannie pod względem edytorskim. Aczkolwiek można się w niej doszukać kilku błędów o charakterze językowym. Przykładowo: str. 49 „możliwościami poprawy zdolnością osadu”, str. 59 „przestawionym”, str. 139 „dobową zmiennością”.

Jak już wspomniałam przedstawione powyżej uwagi mają charakter wyłącznie dyskusyjny i nie podważają wysokiej wartości naukowej i aplikacyjnej przedstawionej do recenzji pracy.

3. Podsumowanie wartości merytorycznej pracy i wniosek końcowy

Po starannym zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr inż. Natalii Gemzy stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane przed doktoratami wdrożeniowymi. Badania przeprowadzone w ramach niniejszej pracy wpisują się w aktualny nurt optymalizacji technologicznej pracy układu osadu czynnego przy wykorzystaniu modeli matematycznych. Stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz oryginalne rozwiązanie w zakresie wykorzystania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

Dysertacja potwierdza znajomość ogólnej wiedzy teoretycznej Autorki w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, a także umiejętność planowania i prowadzenia przez Nią badań naukowych, opracowania i dyskusji wyników oraz wyciągnięcia wniosków.

Tym samym oceniana rozprawa doktorska spełnia wymagania formalne dla tego typu prac zawarte w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023r., poz. 742 z późn. zm.). Dlatego wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Natalii Gemzy do dalszego etapu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Mając na uwadze podkreślane wielokrotnie w przedmiotowej recenzji wysokie walory naukowe ocenianej pracy oraz jej użyteczny charakter, stawiam również wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

M. Sudań