

Poznań, 16.12.2024 r.

Dr hab. inż. Zbysław Dymaczewski, prof.PP
Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechniki Poznańskiej

RECENZJA
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
mgr inż. Natalii Gemzy

**pt. „Modelowanie procesu osadu czynnego w kontekście oczyszczania
ścieków pogody deszczowej”**

Recenzowana rozprawa doktorska została wykonana na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Ryszarda Szeteli.

PODSTAWA FORMALNA RECENZJI

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej, prof. dr hab. inż. Roberta Króla (Pismo RDND08/40/2024 z dnia 11.10.2024, Uchwała nr 38/02/RDND08/2024-2028 z dnia 9.10.2024 oraz obowiązujących przepisów.

CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Recenzowana praca dotyczy bardzo aktualnego i interesującego z naukowego punktu widzenia a zarazem ważnego w aspekcie zastosowań praktycznych problemu pracy miejskiej oczyszczalni ścieków w warunkach jej znacznego przeciążenia hydraulicznego spowodowanego intensywnymi opadami atmosferycznymi.

Przedłożona do recenzji rozprawa składa się z 224 stron maszynopisu, w tym 7 stron wstępnych z osobną numeracją (strona tytułowa, dedykacje, streszczenia i słowa kluczowe w języku polskim i angielskim) oraz 217 stron obejmujących zasadniczą część pracy i załączniki. W pracy zamieszczono łącznie 136 rysunków (109 w głównej części rozprawy oraz 27 w załączniku) i 40 tabel. Spis literatury składa się ze 174 pozycji, prawie wyłącznie angielskojęzycznych.

Praca ma typowy układ rozprawy doktorskiej w postaci zwartej monografii. Formalnie została podzielona na 10 numerowanych rozdziałów poprzedzonych zwięzłym streszczeniem w języku polskim i angielskim wraz ze słowami kluczowymi oraz objaśnieniem użytych skrótów i symboli. Zasadnicza – merytoryczna – część rozprawy obejmuje pierwszych sześć rozdziałów, pozostałe cztery mają charakter pomocniczy (spisy tabel, rysunków i wykorzystanej bibliografii oraz załączniki).

W rozdziale pierwszym „Wprowadzenie i uzasadnienie podjęcia tematu” Autorka krótko naświetla problematykę zagospodarowania wód opadowych na terenach miejskich i związane z tym wyzwania w świetle postępujących zmian klimatycznych i nasilenia się ekstremalnych zjawisk pogodowych. Problem zilustrowany został przykładem wrocławskiego systemu kanalizacyjnego, obejmującego sieci kanalizacji sanitarnej, deszczowej i ogólnospławnej wraz z pompowniami, zbiornikami retencyjnymi i Wrocławską Oczyszczalnią Ścieków (WOŚ). W dalszej części rozdziału Doktorantka zasygnalizowała problemy związane z modelowaniem pracy oczyszczalni ścieków w warunkach przeciążenia hydraulicznego. Powyższe rozważania posłużyły Autorce do uzasadnienia celowości pojętego tematu.

Rozdział drugi „Przegląd literatury” podzielony został na cztery podrozdziały. W pierwszym z nich Autorka przedstawiła analizę wpływu opadów na pracę oczyszczalni ścieków, skupiając się kolejno na zmianach jakościowych dopływu, węzle oczyszczania

mechanicznego oraz części biologicznej. W kolejnym punkcie został szczegółowo opisany proces sedymentacji osadu czynnego. Doktorantka przedstawiła poszczególne reżimy sedymentacji, czynniki wpływające na właściwości sedymentacyjne osadu oraz krótko scharakteryzowała teoretyczne i empiryczne modele matematyczne procesu sedymentacji. Trzeci punkt przeglądu literatury obejmuje zasadniczy opis modeli osadników wtórnych stosowanych w symulacjach procesu osadu czynnego. Autorka podaje definicje modeli bezwymiarowych (idealnych), jednowymiarowych oraz dwu- i trójwymiarowych (computational fluid dynamics) a następnie szczegółowo zapoznaje czytelnika z modelami jednowymiarowymi pierwszego i drugiego rzędu oraz zagadnieniami związanymi z ich kalibracją. Ostatni punkt tego rozdziału dotyczy bardzo ważnego – z praktycznego punktu widzenia – tematu strategii prowadzenia procesu osadu czynnego przy napływie ścieków pogody deszczowej. Doktorantka omówiła w nim trzy strategie: odciążającą układ biologicznego oczyszczania ścieków, odciążającą osadnik wtórny oraz poprawiającą właściwości sedymentacyjne osadu czynnego.

W rozdziale trzecim „Cel i zakres pracy” Autorka, na podstawie przedstawionego uzasadnienia podjęcia tematu oraz wykonanego obszernego przeglądu literatury, sformułowała cel główny pracy, ogólny opis badań wchodzących w skład recenzowanej rozprawy oraz dziewięć pomocniczych celów szczegółowych pozwalających osiągnąć cel główny. Rozdział zawiera też jasno określony zakres pracy, który umożliwił realizację wszystkich zaplanowanych zadań.

Treść rozdziału czwartego „Metodyka badań” składa się z dwóch części. W pierwszej została scharakteryzowana Wroclawska Oczyszczalnia Ścieków jako obiekt badań. Doktorantka zadbała w niej o precyzyjny opis wszystkich elementów, które są kluczowe w aspekcie tematyki rozprawy. Część druga – znacznie obszerniejsza – zawiera czytelny i uporządkowany opis metod badawczych zastosowanych na poszczególnych etapach realizacji doktoratu. Są to: sposób poboru ścieków (w tym do badań zmienności dobowej) i ich charakterystyka jakościowa (w tym frakcjonowanie na potrzeby modelu ASM2d), sposób prowadzenia badań kinetyki procesów szybkości nityfikacji oraz uwalniania fosforanów, sposób badania właściwości sedymentacyjnych osadu czynnego w laboratoryjnej kolumnie sedymentacyjnej, sposób prowadzenia testów przeciążania osadników wtórnych w skali technicznej oraz budowa modelu procesu osadu czynnego WOŚ (w tym model hydrodynamiczny, model biokinetyczny i model osadnika wtórnego), który posłużył do

przeprowadzenia symulacji pracy WOŚ w warunkach przeciążenia hydraulicznego spowodowanego opadami atmosferycznymi.

W rozdziale piątym „Wyniki badań” Autorka przedstawiła uzyskane w poszczególnych zadaniach wyniki oraz ich interpretację. Formalnie rozdział ten został podzielony na pięć podpunktów. W części 5.1 przedstawiono wyniki badań właściwości sedymentacyjnych osadu. Doktorantka określiła sezonową zmienność właściwości sedymentacyjnych osadu czynnego WOŚ, podjęła próbę zweryfikowania możliwości oszacowania parametrów funkcji sedymentacji na podstawie indeksu osadu oraz zbadała wpływ grawimetrycznej selekcji osadu czynnego na jego własności sedymentacyjne. Część 5.2 zawiera wyniki badań zmienności ścieków z uwzględnieniem pogody deszczowej i obejmuje następujące elementy: zmienność przepływu, charakterystykę jakościową podczas pogody deszczowej (w tym porównanie z charakterystyką pogody bezdeszczowej), zmienność godzinową składu ścieków dopływających do części biologicznej WOŚ i badania podziału frakcyjnego zanieczyszczeń na potrzeby modelu ASM2d. W części 5.3 Autorka przedstawiła wyniki badań kinetycznych procesów nityfikacji i uwalniania fosforanów. Kolejny punkt (5.4) poświęcony jest przeprowadzonej kalibracji i walidacji wybranych modeli osadnika wtórnego (model Takacs’a, model Burger’a-Diehl’a i model Ploz’a), która pozwoliła na wskazanie modelu najlepiej oddającego dynamikę pracy osadnika rzeczywistego. Ostatni punkt tego rozdziału (5.5) jest najobszerniejszy i zawiera wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych. Przedstawiono w nim kolejno: założenia i dane do badań symulacyjnych, wyniki symulacji dla układu referencyjnego, wyniki symulacji dla trzech strategii pracy oczyszczalni w warunkach przeciążenia hydraulicznego, wyniki symulacji układu z uwzględnieniem grawimetrycznej selekcji osadu czynnego i porównanie poszczególnych strategii prowadzenia procesu w warunkach pogody mokrej.

Część merytoryczną rozprawy kończy rozdział szósty zatytułowany „Wnioski końcowe i podsumowanie”, w którym Autorka w syntetyczny sposób podsumowała całość prac zrealizowanych w ramach doktoratu oraz sformułowała szereg cennych, szczegółowych wniosków, które podzieliła na dwie grupy:

- wnioski dotyczące danych do symulacji i modelu osadnika wtórnego (11 wniosków)
- wnioski dotyczące przeprowadzonych badań symulacyjnych (10 wniosków).

Na końcu pracy znajdują się rozdziały pomocnicze o numeracji od 7 do 10. Zawierają one odpowiednio: „Spis tabel”, „Spis rysunków”, „Literaturę” i „Załączniki”.

OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Realizowana w formule doktoratu wdrożeniowego praca doktorska mgr inż. Natalii Gemzy jest wynikiem bardzo wnikliwych studiów literaturowych oraz starannie zaplanowanych i zrealizowanych prac badawczych. Przy ocenie merytorycznej takiej rozprawy istotnymi kryteriami są zarówno znaczenie problemu badawczego oraz oryginalność jego rozwiązania jak i fakt realizacji badań w ścisłej współpracy z przemysłem. Podkreśla to utylitarny charakter uzyskanych wyników, ich potencjał wdrożeniowy i znaczenie dla gospodarki.

Zmieniający się klimat, w tym coraz częściej występujące gwałtowne zjawiska pogodowe przeplatające długotrwałe okresy suszy, jak również zaostrzające się wymagania dotyczące efektywności i niezawodności pracy oczyszczalni ścieków stawiają przed podmiotami eksploatującymi te obiekty nowe wyzwania. Wiele systemów kanalizacyjnych dużych miast w Polsce posiada mniejsze lub większe fragmenty sieci ogólnospławnych co sprawia, że intensywne krótkotrwałe opady mogą skutecznie przeciążyć oczyszczalnię zarówno pod względem hydraulicznym jaki i zwiększonych ładunków zanieczyszczeń splukiwanych z ulic, chodników i dachów. Przebadanie różnych strategii eksploatacji oczyszczalni w warunkach ekstremalnych z wykorzystaniem symulacji komputerowej pozwala lepiej przygotować się do takiej sytuacji zanim ona nastąpi i podjąć najkorzystniejsze decyzje operacyjne. Brak dostępnych opracowań w tym zakresie oraz waga problemu stanowią o dużej atrakcyjności podjętego przez Doktorantkę tematu, zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym. Dlatego tematykę rozprawy zatytułowanej „Modelowanie procesu osadu czynnego w kontekście oczyszczania ścieków pogody deszczowej” uważam za trafnie wybraną i oceniam bardzo wysoko.

Część literaturowa została przez Autorkę skomponowana w sposób przemyślany, stanowiąc bardzo solidną podbudowę teoretyczną dla zaplanowanych i przeprowadzonych przez nią badań. Na szczególną uwagę i uznanie zasługują części 2.2 i 2.3 dotyczące procesu sedymentacji oraz opisujących go modeli matematycznych. Zarówno treść tego rozdziału, dobór źródeł bibliograficznych jak i forma przekazu pozwalają wysoko ocenić zarówno wiedzę Doktorantki jak i łatwość poruszania się w obrębie tematyki rozprawy.

Aby zrealizować cel pracy, za który zostało przyjęte „rozpoznanie możliwości i zakresu optymalizacji technologicznej pracy układu osadu czynnego Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków w warunkach dopływu ścieków mokrej pogody” Doktorantka starannie określiła cele cząstkowe pozwalające przygotować niezbędne dane wejściowe do modelowania pracy oczyszczalni, wybrać model osadnika wraz z jego kalibracją i walidacją oraz zaplanować i przeprowadzić odpowiednie symulacje. W pracy nie sformułowano formalnie hipotezy badawczej, która podkreślałaby naukowy aspekt rozprawy. Trzeba jednak wyraźnie zaznaczyć, że część badawcza pracy składa się z szeregu zadań, w ramach których Doktorantka stawia problem naukowy o charakterze hipotezy i go weryfikuje. Wnioski zamieszczone na końcu pracy uważam za poprawnie sformułowane i wynikające z przeprowadzonych badań. Są one wartościowe i trafnie charakteryzują osiągnięcia Autorki.

Oceniając postawiony cel główny i cele szczegółowe oraz zakres badań i uzyskane wyniki stwierdzam, że pani mgr inż. Natalia Gemza podeszła do tematu bardzo ambitnie i w pełni zrealizowała postawione cele i zaplanowane zadania.

Do najistotniejszych osiągnięć pracy zaliczam przede wszystkim:

- Bardzo obszerny i szczegółowy przegląd literatury dotyczący modeli osadnika wtórnego wraz z analizą niedoskonałości poszczególnych modeli, który jest wartościowym kompendium aktualnej wiedzy w tym zakresie. Na szczególną uwagę zasługuje w tym kontekście obszerny spis cytowanej literatury, świadczący o bardzo rzetelnym i wnikliwym przestudiowaniu przez Doktorantkę dostępnych źródeł.
- Przeprowadzone długoterminowe (różne pory roku) eksperymenty dotyczące właściwości sedymentacyjnych osadu czynnego, które pozwoliły praktycznie ocenić dokładność jednowymiarowych modeli osadnika wtórnego i ich przydatność do symulacji pracy oczyszczalni ścieków narażonej na duże przeciążenia hydrauliczne. Badania te są nowatorskie i poszerzają ogólną wiedzę w tym zakresie.
- Wykazanie, że grawimetryczna selekcja osadu czynnego znacząco poprawia jego właściwości sedymentacyjne z wyjątkiem okresu zimowego, kiedy obserwowane jest zwiększenie ilości bakterii nitkowatych. Technologia ta może mieć duże znaczenie praktyczne dla sprawnego funkcjonowania układu bioreaktor – osadnik wtórny, zwłaszcza w kontekście przystosowywania istniejących oczyszczalni ścieków do zaostrożonych wymagań nowej dyrektywy ściekowej.

- Wykazanie przydatności symulacji komputerowej do opracowania skutecznej strategii eksploatacji Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków w warunkach pogody deszczowej, co było głównym celem w ramach niniejszego doktoratu. Zebrane doświadczenia mogą posłużyć przy opracowywaniu strategii eksploatacji w podobnych warunkach innych obiektów w kraju i zagranicą. Dlatego uważam te badania za niezwykle cenne.

Poniżej przedstawiono uwagi krytyczne i pytania do pracy. W większości mają one charakter dyskusyjny, nie umniejszają też wysokiej oceny recenzowanej rozprawy.

- Badania wartości indeksu osadu i wyznaczanie parametrów modelu osadnika prowadzono w kolumnie sedymentacyjnej o pojemności czynnej 10 litrów a nie w standardowo używanym do pomiaru IO jednolitrowym cylindrze. Wymagało to dodatkowego nakładu pracy a jednocześnie uniemożliwiało bezpośrednie porównanie z danymi historycznymi rutynowych badań IO na WOŚ. Czy, zdaniem Doktorantki, dodatkowe korzyści zrównoważyły (lub przewyższyły) ten zwiększony nakład pracy?
- Na rysunku 5.1 Autorka przedstawiła zależność między pomiarem IO w kolumnie sedymentacyjnej i litrowym cylindrze. W tekście towarzyszącym temu rysunkowi pada stwierdzenie, że skład i morfologia źle sedymentującego osadu promują m.in. takie zjawiska, jak efekt ścianki. Czy jest to stwierdzenie teoretyczne czy oparte na przeprowadzonych badaniach? Czy Doktorantka dysponuje wynikami składu i morfologii badanych osadów i czy próbowała znaleźć taką zależność dla osadów o zbliżonej morfologii i składzie?
- Przy rozdziale ChZT na frakcje rozpuszczone i nierozpuszczone ścieków surowych często stosuje się filtrację przez sączki 0,45 μm jako umowną wartość graniczną między tymi frakcjami. Doktorantka w części dotyczącej metodyki frakcjonowania ChZT wskazała zastosowanie przez nią filtrowania próbek ścieków przez sączki 1,2 i 0,1 μm . Czy nie było problemów z uzyskaniem wystarczającej do analiz ilości filtratu lub czy stosowano np. flokulację przed filtracją próbek przez sączki 0,1 μm ? Jaka jest interpretacja frakcji pomiędzy 0,1 a 1,2 μm ? Czy opisana metoda jest adaptacją metody opisanej w literaturze czy autorską metodyką Doktorantki?
- W rozdziale dotyczącym metodyki badań powinna znaleźć się choć krótka charakterystyka wykorzystanego w badaniach programu symulacyjnego.

Praca doktorska mgr inż. Natalii Gemzy jest napisana zrozumiałym, przejrzystym i poprawnym językiem. Układ pracy dobrze odzwierciedla realizację poszczególnych zadań cząstkowych wyznaczonych przez Autorkę.

Pod względem edycyjnym Doktorantka nie ustrzegła się szeregu drobnych błędów i niedociągnięć. Nie mają one wpływu na merytoryczny odbiór pracy, jednak wymagałyby poprawy w przypadku przygotowywania publikacji na podstawie tekstu rozprawy.

Reasumując, ogólna ocena merytoryczna rozprawy jest bardzo wysoka. Pani mgr inż. Natalia Gemza wykazała się dużą starannością i sumiennością przy analizowaniu istniejącego stanu wiedzy na podstawie dostępnej literatury, umiętnością postawienia problemu badawczego i zaplanowania oraz przeprowadzenia badań potrzebnych do jego rozwiązania. Wykazała się też umiętnością wyciągania konstruktywnych wniosków z przeprowadzonych prac badawczych. Świadczy to o dojrzałości Doktorantki do samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Uzyskane w części badawczej wyniki są wiarygodne i wartościowe zarówno w aspekcie poznawczym jak i w odniesieniu do zastosowań praktycznych oraz zawierają elementy nowości i oryginalności. Uzupełniają one dotychczasowe wyniki badań prezentowane przez innych naukowców.

WNIOSEK KOŃCOWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Gemzy pt. „Modelowanie procesu osadu czynnego w kontekście oczyszczania ścieków pogody deszczowej” jest pracą o charakterze poznawczym i aplikacyjnym, stojącą na bardzo wysokim poziomie naukowym. Zawiera ciekawe wyniki badań, stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego oraz charakteryzuje się wysokim potencjałem wdrożeniowym zarówno w odniesieniu do Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków jak i innych tego typu obiektów. Pani mgr inż. Natalia Gemza wykazała się dużą wiedzą w zakresie dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, w szczególności w zakresie tematyki poruszanej w rozprawie, oraz umiętnością samodzielnego prowadzenia badań i interpretacji uzyskiwanych wyników.

Moim zdaniem **rozprawa ta w pełni spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim** określone w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.) jak również wymagania zwyczajowo stawiane rozprawom doktorskim.

Upoważnia mnie to do zaproponowania **przyjęcia rozprawy doktorskiej mgr inż. Natalii Gemzy przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej i dopuszczenie jej do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.**

Jednocześnie, z uwagi na wysokie walory naukowe, duży potencjał aplikacyjny, staranność opracowania i szeroki zakres merytoryczny rozprawy pani mgr inż. Natalii Gemzy przedkładam wniosek o jej wyróżnienie.

Zbysław Dymarewski