

dr hab. inż. Robert Grzywacz  
Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej  
Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej  
Politechnika Krakowska  
ul. Warszawska 24  
31-155 Kraków

Kraków 28.12.2023

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

mgr inż. Roberta Kowalika

pt.: „Model specjacyjny w analizie ryzyka translokacji metali ciężkich w osadach ściekowych”

### **Podstawa formalna recenzji**

Podstawą przygotowania recenzji było pismo Zastępcy Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach, dr hab. inż. Łukasza Ormana, prof. PŚk, z dnia 30.10.2023, powołujące mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. inż. Roberta Kowalika, pt. „Model specjacyjny w analizie ryzyka translokacji metali ciężkich w osadach ściekowych”. Promotorem Pracy jest dr hab. inż. Jarosław Gawdzik, prof. PŚk.

### **Podstawowe dane o kandydacie**

Kandydat mgr inż. Robert Kowalik tytuł zawodowy magistra Inżyniera Inżynierii Środowiska w specjalności Zaopatrzenie w Wodę, Unieszkodliwianie Ścieków i Odpadów uzyskał 12 lipca 2017 broniąc pracę magisterską pt. „Projekt koncepcyjny przebudowy osadnika Imhoffa na reaktor ABR, na przykładzie oczyszczalni ścieków w Pinczowie”. Według posiadanej przez Recenzenta dokumentacji sprawy Kandydat nie ubiegał się do tej pory o nadanie stopnia doktora.

### **Uzasadnienie przyjęcia tematu pracy**

Działalność człowieka, życiowa jak i produkcyjna, nierozzerwalnie związana jest z powstawaniem odpadów a w tym i ścieków. Równocześnie wzrost świadomości społeczeństwa jak i wprowadzone ograniczenia prawne zmuszają lokalnych decydentów do stosowania polityki zagospodarowania powstałych odpadów. Na terenie samego tylko województwa świętokrzyskiego wg. danych statystycznych istnieje 126 oczyszczalni ścieków komunalnych, bytowych i przemysłowych. Działalność nowoczesnych oczyszczalni ścieków związana jest nierozzerwalnie z produkcją osadów ściekowych, które należy w jakiś sposób zagospodarować. Biorąc pod uwagę dane publikowane przez GUS oraz informacje w sprawozdaniach NIK należy zauważyć, iż problem zagospodarowania osadów ściekowych jest znany i w zasadzie nie jest należycie rozwiązany. Jak słusznie zauważył Doktorant częstym sposobem zagospodarowania tych osadów jest ich przeróbka cieplna. Jednak ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>

mogą spowodować, iż gminy będą odchodziły od takiego rozwiązania. Najwygodniejszą metodą zagospodarowania osadów było i jest ich zagospodarowanie środowiskowe tj. kompostowanie, lagunowanie czy też po wstępnej obróbce zagospodarowanie jako nawóz. Jednak i tutaj ograniczenia prawne wprowadzone przez Unię Europejską nałożyły obowiązek takiego ich zagospodarowania aby nie miały one negatywnego wpływu na środowisko. Jak słusznie zauważył Doktorant główny, aczkolwiek nie jedynym zagrożeniem związanym z zagospodarowaniem osadów ściekowych jest obecność metali ciężkich. Nie istnieje aktualnie metoda umożliwiająca określenie jak warunki środowiskowe, technologia oczyszczania, wielkość oczyszczalni ścieków czy też sezonowość jej pracy wpłynie na obecność metali ciężkich w osadach ściekowych. Doktorant podjął się próby zaproponowania takiej metody w oparciu o model statystyczny sieci Bayesa. Biorąc pod uwagę powyższe rozważania uważam, że temat pracy jest jak najbardziej aktualny i dobrze wpisuje się w bieżące trendy związane z szeroko pojętymi sposobami zagospodarowania osadów ściekowych.

### **Ogólna charakterystyka rozprawy**

1. Tytuł rozprawy:

„Model specjacyjny w analizie ryzyka translokacji metali ciężkich w osadach ściekowych”

2. Ocena układu rozprawy:

Rozprawa liczy 161 stron. Składa się z 11 rozdziałów i 21 załączników z wyników badań. Zawiera 83 rysunki, zdjęcia i wykresy oraz 10 tabel. Forma redakcyjna Pracy jest zgodna ze standardem przyjętym dla prac doktorskich.

Rozdział pierwszy, to Wstęp wprowadzający czytelnika w tematykę badawczą pracy omawiając ogólnie stan faktyczny gospodarki osadami ściekowymi na świecie i w Polsce, stan prawny regulujący ich wykorzystanie oraz najważniejsze wiążące się z tym zagrożenia.

W rozdziale drugim Czytelnik zapoznaje się z charakterystyką ilościową i jakościową osadów ściekowych, metodami ich przetwarzania oraz aspektami prawnymi związanymi z gospodarką osadami ściekowymi.

W rozdziale trzecim opisano główny obiekt badawczy tj. metale ciężkie zawarte w osadach. Autor przedstawia charakterystykę metali ciężkich i problematykę ich toksyczności.

W rozdziale czwartym Autor opisuje zagadnienia związane z mobilnością metali ciężkich w kontekście zagospodarowania osadów ściekowych. Omawia jakie czynniki wpływają na mobilność.

W rozdziale piątym Doktorant omawia i definiuje funkcjonujące wskaźniki ryzyka zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi. W tej części pracy autor zamieszcza opis swojego autorskiego wskaźnika który nazwany został: środowiskowym czynnikiem ryzyka (ERD).

W rozdziale szóstym Autor zamieszcza opisy technologii oczyszczania ścieków w nawiązaniu do produkcji osadów ściekowych. Przedstawia także obszar swoich badań tj. 14 oczyszczalni

ścieków Województwa Świętokrzyskiego, podając ich lokalizację, typ, równoważną liczbę mieszkańców oraz formę przeróbki osadu czynnego.

W kolejnym, siódmym rozdziale zawarto problem, cel pracy oraz sformułowano hipotezę badawczą.

W rozdziale ósmym, opisano przebieg i wyniki analizy specjacyjnej metali ciężkich w badanych 14 oczyszczalniach ścieków. Analizowano zawartość: miedzi, chromu, kadmu, niklu ołowiu i cynku w czterech frakcjach ekstrakcyjnych. W dwóch wybranych oczyszczalniach przeprowadzono także badania wpływu sezonowości na mobilność metali ciężkich.

Rozdział 9 zawiera wyniki obliczeń 6 wskaźników ryzyka zanieczyszczenia gleby wraz ich z porównaniem. Wyniki obliczeń laboratoryjnych oraz wyniki obliczeń wskaźników ryzyka przedstawiono w postaci wykresów słupkowych i tabel. Dokładne dane liczbowe zamieszczono w załącznikach.

W rozdziale 10 Autor zamieścił opis teoretyczny tworzenia sieci Bayesa oraz przedstawił wyniki symulacji trzech przypadków szczegółowych prawdopodobnej obecności wybranych metali ciężkich w osadach ściekowych wg zaproponowanego przez siebie wskaźnika ryzyka zanieczyszczenia ERD. W rozdziale tym zamieszczone zostały także wyniki obliczeń weryfikacyjnych utworzonej sieci Bayesa.

Całość pracy została zakończona rozdziałem 11w którym zawarto podsumowanie i wnioskami zawierającymi weryfikację postawionych hipotez badawczych.

### 3. Bibliografia

Na Bibliografię składa się 234 pozycje z czego około 100 pozycji opublikowano w okresie ostatnich 12 latach. 219 pozycji literaturowych wykorzystano w części teoretycznej (rozdziały 1-7). Kolejne 15 pozycji związane jest tematycznie z zastosowaną przez Autora metodą badawczą tj sieciami Bayesa.

Dobór pozycji literaturowych wydaje się prawidłowy i odzwierciedlający aktualny, w czasie pisania pracy, stan wiedzy.

Wprowadzając cytowania Autor nie ustrzegł się błędów źle formatując odwołania do stron internetowych. Według dowolnego systemu cytowania, powinny one zawierać poza adresem i czasem dostępu, co Doktorant zamieścił, również tytuł witryny lub tytuł strony oraz w miarę możliwości autora w postaci osoby lub instytucji.

### 4. Cel pracy

Przedmiotem dysertacji jest analiza wpływu wybranych czynników na zawartość oraz mobilność metali ciężkich w osadach ściekowych oczyszczalni ścieków województwa świętokrzyskiego wraz z opracowaniem modelu sieci Bayesa do symulowania ryzyka

wykorzystania tych osadów. Wiązą się z tym przedmiotem sformułowane w rozdziale siódmym cele badań.

Cele utylitarne związane są z wykazaniem czy technologia oczyszczania ścieków, sposób przeróbki osadu, wielkość oczyszczalni i pora roku mają wpływ na możliwość wykorzystania osadów oraz formę w jakiej występują.

Cele naukowe to: cel pierwszy, opracowanie nowego wskaźnika ryzyka przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych i cel drugi opracowanie modelu Bayesa do symulacji i prognozowania ryzyka przyrodniczego wykorzystania ścieków.

Autor sformułował dla powyższych celów trzy hipotezy badawcze które zostały pozytywnie zweryfikowane. Postawione przez Autora cele w kontekście analizowanej pracy są prawidłowe i biorąc pod uwagę weryfikacje postawionych hipotez zawartą treść rozprawy zostały osiągnięte.

## 5. Metody badawcze

W recenzowanej pracy zawarto i opisano dwie metody badawcze. Pierwsza zawiązana z analizą sekwencyjną BCR opisana została w rozdziale 4 w punkcie 1. Procedurę wykonania analiz przedstawiono w postaci rysunkowej (rys.4.1 – 4.5). Ponieważ metody BRC są operacjami ekstrakcji opis uważam za wystarczający.

Drugą metodą badawczą było zastosowanie sieci Bayesa do prognozowania prawdopodobieństwa wystąpienia wybranych metali ciężkich w osadach ściekowych dla konkretnych uwarunkowań środowiskowych. Opis tej metody zawarto w rozdziale 10. Opis ten w zasadzie również jest wystarczający. Kilka uwag i próśb związanych w tym zagadnieniu zawarłem w punkcie Ocena merytoryczna w dalszej części recenzji.

## 6. Wyniki badań

Przedstawione w pracy wyniki badań wiążą się z każdą z zastosowanych metod badawczych. Wyniki badań analizy specjacyjnej przedstawiono w postaci liczbowej w tabelach, w załącznikach zamieszczonych na końcu pracy oraz zbiorczo w postaci wykresów słupkowych. Natomiast wyniki analizy hipotez z sieci Bayesa w postaci diagramów z programu GeNIe 3.0. Takie przedstawienie wyników zapewnia ich zwartość i czytelność.

Recenzent nie ma praktycznie szans sprawdzenia poprawności wyników doświadczalnych czy też obliczeniowych, jednak lektura pracy, reprezentowany przez Doktoranta warsztat naukowy i sposób interpretacji wyników z dużym prawdopodobieństwem pozwala przyjąć, iż są one w absolutnym porządku.

## 7. Oryginalność problemu badawczego

Zaproponowany przez Autora problem badawczy jest w mojej opinii problemem oryginalnym. Przeprowadzony przeze mnie reaserch tego zagadnienia nie ujawnił podobnego podejścia do analizy danych doświadczalnych. Zaproponowana i zweryfikowana analiza statystyczna w

przypadku jej rozszerzenia o kolejne wskaźniki ruchowe i środowiskowe w oparciu oczywiście o rzetelne badania wskaźników ma według mnie duży potencjał naukowy i aplikacyjny.

### **Uwagi redakcyjne**

Praca przedstawiona do recenzji napisana jest w sposób przejrzysty i logiczny. W treści pracy Autor nie ustrzegł się błędów stylistycznych i lapsusów słownych jednak nie wpływają one na jej ogólny odbiór. Niektóre z nich zostały wyszczególnione poniżej:

str.1, 3 i 4 wiersz – powtórzenie,

str.4, Istotnym problemem w zakresie wykorzystania osadów ściekowych w przyrodzie są również zanieczyszczenia mikroorganiczne. Należą do nich głównie fenole, chlorofenole, heksachlorobenzen, polichlorowane bifenyle, nitrozaminy oraz pozostałości pestycydów – to raczej zanieczyszczenia organiczne,

str.9, zdanie zaczynające się od W 2020... - nie zrozumiała konstrukcja zdania,

str.17 i następne, brak konsekwencji w wyliczaniu metali ciężkich np. w zdaniu 2 Arsen jako przedstawiciel niemetalu wśród metali ciężkich parę zdań niżej Selen. Niektóre metale w wyliczeniach się powtarzają a niektóre nie np. żelazo raz jest a raz go nie ma,

str.30, zdanie: Chrom jest pierwiastkiem, który występuje w dwóch postaciach. Cr (III), czyli chrom na III stopniu utlenienia, - uważam że można było sobie darować tłumaczenie co znaczy zapis Cr(III),

str.46, 47, wzór 2 powinien być przed tabelą 5.2,

str.48, odwołanie rys. 9.17 do rysunku znajdującego się aż na stronie 102,

str.49, zdanie: Za najbardziej mobilne uważa się frakcje mobilne (FI, FII), natomiast frakcja FIII może być mobilna w pewnych warunkach, tj., gdy materia organiczna w glebie jest przetworzona przez mikroorganizmy lub grzyby oraz na skutek wyładowań atmosferycznych, wody deszczowe mogą zawierać rozpuszczony ozon. – zdanie bardzo złożone a co za tym idzie dość niejasne, muszą być mikroorganizmy (grzyby jednokomórkowe to też mikroorganizmy czy chodzi tu zatem o grzyby wielokomórkowe?) wyładowania atmosferyczne i deszcz?,

str.51, Ścieki są dostarczane z góry i przepływają przez wkłady filtracyjne, dzięki czemu substancje organiczne zawarte w ściekach są adsorbowane przez bakterie beztlenowe, tlenowe, a także glony, pierwotniaki i grzyby, które są przytwierdzone do strumienia w postaci warstwy śluzu lub błony biologicznej, - kolejne uproszczenie w jaki sposób wymienione organizmy przytwierdzone są jako śluz lub błona do strumienia i strumienia czego?,

str.52, przedostatni akapit – chyba dwie ostatnie jednostki błędne,

str.52, ostatni akapit , zwłaszcza część od Larwy ćmianki – niezrozumiała w kontekście części wcześniejszej akapitu,

str.53, Drugie zdanie dlaczego użyto słowo substancje organiczne a nie związki organiczne i co to są proste stabilne substancje, to samo parę zdań niżej – substancje węglowe i nityfikacji.

str.54, zdanie: Ten typ systemu jest odpowiedni dla ścieków o niskiej zawartości zanieczyszczeń, zazwyczaj wynoszącej od 50 do 200 mg/m<sup>3</sup> BZT5 [197,202]. – chyba kolejny skrót myślowy: nie rozumiem o jaki typ chodzi i co to za dziwna jednostka,

str.60, zdanie: Najczęściej występującym problemem jest obniżenie skuteczności filtracji MBR pod wpływem czasu filtracji. nie rozumiem, chyba kolejny skrót myślowy, czas filtracji to czas projektowy pracy filtra w celu uzyskania odpowiedniej wydajności filtracji w jaki sposób ma on wpływać na obniżenie skuteczności filtracji,

str.113, dół strony brak konsekwencji raz prawdopodobieństw sumują się do 1 a raz do 1,0,

str.114, co oznacza małe p w zdaniu W statystyce klasycznej wartość p – wszędzie wyżej używano duże P,

str.151, Załączniki 15 i 16 – któryś z opisów tabeli jest błędny.

### **Ocena merytoryczna**

Lektura pracy nasunęła mi, jako jej recenzentowi, szereg uwag i pytań które przedstawię poniżej:

1) str.39, Autor pisze w ostatnim zdaniu o fitoremediacji, czy znane są mu jakieś sposoby zagospodarowania roślin które podczas tego procesu zostały obarczone metalami ciężkimi. Czy i dlaczego ten sposób remediacji jest bezpieczny.

2) Proszę o wyjaśnienie sposobu doboru metali ciężkich które były analizowane, czy związana było to względami merytorycznymi, możliwością przeprowadzenia analizy czy jakimiś innymi?

3) Proszę o wyjaśnienie sposobu doboru oczyszczalni ścieków.

4) Proszę o wyjaśnienie czemu badania sezonowe dokonano tylko dla dwóch oczyszczalni a nie np. dla jednej z każdego rodzaju badanych oczyszczalni? Było by ich wtedy 4.

5) Czy możliwe jest rozszerzenie w przyszłości utworzonej sieci Bayesa o inne oczyszczalnie, o ich badania sezonowe czy też o inne metale. Czy możliwe jest uzupełnienie tej sieci np. o środowisko bądź główne źródło ścieków badanej oczyszczalni.

6) W jaki sposób określono prawdopodobieństwo wprowadzane do modelu. Nie doczytałem się tego w pracy.

7) Co znaczy w opisie metody: wniosek wysoce zaskakujący bądź wniosek wysoce oczekiwany, domyślam się że chodzi tu o prawdopodobieństwo. Jeżeli tak to czy jest jakiś próg czy definiujemy samodzielnie i na jakich przesłankach.

8) Do weryfikacji modelu wytypowano trzy oczyszczalnie, dlaczego omówiono tylko 2. Brak analizy oczyszczalni Mniowa mimo, iż został on wymieniony.

## **Podsumowanie**

Powyższe uwagi nie umniejszają ogólnej wartości merytorycznej pracy. Ogólna ocena zawartej treści jest pozytywna. A zamieszczona przez Autora dyskusja wyników jest poprawna i wystarczająca. W mojej opinii Autor rozprawy wykazał niezbędną ogólną wiedzę teoretyczną i umiejętność jej wykorzystania w samodzielnym rozwiązywaniu postawionego przed nim zagadnienia naukowego. Uważam również, że zaprezentowany przez Autora warsztat naukowy i badawczy pozwala sądzić, iż posiadał on zdolność samodzielnego prowadzenia dalszej pracy naukowej w dyscyplinie Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

W związku z tym wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Roberta Kowalika do publicznej obrony, ponieważ moim zdaniem praca ta spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim wynikające z Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 (Dz.U. z 2003 r. Nr.65. poz. 595 wraz z późniejszymi zmianami).

*Robert Grzywacz*

dr hab. inż. Robert Grzywacz, prof. PK