Prof. dr hab. inż. Jan Pawełek
30-215 Kraków, ul. Pększyca Grudzińskiego 16
Tel. +48 606 825 283, e-mail: rmpawele@cyf-kr.edu.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ mgr inż. Arkadiusza Malika pt. „Efektywność usuwania zanieczyszczeń w hybrydowych hydrofitowych oczyszczalniach ścieków na terenie wybranych parków narodowych”

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie z dnia 10.02.2023 r. i zlecenia przez zastępczynię Przewodniczącego Rady Dyscypliny panią dr hab. Alinę Kowalczyk-Juśko prof. uczelni, z dnia 17.02.2023 r. oraz umowy o dzieło RD IŚGiE/5 100/2/2023.

2. Krótki opis pracy

Praca liczy 219 stron i jest podzielona na 7 zasadniczych rozdziałów, zawiera 82 rysunki, 23 tabele i 42 fotografie. Pierwsze dwa rozdziały, bardziej ogólnej treści, stanowią część wprowadzającą do zagadnienia i są oparte na specjalistycznej literaturze. W czterostronicowym wstępie, stanowiącym pierwszy rozdział, Autor wprowadza do tematyki, w której jest umiejscowiona jego rozprawa doktorska. Rozdział drugi stanowi obszerny przegląd literatury (52 strony). W rozdziale trzecim przedstawił problem badawczy, hipotezy i cel badań, natomiast w czwartym zatytułowanym materiały i metodyka badań przedstawiono lokalizację i opis obiektów badawczych, a także metodykę badań. Kolejny rozdział (piąty) pt. wyniki badań i dyskusja, zawiera wyniki badań własnych Autora, ich analizę i interpretację w zakresie określonym tytułem rozprawy. Rozdział ten, będący najobszerniejszym (77 stron) i najważniejszym, został podzielony na 6 podrozdziałów, pozwalających na poznanie w sposób przejrzysty wyników badań terenowych, sposobu ich opracowania, interpretacji i dyskusji powiązanej z wynikami na innych obiektach tego typu lub podobnych. Rozdział 7 stanowi podsumowanie i wnioski końcowe, których Autor przedstawia 9. Merytoryczną część pracy kończy imponujący wykaz literatury obejmujący 502 pozycje, w tym prawie 70 % obcojęzycznych – głównie w języku angielskim. Na końcu dysertacji Autor zamieścił spis tabel, rysunków i fotografii.

3. Ocena układu pracy

Z merytorycznego punktu widzenia układ rozprawy jest logiczny. Stanowi ona zwartą całość o poprawnym układzie i zawiera wszystkie elementy składowe oczekiwane w pracy doktorskiej. Praca ma dużą objętość, stąd pytanie, czy mimo szerokiego i starannie opracowanego materiału, istniała możliwość zmniejszenia jej objętości poprzez rezygnację z niektórych treści, np. czy tak szeroko zakrojony przegląd piśmiennictwa był konieczny, kiedy przedmiotem badań były hybrydowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków. Mimo tej uwagi nie chcę dyskredytować, a raczej podkreślić bardzo duży wkład pracy Autora w opracowanie przeglądu piśmiennictwa i wykorzystanie w nim tak ogromnej liczby specjalistycznych prac naukowych – w tym w znaczącej części publikacji autorów z zagranicznych ośrodków naukowych. Forma pracy, tzn. zarówno język rozprawy oraz licznie zamieszczone rysunki i tabele sprawiają, że czytający śledzi wywody Autora z pełnym zrozumieniem, co świadczy, że Autor wykazuje umiejętności przedstawienia uzyskanych wyników.

Mam uwagę dotyczącą podrozdziału 4.1 pt. „*Lokalizacja badanych systemów hydrofitowych”* składającym się z dwóch podrozdziałów 4.1.1 i 4.1.2, których nazwy są inne w spisie treści, a inne w samej pracy. Treść tych dwóch podrozdziałów (7 i 5 stron) dotyczy charakterystyki Roztoczańskiego i Poleskiego Parku Narodowego, stąd w tekście powinny one mieć tytuły takie jakie podano w spisie treści. Z kolei tytuł podrozdziału 4.1. powinien mieć nazwę, np. „*Charakterystyka parków narodowych z lokalizacją badanych obiektów*” zamiast nazwany „*Lokalizacja badanych systemów hydrofitowych”.* Jego treść obejmuje wiedzę nt. Parków.

4. Podstawowe założenia recenzowanej rozprawy

Asumpt do podjęcia tytułowego tematu rozprawy doktorskiej dała Autorowi potrzeba doskonalenia naukowych podstaw projektowania, budowy i eksploatacji hydrofitowych systemów oczyszczania ścieków bytowych oraz uzyskiwane informacje o często niezadowalającej sprawności działania tych systemów, szczególnie w zakresie usuwania azotu i fosforu. Autor swoje zainteresowania naukowe skierował w stronę systemów hydrofitowych pracujących w układzie hybrydowym, jako jednych z coraz częściej stosowanych rozwiązań w praktyce z grupy tzw. małych przydomowych oczyszczalni ścieków. Poddane analizie wyniki Autor uzyskał z badań terenowych prowadzonych w latach 2016 – 2020, na dwóch obiektach zlokalizowanych na terenach parków narodowych - Roztoczańskiego i Poleskiego, a zatem na terenach, gdzie wymagania w zakresie oczyszczania ścieków są szczególnie wysokie. Na podstawie badań własnych i zebra-

nych materiałów określił skuteczność oczyszczania małych ilości ścieków bytowych w dwóch hybrydowych oczyszczalniach.

Obiekt nr 1 jest zlokalizowany w Kosobudach, w gminie Zwierzyniec na terenie Roztoczańskiego Parku Narodowego został wybudowany w 2014 roku. Jego zadaniem jest oczyszczanie ścieków bytowych z dwóch leśniczówek i budynku administracyjnego w sumie od około 20 osób i odpływem ścieków 2 $m^3 \cdot d^{-1}$. Układ technologiczny oczyszczalni składa się z: osadnika gnilnego, trzech szeregowo połączonych złóż gruntowo roślinnych o pionowym przepływie w pierwszym i poziomym w dwóch kolejnych oraz z filtra do usuwania fosforu. W złożach posadzono: mannę mielec, trzcinę pospolitą i wierzbę wiciową. Ścieki oczyszczone odpływają do stawu infiltracyjnego. Oczyszczalnia w widoku z góry ma kształt jodły (strzałki).

Obiekt nr 2 jest zlokalizowany miejscowości Stare Załucze w gminie Urszulin, na terenie Poleskiego Parku Narodowego. Został wybudowany w 2015 roku z przeznaczeniem do oczyszczania ścieków bytowych z budynku Ośrodka Dydaktyczno-Muzealnego z liczbą 10 osób i przyjętym odpływem ścieków 1 $m^3 \cdot d^{-1}$. Układ technologiczny oczyszczalni składa się z: 3-komorowego osadnika gnilnego, dwóch szeregowo połączonych złóż gruntowo roślinnych o pionowym przepływie w pierwszym i poziomym w drugim oraz z filtra do usuwania fosforu. W złożach posadzono: mannę mielec i trzcinę pospolitą. Oczyszczone ścieki odpływają do stawu infiltracyjnego, obsadzonego roślinnością wodno-błotną. Oczyszczalnia w rzucie ma także niestandardowy kształt, bowiem jest to żółw.

Autor poddał analizie kilka czynników, istotnych z punktu widzenia sprawności działania tego typu obiektów i zjawiska rozkładu substancji organicznej w złożach. Procesy zachodzące w nich, pomimo prostej ich konstrukcji, są złożone i ciągle niedostatecznie rozpoznane, a ich identyfikacja i opis matematyczny są trudne. Ważnym zagadnieniem jest poprawny dobór parametrów złoża gruntowo roślinnego, tzn. obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń, obciążenia hydraulicznego, wymiarów geometrycznych, rodzaju wypełnienia i jego porowatości rodzaju roślin posadzonych na złożu. Parametry te wpływają na czas przebywania ścieków w złożu, kształtują proces biodegradacji zanieczyszczeń. Zły dobór parametrów może oprócz niskiej sprawności oczyszczania prowadzić, np. do szybkiej kolmatacji złoża, a zatem skrócenia żywotności oczyszczalni.

Przeprowadzone prace terenowe obejmowały badania objętości ścieków doprowadzanych do oczyszczalni, dynamikę zamian tej objętości, a także charakterystykę jakościową ścieków surowych i po poszczególnych złożach roślinnych, aż po ścieki oczyszczone. Poddane analizie wyniki Autor uzyskał prowadząc badania w okresie 5 lat. Próby ścieków były pobierane sezonowo 4-krotnie w roku w pięciu punktach oczyszczalni w Kosobudach i w ośmiu oczyszczalni w Starym Załuczu. Taki dobór punktów poboru prób

pozwolił na ocenę zmian jakości ścieków w poszczególnych urządzeniach pracujących w układzie szeregowym oraz w Starym Załuczu dodatkowo w układzie równoległym. Wykonano łącznie 1670 oznaczeń badając 10 wskaźników w 167 próbach, w tym: pH, wielkość BZT_5, $ChZT_{Cr}$, stężenie tlenu rozpuszczonego, zawiesiny ogólnej, azotu amonowego, azotanowego, azotynowego i fosforu ogólnego. Analizy chemiczne były wykonywane w Laboratorium Katedry Inżynierii Środowiska i Geodezji UP. Uzyskane wyniki pozwoliły na osiągniecie celu pracy, którym było ustalenie efektywności i niezawodności usuwania zanieczyszczeń w poszczególnych urządzeniach dwóch badanych hydrofitowych oczyszczalni, a także w całych oczyszczalniach.

5. Ocena rozprawy

Przyjęty temat rozprawy został trafnie dobrany i jest wartościowy, tak z punktu widzenia nauki jak i praktyki. Wzrost potrzeb w zakresie stosowania w praktyce rozwiązań skutecznych w oczyszczaniu małych ilości ścieków, na terenach niezurbanizowanych o ograniczonych możliwościach stosowania kanalizacji zbiorczych, podwyższa znaczenie praktyczne podjętych badań. Przyjęty zakres badań daje możliwości poprawnego wnioskowania i odpowiedzi na tytuł pracy.

Należy stwierdzić, że przyjęta metoda badań spełnia wymogi nowoczesnego warsztatu badawczego. Podkreślają to dodatkowo wykorzystane w rozprawie modele i programy obliczeniowe. Przeprowadzony przegląd literatury specjalistycznej, a także analiza wyników badań wskazuje, że Autor rozprawy posiada wystarczającą wiedzę teoretyczną w zakresie dyscypliny naukowej, której dotyczy rozprawa, a także opanował dyscypliny podstawowe niezbędne do prowadzenia badań, do których należy zaliczyć matematyczne opracowywanie wyników i interpretację rezultatów statystycznych opracowań wyników.

Do osiągnięć Autora dysertacji należy zaliczyć między innymi:

1. Przeprowadzenie 5 letnich jakościowo-ilościowych badań terenowych na funkcjonujących dwóch hybrydowych hydrofitowych oczyszczalniach ścieków. Ambitne zadanie obejmowało badania obciążenia hydraulicznego obiektów, jakości ścieków surowych, oczyszczonych mechanicznie w osadniku i biologicznie w złożach gruntowo-roślinnych z przepływem pionowym i poziomym oraz całych oczyszczalni.
2. Ocenę niezawodności funkcjonowania badanych systemów hydrofitowych podczas wieloletniej eksploatacji, którą wyznaczono jako liczbę dni w roku, kiedy oczyszczalnia działa poprawnie, tzn. nie występuje przekroczenie dopuszczalnych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych.

3. Zastosowanie nowoczesnego warsztatu obliczeniowego przy opracowywaniu i analizie uzyskanych wyników badań.
4. Duże znaczenie praktyczne uzyskanych rezultatów, które mogą być wykorzystane w doskonaleniu zasad projektowania, budowy i eksploatacji tego typu obiektów infrastruktury technicznej.

Dokonując oceny rozprawy chciałbym przedstawić pewne uwagi, są to:

- Na str. 14 w tab. 1 Autor nie zamieścił odnośnika „d" doprecyzowującego dane w tabeli.
- Na rys. 9, co prawda jest to rysunek schematu technologicznego podany na podstawie literatury, jednak budzi wątpliwości wysokościowe usytuowanie przewodu doprowadzającego ścieki do studzienki z dozownikiem lewarowo-syfonowym, bowiem przy takim rozwiązaniu przewód będzie ciągle zatopiony, a tak nie powinno być, bowiem to zagraża jego drożności.
- Na str. 42 w pierwszym wierszu 3 akapitu jest zbędne określenie *„flotacji"* bowiem zawiesiny łatwo opadające są usuwane w procesie sedymentacji, a nie sedymentacji i flotacji.
- Na str. 71 w podpisie rysunku 23 podano, że są to średnie roczne sumy opadów, natomiast to nie są średnie, lecz sumy roczne opadów w poszczególnych latach okresu badawczego, a zatem należy skreślić słowo *„średnie"* w podpisie rysunku i w pierwszym wierszu tekstu pod rysunkiem.
- Przy opisie obiektu w Kosobudach podano na str. 81^6, że *„obsługuje około 20 osób – mieszkańców i pracowników RPN"*. Byłoby wskazane, aby podać ilu obsługuje mieszkańców, bowiem zużycie wody przez mieszkańca jest kilkakrotnie wyższe od pracownika i o innym charakterze odpływu w ciągu doby. Co prawda Autor pisze na str. 112 iż to było niemożliwe, ale można było założyć dziennik, w którym by zapisywano liczbę mieszkańców, np. przy każdym poborze prób ścieków. Autor dla ustalenia obciążenia hydraulicznego wykorzystuje dane udostępnione przez RPN, które obejmują kwartalne odczyty zużycia wody i na ich podstawie określa średnio dobowe obciążenia hydrauliczne oczyszczalni w okresach kwartalnych, rys. 29. W początkowym okresie badań było ono około 1,5 $m^3 \cdot d^{-1}$, aby po dwóch latach zmniejszyć się do wartości poniżej 1 $m^3 \cdot d^{-1}$. Do obciążenia hydraulicznego odniosę się jeszcze w dalszej części recenzji.
- Na str. 81_2 przy opisie obiektu Kosobudy Autor podaje, że ścieki oczyszczone są odprowadzane do stawu infiltracyjnego, natomiast na rys. 27, że jest to oczko wodne,

zaś na str. 86_1, że staw infiltracyjny. Nazwa tego urządzenia wymaga doprecyzowania.

- Podobne wątpliwości powstają w przypadku odbiornika ścieków z oczyszczalni w Starym Załuczu. Na str. 88_{1-2} podano, że jest to *„staw hydrofitowy (infiltracyjny) … obsadzony rodzimą roślinnością wodno-błotną*", a na rys. 28, że to oczko wodne, natomiast na str. 96_{1-2}, że odbiornikiem ścieków oczyszczonych jest „*staw infiltracyjny"*, natomiast przy jego opisie konstrukcyjnym autor pisze, że „*dno i skarpy uszczelnione zostały geomembraną hydroizolacyjną o grubości 1 mm"*, a zatem nie jest to staw infiltracyjny, lecz staw retencyjny. Podobnie jak w przypadku obiektu w Kosobudach nazwa odbiornika ścieków wymaga jednoznacznego określenia.
- Str. 118_{13} zamiast „*wyższe*" powinno być „*niższe*".
- Str. 122_{10-13} zasugerowano, co nie jest prawdą, „…,*że średnie stężenie fosforu ogólnego w ściekach surowych kształtowało się na poziomie 21,4 – 63,1 mg·d^{-3} (w układach jednostopniowych) oraz 8,2 – 39,8 mg·d^{-3} (w układach hybrydowych)".* Zdanie to próbuje uzależnić stężenie fosforu w ściekach surowych od rodzaju oczyszczalni, a tak nie jest.
- Str. 150, tab. 21 Autor podał średnią wartość odczynu pH, co powoduje postawienie pytania czy policzył tak jak normalnie liczy się średnią, a zatem suma składników podzielona przez ich liczbę, czy z uwzględnieniem, że są to wartości logarytmiczne. W innych tabelach nie podano wartości średniej, co jest poprawne.
- Na rys. 71 pokazano jednorazowy 18 krotny wzrost stężenia azotu ogólnego po złożu poziomym. Przypadków dużego wzrostu wskaźnika (azotu ogólnego lub fosforu ogólnego) jest więcej w otrzymanych wynikach, natomiast Autor nie próbuje ustalić przyczyny takich wyników, np. uzasadniając dodatkową ich krytyczną oceną i że są one rzeczywiste oraz odzwierciedlające stan złoża, a nie wynikiem błędów podczas pobierania prób, czy oznaczania wskaźnika.
- W kontekście powyższej uwagi można zasugerować, aby przy prowadzeniu dalszych badań rozbudować je o pomiary ciągłe objętości zużycia wody (dopływu ścieków do oczyszczalni) i objętości odpływających ścieków, a także co jest ważne wysokości dobowych opadów atmosferycznych oraz temperatury powietrza. Dodatkowe obciążenie hydrauliczne wodą opadową zmienia warunki w złożach. Weźmy, np. oczyszczalnię w Kosobudach obciążoną średnio ściekami około 1 $m^3 \cdot d^{-1}$. Jeżeli wystąpi dobowy opad, np. 30 mm to do złóż dostanie się dodatkowo 6,4 $m^3 \cdot d^{-1}$ wody, a zatem obciążenie hydrauliczne wzrasta ponad sześciokrotnie. Powstaje pytanie jak ta woda zostanie „skonsumowana". Jaka jej część odpłynie i jakie spowoduje zmiany jako-

ściowe odpływu. Takie badania i bilans wodny oczyszczalni wniosłyby dodatkowe cenne dane pozwalające na pogłębioną analizę pracy złóż gruntowo roślinnych, np. ich sprawności w okresach pogody bezdeszczowej i przy występowaniu wysokich opadów. Należy wspomnieć, że przy rocznych opadach w wieloleciu badawczym, np. we Floriance wahających się od 541 do 815 mm do złóż gruntowo roślinnych w Kosobudach o powierzchni 180 m^2 dostaje się woda o objętości od 97,4 do 146,7 m^3, w zależności od roku badawczego, a jest wiadome, że obciążenie hydrauliczne jest jednym z podstawowych czynników kształtującym procesy w złożach gruntowo roślinnych.

- Na str. 183_4 Autor pisze, że „*oczyszczalnia działa wadliwie",* co uważam za określenie zbyt mocne, bowiem w 27% czasu jej pracy redukuje azot w niewystarczającym stopniu, a w pozostałym czasie uzyskuje się w pełni zadowalające efekty.

Przedstawione uwagi nie umniejszają walorów merytorycznych rozprawy, a ich podanie w niniejszej recenzji ma na celu jej udoskonalenie przed opublikowaniem, a podczas obrony podjęcie dyskusji z doktorantem. Inne drobne uwagi, w większości edycyjne pomijam w niniejszej recenzji (zaznaczyłem je na wydruku pracy i mogę przekazać Autorowi). Uważam, że nie są one ważne i nie będą przyczynkiem do merytorycznej dyskusji.

Reasumując, wyniki badań i ich opracowanie pozwalają na stwierdzenie, że Autor rozwiązał postawione zadanie, a użyta metoda była właściwa i odpowiadała aktualnemu stanowi wiedzy naukowej i technicznej w tym zakresie. Uzyskane rezultaty są cenne dla praktyki. Przedstawione w zakończeniu wnioski są precyzyjne i dają odpowiedź na problem postawiony w temacie.

6. Ocena końcowa

Biorąc pod uwagę walory merytoryczne recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Malika pt. „Efektywność usuwania zanieczyszczeń w hybrydowych hydrofitowych oczyszczalniach ścieków na terenie wybranych parków narodowych", rozumiane zarówno w kategorii naukowej jak i praktycznej stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawarte w „Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki" z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789), obowiązującej na podstawie ustawy z lipca 2018 roku Przepisy wprowadzające – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669).

Rozprawa rozwiązuje konkretny i ważny dla praktyki problem, stanowi postęp w specjalności gospodarki wodno-ściekowej mieszczącej się w byłej dyscyplinie ochrona i kształtowanie środowiska, a obecnej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Jest ona oryginalnym opracowaniem i cechuje ją duży stopień przydatności do praktycznego

wykorzystania. Mgr inż. Arkadiusz Malik wykazał, że posiada wiedzę teoretyczną w dyscyplinie i umiejętność zaprogramowania i prowadzenia pracy naukowej. Wnoszę zatem o Jego dopuszczenie do publicznej obrony.

Kraków, dnia 4.04.2023 r.