

dr hab. inż. Łukasz Jurczyk, prof. UR  
Uniwersytet Rzeszowski  
Wydział Technologiczno-Przyrodniczy  
Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska  
ul. Ćwiklińskiej 1A, 35-601 Rzeszów  
tel. 17 872 17 25, e-mail: ljurczyk@ur.edu.pl

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Izabeli Kiełb-Sotkiewicz  
pt. „*Możliwości poprawy jakości mikrobiologicznej ścieków oczyszczonych*”

### 1. Przedmiot i podstawa formalna opracowania recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „*Możliwości poprawy jakości mikrobiologicznej ścieków oczyszczonych*”, której autorem jest mgr inż. Izabela Kiełb-Sotkiewicz, a promotorem dr hab. Justyna Zamorska, prof. PRz.

Podstawę formalną przygotowania recenzji stanowi uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza z dnia 13 listopada 2024 r., oraz skierowane na jej podstawie do mnie pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Pana prof. dr hab. inż. Daniela Słysia, z dnia 28 listopada 2024 r.

### 2. Uzasadnienie podjęcia tematu – opis tez, celów i zakresu pracy

Formułując główną tezę pracy, autorka postanowiła dowieść, że *Możliwa jest higienizacja ścieków bytowych pochodzących z miejskich, komunalnych oczyszczalni [...] rozumiana jako poprawa jakości mikrobiologicznej ścieków oczyszczonych, czyli redukcja liczebności organizmów wskaźnikowych, co bezpośrednio przekłada się na redukcję liczebności mikroorganizmów patogennych.* Ponadto założyła, że przez stosowanie procesów higienizacji ścieków oczyszczonych możliwe jest złagodzenie ich negatywnego wpływu na jakość wód odbiornika, wydłużenie czasu skuteczności działania procesów i wzrost potencjału ponownego wykorzystania. Stwierdziła też, że przy ustalaniu parametrów dezynfekcji, *możliwe jest wykorzystanie szybkich metod oznaczania mikroorganizmów, takich jak luminometria czy cytometria przepływowa.*

W celu potwierdzenia tych tez postawiła sobie za zadanie wykazanie, że stosowane metody dezynfekcji ścieków oczyszczonych w połączeniu z działaniem biopreparatów mogą stanowić naturalną, bezpieczną i przede wszystkim skuteczną metodę poprawy jakości mikrobiologicznej ścieków oczyszczonych, a szczególnie określenie skuteczności działania biopreparatów w poprawie jakości mikrobiologicznej ścieków oczyszczonych; określenie efektywności dezynfekcji ścieków z zastosowaniem promieniowania UV i badanie stabilności mikrobiologicznej po tym procesie oraz określenie efektywności ozonowania i stabilności mikrobiologicznej ścieków po procesie ozonowania. Następnie opracowała dość rozbudowany problem badawczy, wskazując na: rosnący deficyt dostępnej wody w Europie i pogorszenie jej jakości, brak wystarczających wymagań dotyczących utrzymywania standardów mikrobiologicznych ścieków oczyszczonych, przy potencjalnym zagrożeniu epidemiologicznym w odbiornikach, będących jednocześnie źródłami wody pitnej, brak powszechnie stosowanych w kraju metod dezynfekcji ścieków, a w końcu, brak wystarczających danych o stabilności mikrobiologicznej ścieków oczyszczonych odprowadzanych do odbiorników.

Tematykę pracy uważam za ciekawą i zasadną, a waga poruszanych zagadnień będzie zapewne coraz większa, wraz z postępującymi zmianami klimatycznymi jakie przychodzi nam obserwować w ciągu życia, rosnącym zapotrzebowaniu na wodę do celów rolniczych, komunalnych i przemysłowych, oraz zaostrzających się skutkach kryzysu środowiskowego. Coraz liczniejsze są głosy autorytetów przewidujących, że woda stanie się w kolejnych dekadach latami podstawowym zasobem strategicznym, aż do poziomu polityki międzynarodowej.

W mojej ocenie autorka postawiła sobie ambitny cel, zważywszy na stosowane w praktyce metody oczyszczania ścieków, szeroki zakres dostępnych metod ich higienizacji, a przede wszystkim ogromną i w dużej mierze nieopisaną społeczność mikroorganizmów, jakie w nich występują i mogą stanowić potencjalne zagrożenie dla środowiska oraz życia i zdrowia.

Realizacja tak postawionych celów wymagała więc dość rozbudowanej metody badawczej, obejmującej przemyślany ciąg eksperymentów i opisu dużego zestawu danych.

### **3. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej – układ oraz zawartość pracy**

Przedstawiona mi do recenzji praca doktorska mgr inż. Izabeli Kiełb-Sotkiewicz, licząca wraz z załącznikami 295 stron, przygotowana została w postaci monografii napisanej w języku polskim. Praca została wzbogacona o elementy graficzne w postaci 56 wykresów i 15 rysunków, oraz 20 tabel, a ponadto 49 tabel (tab. 24 podzielona na część a-c) stanowiących *Załączniki*, zawierające dane szczegółowe uzyskane w badaniach Doktorantki omówionych w treści rozprawy. Na stronie 261 znaleźć można *Abstrakt*, a na odwrocie, jego tłumaczenie w języku angielskim.

Bibliografia jest cytowana zgodnie z kolejnością przytaczania w tekście, bez podziału na kategorie, jest to jednak uzasadnione liczbą źródeł, bowiem spis literatury użytej do przygotowania dysertacji obejmuje aż 461 pozycji. Pośród nich naliczyłem: 38 dokumentów o charakterze wytycznych, ekspertyz, raportów, zaleceń czy artykułów przygotowanych przez instytucje, 10 polskich i międzynarodowych aktów prawnych i norm oraz 11 oznaczonych jako strony internetowe (moim zdaniem o kilka więcej). Doktorantka wymienia w tym spisie 5 swoich prac, z czego dwie napisane są samodzielnie (w tym jedyna w języku polskim), a w pozostałych, przygotowanych wspólnie z promotorem, jest pierwszym lub drugim autorem.

Pracę napisano w tradycyjnym, dla tego typu dysertacji, układzie i podzielono na dwie wyraźnie zaznaczone przez autorkę części – *I. Część teoretyczną* zawartą na 67 stronach oraz *II. Część doświadczalną*, zawierającą merytoryczny opis na pozostałych 99 stronach, zakończoną spisem wykresów, rysunków i tabel, rozbudowanymi załącznikami zajmującymi aż 78 stron i spisem literatury na 32 stronach.

Część teoretyczna jest poprzedzona *wykazem najważniejszych definicji*, a pod tak sformułowanym nagłówkiem Doktorantka definiuje i wymienia różnice pomiędzy sterylizacją, dezynfekcją i higienizacją, co mogłoby się znaleźć w treści kolejnych rozdziałów, jednak rozumiem ten zabieg jako przemyślane wprowadzenie czytelnika na właściwe tory, w kontekście tematyki pracy dotyczącej skuteczności eliminacji mikroorganizmów na założonym poziomie. Następnie Doktorantka krótko uzasadnia wybór tematyki badań (1.), omawia tezy (główną i cztery dodatkowe) i cele pracy (główny i 3 szczegółowe)(2.1), syntetycznie opisuje problematykę badawczą (2.2) oraz omawia zakres pracy (2.3). W kolejnym rozdziale (3) wymienia i opisuje wymagania jakie stawiają regulacje krajowe i unijne przed oczyszczaniem i dezynfekcją ścieków, oraz wskazuje na możliwości ich legalnego ponownego wykorzystania zgodnie z ideą GOZ. Następnie omawia wiadomości z zakresu praktyk w dezynfekcji (4.1) i ponownym wykorzystaniu (4.2.) ścieków, rozpoczynając od danych historycznych, a kończąc na licznych przykładach zebranych z terenu Polski, wybranych krajów UE i świata – wskazujących na rosnące potrzeby i potencjał recyklingu ścieków. W rozdziale 5. Doktorantka podkreśla jednak zagrożenia mikrobiologiczne związane z uwalnianiem ścieków do odbiornika, wskazując na początku, że wymagania dla ścieków komunalnych zazwyczaj dotyczą parametrów fizyko-chemicznych, podczas gdy oznacza się w nich znaczące koncentracje szerokiego spektrum gatunków mikroorganizmów, w tym chorobotwórczych. Opisuje też, jak poszczególne etapy oczyszczania osadem czynnym, oraz inne metody oczyszczania, obniżają wskaźniki mikrobiologiczne. Podsumowując twierdzeniem, że nawet mikroorganizmy, w tym patogenne i chorobotwórcze, które „[...] przedostają w ograniczonym stopniu, wraz z odprowadzaniem ścieków do odbiornika, do wód powierzchniowych. To potencjalne zagrożenie dla zdrowia

ludzkiego i realna degradacja środowiska (m.in. wód powierzchniowych), dlatego tak ważne jest stosowanie trzeciego etapu oczyszczania ścieków – dezynfekcji i higienizacji. Następnie krótko charakteryzuje główne grupy mikroorganizmów występujące w ściekach – wirusy, bakterie, pierwotniaki, pasożyty jelitowe i grzyby, z podkreśleniem ich potencjalnej patogenności, przeżywalności i odporności na usuwanie metodami technicznymi. Wreszcie w rozdziale 6. autorka wskazuje na *Możliwości poprawy jakości mikrobiologicznej ścieków w celu ich ponownego wykorzystania*, omawiając najpierw (na 8 stronach) metody biologiczne oparte o biopreparaty - ich podział, mechanizm działania, skład gatunkowy i dodatki, formę stosowania oraz możliwości wykorzystania. Szczególną uwagę przykłada do opisu roli bakteriocyn w biopreparatach. Następnie opisuje (6.2.) *Fizyczne metody dezynfekcji ścieków*, koncentrując się głównie na promieniowaniu UV i opisując kolejno mechanizm uszkodzenia przez nie materiału biologicznego, wrażliwość form i jednostek taksonomicznych mikroorganizmów, skuteczność działania różnych zakresów promieniowania UV, mechanizmy naprawy uszkodzeń materiału genetycznego, a w tym kontekście stabilność mikrobiologiczną ścieków oczyszczonych oraz drogi rozwoju technologii UV. Z kolei w podrozdziale 6.3. *Chemiczne metody dezynfekcji ścieków – ozonowanie* wskazuje najpierw wady najpowszechniej stosowanych metod chemicznej dezynfekcji, stawiając ozonowanie jako ich alternatywę. Opisuje mechanizm działania O<sub>3</sub> na materiał biologiczny, warunki technologiczne wpływające na skuteczność jego stosowania i mechanizmy reakcji. Część teoretyczna kończy się rozdziałem 7. *Metody oznaczania mikroorganizmów*, jakimi autorka posługuje się w części doświadczalnej, który jest zgodnie z tym podzielony na 3 części obejmujące: klasyczne *metody hodowlane* (7.1), *szybkie metody* (7.2) oraz *Metody molekularne – PCR* (7.3). Pierwsza część opisana jest dość pobieżnie, i zabrakło mi tu podkreślenia wad i zalet metod klasycznych, z tych bowiem powodów rozwijane są metody opisywane w dalszej części. W drugim podrozdziale opisuje luminometrię ATP i wyczerpująco FCM - tutaj widać szczególne przygotowanie i wiedzę w zakresie tej trudnej technicznie metody.

Z kolei interesujące jest dlaczego PCR nie został również przyporządkowany do „metod szybkich”, skoro już w pierwszym zdaniu pisze o *szybkim, skutecznym i dokładnym ich rozpoznaniu*, w kontekście metod molekularnych w diagnostyce patogenów? Nie do końca zgodzę się też z twierdzeniem że: *reakcja PCR umożliwia jedynie wykrycie jednego rodzaju wirusa na raz* – w jednej próbówce można prowadzić kilka „reakcji” celowanych w różne loci, czy unikalne sekwencje tego samego locus, ale wymaga to użycia kilku sond z różnymi barwnikami.

Autorka podaje też liczne przykłady z literatury naukowej na wykorzystanie PCR w ocenie mikrobiologicznej każdego z etapów oczyszczania ścieków. Dodałbym tu, że markery ilościowej

analizy bakterii w technologii osadu czynnego (m.in. *Nitrosomonas* spp.) opracowano nawet przed wprowadzeniem na rynek technologii PCR czasu rzeczywistego.

Praca jest rozbudowana pod względem metod analitycznych i wariantów badawczych – moim zdaniem można byłoby ją zawęzić, a materiału wciąż wystarczyłoby na dobrą dysertację doktorską. Część doświadczalną (II) Doktorantka rozpoczyna od opisu instalacji w Rzeszowie i Tarnobrzegu (1.), z których pobierała ścieki oczyszczone do eksperymentów. Następnie opisuje metodykę próbkowania (2.1), by wreszcie przejść do przebiegu eksperymentów, które podzielono na 3 etapy. Kolejno charakteryzuje wykorzystany w badaniach zestaw 12 biopreparatów i 6 konfiguracji w jakich prowadzono serie badawcze. Następnie opisuje *Metodykę badania działania promieniowania ultrafioletowego* (2.2.2), obliczając dawki promieniowania dla 4 zastosowanych czasów ekspozycji i skrajnych mocy promiennika. W *Metodyce badania skuteczności działania ozonu* (2.2.3) opisany został układ eksperymentalny i uzyskiwane w nim stężenia ozonu. W dalszej części autorka definiuje i określa sposób badania stabilności mikrobiologicznej (2.2.4) oraz opisuje szczegółowo etapy i warianty badania wpływu biopreparatów na jakość mikrobiologiczną ścieków (2.2.5), po czym przechodzi do *metodyki oznaczeń* (2.3), która w przypadku analiz fizyko-chemicznych była znormalizowana. Siedem oznaczeń wskaźników mikrobiologicznych (2.3.2) było również wykonywanych zgodnie z normami (PN lub ISO). Brakuje natomiast krótkiego opisu zastosowanego wariantu PCR, o czym wspominam dalej w uwagach. Oznaczenia grupy *coli* wykonano 3 metodami, stosując wszystkie wymagane zakresy czasów i temperatur inkubacji. Następnie opisano metodykę pomiarów ATP i bardzo szczegółowo, wyjaśniono sposób analiz oraz znaczenie wskaźników otrzymywanych w cytometrze przepływowym. Tabela z parametrami fizykochemicznymi ścieków oczyszczonych, od której zaczyna się opis *wyników*, mogłaby się znaleźć w opisie instalacji z których próbkowano ścieki, co jednak wymagałoby ingerencji w strukturę pracy, zgodnie z zasadami umieszczania danych chronologicznie po opisie sposobów ich uzyskania.

Dalej autorka stosuje schemat zastosowany w poprzednich częściach pracy, najpierw opisując wyniki wykorzystania biopreparatów w higienizacji ścieków (3.2) - wpływ dawki, czasu stosowania, dodatkowego natleniania, formy podania, podłoża i jego oddzielenia na skuteczność usuwania bakterii z grupy *coli*, za każdym razem podpierając się wynikami hodowli i pomiarami ATP i FCM, oraz uzupełniając danymi z hodowli paciorkowców kałowych. Powyższe dane potwierdziła analiza genomu bakteryjnego w próbkach ścieków oczyszczonych inkubowanych z biopreparatami podając je w postaci wyciągu z zawartością bakterii z rodzajów zaliczanych do grupy *coli*. Podała także wyniki zmian parametrów fizykochemicznych ścieków poddanych działaniu biopreparatów – pH mętności i barwy. Ta część kończy się siedmiostronicową *Dyskusją*, opartą o 33 źródła. W tym miejscu znalazłem, między innymi, wytłumaczenie

rozbieżności między wynikami PCR, a tradycyjnymi metodami hodowlanymi. Zgodnie z powyższym schematem, autorka dysertacji opisuje następnie wyniki dotyczące wykorzystanie promieniowania UV - skuteczności zastosowanych dawek oraz stabilność mikrobiologiczną oraz wpływu biopreparatów na jakość mikrobiologiczną ścieków po procesach dezynfekcji, co również wyczerpująco *Dyskutuje* na czterech stronach (naliczyłem 29 pozycji literatury), po czym opisuje 3.4. wyniki ozonowania ścieków oczyszczonych - skuteczne dawki, ich wpływ na stabilność mikrobiologiczną, wpływ wybranego biopreparatu na jakość mikrobiologiczną ścieków po procesach utleniania oraz jego wpływ na ich barwę. Również te wyniki są przedyskutowane (3.4.5.) na 4 stronach, z 31 pozycjami literatury.

Autorka sformułowała 22 wnioski, z których za najciekawsze uważam te dotyczące zastosowania biopreparatów i ich kombinacji z metodami fizykochemicznymi. Cykl eksperymentów potwierdził, że chociaż wprowadzanie biopreparatów bezpośrednio do ścieków oczyszczonych może stymulować bakterie z grupy *coli*, to dobór odpowiedniego biopreparatu, w wystarczająco wysokiej dawce pozwala zahamować rozwój *E. coli*. Wskazano również, że oddzielenie mikroorganizmów od podłoża wpłynęło na poprawę skuteczności ich działania. Z kolei aplikacja mikroorganizmów wyizolowanych z biopreparatu bogatego w bakterie kwasu mlekowego do ścieków oczyszczonych poddanych higienizacji promieniowaniem UV, pozwoliła na utrzymanie efektu dezynfekcji i zatrzymanie odbudowy bakterii *coli*. Wskazano również, że działanie to jest efektywniejsze w niskich temperaturach i ciemności. W pracy potwierdzono, że wykorzystanie tzw. „szybkich technik” mikrobiologicznych (ATP i FCM) pozwala uzyskać użyteczne informacje na temat stanu sanitarnego ścieków oczyszczonych oraz może być narzędziem przydatnym w doborze zarówno właściwych dawek promieniowania jak i stężeń utleniacza.

Wszystkie omawiane wyniki, oprócz opisu w tekście, przedstawione są dodatkowo w czytelnej w formie graficznej, z odniesieniem do danych szczegółowych zebranych w tabelach *Załączników* (8.).

#### **4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne o charakterze edytorskim i merytorycznym**

Recenzentowi udało się wyłapać kilka błędów o charakterze edytorskim, bądź nie do końca precyzyjnych sformułowań, które nie obniżają istotnie wartości naukowej pracy, ale wymagają wyjaśnień.

1. Str. 30. - edytując fragment dotyczący negatywnego oddziaływania ścieków oczyszczonych na odbiorniki, autorka prawdopodobnie nie usunęła punktu „*Zagrożenia dla ekosystemów żyjących w wodzie...*”, którego sens wydaje się być taki sam, jak punktu poprzedzającego go.

2. W tekście na str. 32 zacytowano *Metcalf i Eddy [46]*, w spisie literatury jest to pozycja „[45] *Metcalf & Eddy, 2004, Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. IV edition*” – czy jednak nie powinni być wymienieni Tchobanoglous G., Stensel H.D., Tsuchihashi R. i Burton F.L.?
3. Str. 45. „...*Ascaris lumbricoides i Trichuris trichura, należących do rodziny helmintów*” – jest to stary termin, wprowadzany jeszcze czasem w języku branżowym, jednak kiedy w pracy używamy systematyki, powinniśmy go unikać, ponieważ pierwszy gatunek należy do rodziny *Ascarididae*, a drugi *Trichuridae*.
4. 11 pozycji w spisie bibliografii oznaczono jako strony internetowe. Moim zdaniem jest ich o kilka więcej. Pozycje opisanych jako *dostęp na dzień* jest 29, część z nich zawiera dokumenty, część jednak, jak np. strony MPWiK, czy producentów biopreparatów, uznałbym za strony internetowe.
5. W spisie literatury zabrakło dat publikacji w pozycjach [349] *Asvapathanagul i in.* – 2012, w [354] *Huang i in.* – 2010, [275] *Dymaczewski i in.* – 2019, [123] *Ramaiah i in.* – 2007
6. Str. 49. „*W biopreparatach ich stężenie jest znaczne – przykładowo 1 g kultur bakteryjnych może zawierać od 10<sup>4</sup> do 10<sup>9</sup> bakterii*” – generalnie w przypadku zawiesin komórek, a więc i mikroorganizmów, powinno się raczej używać innego wyrazu, np. *koncentracja*. Prowadzi to do pewnej dezorientacji podczas tłumaczenia z języka angielskiego, jednak staramy się w ten sposób odróżnić *stężenie*, rozumiane jako miara ilości substancji (zazwyczaj w sensie chemicznym) w mieszaninie, od tzw. *gęstości liczbowej*, określająca liczbę obiektów przypadających na jednostkę objętości. W dużej mierze zależy to od użytej do opisu jednostki (np. stężenie zawiesin).
7. Umknęło mi dlaczego warianty iradiacji oznaczono jako *UV100, 80* itd.? Na str. 83, czytamy „*Zastosowano różne czasy ekspozycji, co wiąże się z różnym przepływem ścieków przez promiennik*”, a na str. 124. „... *przy wszystkich zastosowanych prędkościach (UV40, UV60, UV80 i UV100)...*”, w metodyce zaś podano już wyliczone czasy ekspozycji. Czy opisy wynikają z ustawień pompy dozownika (ml/sek.)?
8. We wprowadzeniu autorka użyła zwrotu „*ekstensywna produkcja i gospodarka rolna*” w kontekście rosnących trudności w dostępie do czystej wody. Czy nie chodziło raczej o *intensywną produkcję*? Produkcja ekstensywna powinna raczej pozytywnie wpływać na jakość wody, chociaż, jak każda uprawa rolna, również wiąże się z jej zużyciem.
9. Zastosowane w pracy metody molekularne miały znaczenie uzupełniające, a ich zadaniem było potwierdzenie w badanym materiale obecności bakterii z grupy *coli* – co wykazano. Jednak, w treści rozdziału 2.3.2. *Wskaźniki mikrobiologiczne* i w tabeli 12. *Wskaźniki jakości mikrobiologicznej badanych ścieków i biopreparatów* - PCR pozostaje bez opisu. W części

metodycznej czytelnik znajduje jedynie informacje, że: *Badanie, w formie zlecenia, wykonane zostało przez IUNG w Puławach. W Jednocześnie w Załączniku 24c. Wyniki badań metodą PCR na obecność bakterii z grupy coli w ściekach oczyszczonych z dodatkiem biopreparatów najwyraźniej wkraść się najwyraźniej błąd - wartość %, podczas gdy charakter uzyskanych wyników (zakres danych, oraz liczba sklasyfikowanych taksonów) nie wskazują na to. Stąd wynika pytanie – jaką odmianą, czy też odmianami PCR uzyskano wyniki i czy mają one charakter bezwzględnie ilościowy czy raczej jakościowy?*

10. Obrazy z FCM (np. *Rys. 10 a-f*) są mało czytelne, a moim zdaniem ważne dla zrozumienia sposobu analizowania danych. W przypadku publikacji należałoby poprawić ich jakość i opisać wyczerpująco elementy rysunku. Również dane zebrane w załączniku 24 uważam za ciekawe i cenne, dlatego wymagają uporządkowania i przedstawienia w atrakcyjnej formie graficznej w przypadku ich publikacji.

Jednocześnie rola Recenzenta pozwala mi na zadanie kilku pytań będących przyczynkiem do dyskusji i poszerzenia wiedzy, co niniejszym czynię.

1. Reżim hydrologiczny rzek biegnących na terenach skąd pobierano próbki, charakteryzuje się znacznymi sezonowymi wahaniami przepływu. Rozważając z jednej strony te skrajne wartości, które mogą ulec pogłębieniu oraz wydłużeniu wraz z nasilaniem się zjawisk związanych ze zmianami klimatycznymi, a z drugiej, skalą zapotrzebowania na wodę jaką pobiera się na potrzeby ludności i przemysłu, często z rzeki stanowiącej również odbiornik ścieków, rodzi się pytanie, jakie techniczne rozwiązania i kierunek ponownego wykorzystania ścieków poddanych higienizacji, byłby według autorki najwłaściwszy, bez jedoczesnego zagrożenia przepływu nienaruszalnego?
2. Jeżeli wyobrazić sobie proporcję biopreparatów w stosunku do ścieków oczyszczonych w przełożeniu na skalę techniczną, ich praktyczne zastosowanie może się wiązać z pewnymi kosztami operacyjnymi. Jakie rozwiązania byłyby w takim razie możliwe do zastosowania w praktyce, w celu minimalizacji kosztów? Co autorka sądzi o produkcji biopreparatów opartych o mikroorganizmy natywne dla danego odbiornika?
3. Podobnie jak cała dzisiejsza nauka, rozwijane obecnie metody analityczne stają się coraz bardziej interdyscyplinarne, czego dowodem jest metodyka wykorzystana w pracy. Doktorantka opisała metody molekularne koncentrując się na PCR. Co wiadomo o innych metodach obrazowania i identyfikacji mikroorganizmów, które również można zaklasyfikować jako „molekularne”? Czy Doktorantka widzi szczególną możliwość wykorzystania jednej z nich w swoich dalszych badaniach?



4. Na stronie 35. pisze pani, że „*Biologiczne procesy oczyszczania w oczyszczalniach ścieków mogą powodować selektywną eliminację, zmianę proporcji lub jedno i drugie w populacjach bakterii*”. Z kolei na stronie 56. wspomina pani, że „*Należy również zwrócić uwagę m.in. na bakterie odporne na środki przeciwdrobnoustrojowe (antybiotykooporność), które stanowią nowe wyzwanie w procesach oczyszczania i dezynfekowania ścieków. Badania pokazują, że sposób ich skutecznej eliminacji nie jest jeszcze dokładnie poznany i może wymagać zastosowania metod łączonych np. promieniowania UV z chlorem*”. Czy, według Pani wiedzy, fizyczne lub chemiczne metody dezynfekcji mogą również prowadzić do podobnej, selektywnej przeżywalności konkretnych gatunków, grup taksonomicznych, czy może cech (genów)? Jakże może mieć to konsekwencje dla środowiska i zdrowia ludzi?

## 5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Pani mgr inż. Izabela Kiełb-Sotkiewicz ubiega się o stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. W mojej ocenie wykazała się, zarówno w części teoretycznej jak i dyskusji wyników, znajomością współczesnej literatury dotyczącej tematu pracy, umiejętnością planowania i prowadzenia eksperymentów oraz właściwego opracowywania wyników i wnioskowania, co pozwoliło jej ostatecznie osiągnąć zaplanowane w pracy cele. Przedstawioną mi pracę, szczególnie ze względu na jej zakres i stosowane metody analityczne oceniam wysoko, a drobne niedociągnięcia nie umniejszają w istotny sposób jej jakości, szczególnie zważywszy jej objętość.

Tym samym stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Izabeli Kiełb-Sotkiewicz pt. „*Możliwości poprawy jakości mikrobiologicznej ścieków oczyszczonych*” **spełnia wymagania określone w ustawie** z dnia 3 lipca 2018 r. Prawo i szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668, z późn. zm.). W związku z powyższym wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie mgr inż. Izabeli Kiełb-Sotkiewicz do publicznej obrony.

Jednocześnie, ze względu na wysoką wartość naukową i poznawczą pracy, oraz szeroki zakres opisanych w dysertacji badań, wnoszę do Rady Dyscypliny o wyróżnienie recenzowanej rozprawy, jeżeli jest to przyjęte w zwyczaju Wydziału Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury.