

dr hab. inż. Dariusz Kowalski, prof. uczelni
Dyscyplina: inżynieria środowiska, górnictwo
i energetyka
Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 40B
20-618 Lublin

Lublin, 07.06.2023 r.



**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartosza Bogusławskiego
pt. „Wpływ czasu zatrzymania ścieków w rurociągu ciśnieniowym
kanalizacji sanitarnej na stężenie siarkowodoru w studni rozprężnej”**

1. Podstawy formalne sporządzenia recenzji

Recenzja przygotowana została w związku z decyzją, z dnia 22.05.2023 r. Komisji Doktorskiej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora mgr inż. Bartoszowi Bogusławskiemu. O decyzji powołującej mnie na recenzenta zostałem poinformowany przez Prorektora d.s. nauki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, prof. dr hab. inż. Jacka Przepiórskiego, w piśmie z 23 maja 2023 r. Podstawą opracowania recenzji był przesłany na mój adres wydrukowany egzemplarz pracy.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Bartosza Bogusławskiego, pracownika Katedry Inżynierii Środowiska, Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Anna Głowacka, prof. ZUT.

Rozprawa obejmuje 147 stron, w tym streszczenie, abstract, wykaz symboli, spisy tabel i rysunków oraz 3 załączniki. Podzielona jest na 11 numerowanych rozdziałów. W rozprawie zamieszczono 82 rysunków oraz 15 tabel. Pracę uzupełnia wykaz literatury obejmujący 119 pozycji.

3. Charakterystyka i ocena rozprawy doktorskiej

3.1. Zawartość i układ pracy

Jak wcześniej wspomniałem praca została podzielona na 11 numerowanych rozdziałów, które uzupełnia wykaz literatury. Dodatkowo w pracy zamieszczono wykaz ważniejszych symboli, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści, rysunków i tabel oraz załączniki.

Pierwszy rozdział „Wstęp” obejmuje wprowadzenie do tematyki badań, jak również krótkie uzasadnienie ich podjęcia. Następny rozdział „Część teoretyczna” obejmuje podstawowe definicje pojęć wykorzystywanych w dalszej części pracy, jak również przegląd literatury dotyczący procesów powstawania i emisji siarkowodoru ze ścieków. Przegląd uzupełniają informacje dotyczące korozji siarczanowej obiektów kanalizacji, przeciwdziałania tej korozji oraz emisji siarkowodoru, a także najważniejszych obowiązujących aktów prawnych w tym zakresie. Kolejny rozdział „Cel, tezy i zakres pracy” rozpoczyna się od krótkiego uzasadnienia wyboru tematyki badawczej oraz prezentacji głównych problemów związanych z pomiarami

ilości i stężenia gazowego siarkowodoru. W dalszej części rozdziału Autor przedstawia cztery tezy do udowodnienia oraz cele naukowe i zakres pracy. Rozdział czwarty „Materiały i metody” zawiera przyjęte założenia badawcze, opis stanowiska, opis metodyki realizacji pomiarów i oznaczeń, opis przebiegu prac badawczych, a także przyjętą metodykę badań statystycznych. W rozdziałach 5, 6 i 7 „Analiza wyników” Autor przedstawił wyniki przeprowadzonych eksperymentów w kolejnych 3 etapach badań. Dyskusję uzyskanych wyników oraz podsumowanie przeprowadzonych badań Autor przedstawił w rozdziale 8 „Podsumowanie wyników badań etapu I, II i III”. Zawarł w nim wynikowe zależności obrazujące wpływ czasu zatrzymania na zmianę właściwości ścieków oraz emisję siarkowodoru, jak również wpływ właściwości ścieków na stężenia i wskaźniki emisji siarkowodoru. Kolejny rozdział „Prognozowanie stężenia siarczków w ściekach” to zestawienie wyników badań studyjnych obejmujących 7 znanych w literaturze modeli matematycznych wykorzystywanych do prognozowania stężenia siarczków w ściekach. W rozdziale tym Doktorant wykazał brak istnienia modelu referencyjnego, do wyników którego mógłby się odnosić ze swoimi rezultatami. Rozdział 10 to podsumowanie i wnioski, zaś 11 to proponowane kierunki dalszych badań.

Recenzowana rozprawa prezentuje kompletny proces naukowy: od uzasadnienia podjęcia tematyki badań, poprzez postawienie tez i celów badawczych, badania literaturowe, zaprojektowanie i zrealizowanie eksperymentu, dyskusję uzyskanych rezultatów, po wnioski. Przyjęty układ pracy jest poprawny i spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim.

3.2. Dyscyplina naukowa

Recenzowana rozprawa doktorska w pełni odpowiada dyscyplinie inżynieria środowiska górnictwo i energetyka.

3.3 Podjęta tematyka badawcza

Podjęta tematyka badawcza nie jest nowa, choć wciąż aktualna. Problemy związane z wydzieleniem i obecnością siarkowodoru w przewodach i studzienkach kanalizacji grawitacyjnej są stosunkowo dobrze poznane. Inaczej jest w przypadku kanalizacji ciśnieniowej. Jak wykazał Autor rozprawy, czas zatrzymania ścieków w przewodach tej kanalizacji może być bardzo długi. Inaczej niż w kanalizacji grawitacyjnej ścieki wypełniają pełny przekrój przewodów ciśnieniowych. Zmieniają się więc warunki procesu powstawania siarkowodoru. Jak zostało to wykazane przez Autora, dotychczas stosowane modele umożliwiające predykcję stężenia siarkowodoru są niedoskonałe. W dodatku każdy z tych modeli opracowano z wykorzystaniem innych założeń i innej metodyki badawczej, co spowodowało, że brak jest metody referencyjnej do której można by się odwoływać w kolejnych badaniach.

Jak słusznie zauważył Autor rozprawy, problem emisji siarkowodoru ze studzienek rozprężnych kanalizacji ciśnieniowej jest praktycznie pomijany na etapie projektowym. Dopiero skargi użytkowników wymuszają na operatorach podejmowanie działań zaradczych, które z racji trudności realizacyjnych często są nieskuteczne, a często wręcz kuriozalne, czego świadkiem był także recenzent niniejszej rozprawy. Konieczne jest więc kontynuowanie badań zmierzających do poszerzenia wiedzy o samym procesie emisji siarkowodoru, jak i opracowania modeli matematycznych umożliwiających prognozowanie jego emisji.

Biorąc pod uwagę powyższe uznaje, że podjęta przez mgr inż. Bartosza Bogusławskiego tematyka badawcza jest aktualna i spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim.

3.4. Teza, cel i zakres pracy

Autor rozprawy postawił 4 tezy do udowodnienia. Trzy z nich dotyczące: wpływu czasu zatrzymania ścieków na stężenie siarkowodoru, zależności tego stężenia od zawartości siarczków w ściekach oraz braku możliwości wykorzystania stężenia równowagowego do prognozowania stężenia siarkowodoru, są moim zdaniem właściwe i dobrze odpowiadające dalszej części pracy. Jedna z tez dotycząca konieczności dokonania oceny przydatności modeli do prognozowania stężenia siarczków w ściekach, jest w mojej opinii zadaniem badawczym a nie tezą naukową.

Celem zawartych w ocenianej rozprawie badań było określenie wpływu czasu zatrzymania ścieków w rurociągu tłocznym, na stężenie gazowego siarkowodoru w studziencie rozprężnej kanalizacji ciśnieniowej. Cel główny został uzupełniony trzema celami cząstkowymi, odpowiadającymi kolejnym zadaniom badawczym. Zakres pracy obejmował dokonanie przeglądu literatury, zaprojektowanie i przeprowadzenie eksperymentu w warunkach laboratoryjnych, opracowanie i dyskusję wyników oraz podsumowanie i wnioski.

Oceniam, że zawarte w pracy główne tezy, jak i podstawowy cel pracy spełniają warunek oryginalności.

3.5. Kompletność i spójność pracy

W ocenianej rozprawie Doktorant musiał zmierzyć się niemal ze wszystkimi problemami związanymi z laboratoryjnymi pracami badawczymi. Bazując na dokonanym przeglądzie literatury zaprojektował i zrealizował w warunkach laboratoryjnych eksperyment badawczy. Pokonał przy tym szereg ograniczeń związanych z dostępnym lokalem, możliwym finansowaniem, zmieniającą się z przyczyn od niego niezależnych metodyką oznaczeń, reprezentatywnością zarówno ścieków jak i gazu pobieranego do badań.

Podjęty przez Doktoranta wątek badawczy jest konsekwentnie realizowany we wszystkich etapach pracy. Wyraźnie widoczna jest ciągłość i przejrzystość wywołu. Praca jest spójna i prowadzi od popartych przeglądem literatury początkowych założeń do kolejnego rozwiązania postawionych problemów. Doktorant zawarł w pracy wykaz problemów do rozwiązania, założenia oraz koncepcję niezbędne do uzyskania tego rozwiązania, metodykę realizacji badań, wyniki cząstkowe i zbiorcze oraz dyskusję tych wyników. Zawarte w końcowej części pracy wnioski zostały udowodnione. Cel pracy został osiągnięty. Przedstawione tezy także zostały udowodnione w przyjętym zakresie rozważań. Opracowane zależności stężenia siarkowodoru i siarczków od czasu zatrzymania, chemicznego zapotrzebowania tlenu oraz pH ścieków stanowią niewątpliwe osiągnięcie Doktoranta.

Biorąc pod uwagę powyższe oceniam, że praca spełnia wymogi formalne stawiane rozprawom doktorskim.

3.6. Przyjęte założenia

W ocenianej pracy Doktorant przyjął szereg założeń, umożliwiających realizację eksperymentu laboratoryjnego. Do najważniejszych z nich należał wybór rodzaju ścieków wykorzystywanych do badań. Do wyboru były ścieki syntetyczne i rzeczywiste, pochodzące z konkretnej oczyszczalni. Po zaprezentowanej w rozprawie dyskusji Doktorant wybrał ścieki rzeczywiste. Musiał przez to zmierzyć się z problemem obecności bardzo różnorodnych

zanieczyszczeń oraz zmienności ich stężeń w czasie. Następnym istotnym problemem było przyjęcie czasu zatrzymania oraz objętości ścieków znajdujących się w stanowisku badawczym. Kolejnym ważnym założeniem było przyjęcie możliwości wykorzystania tych samych ścieków w kolejnych cyklach badawczych. Ważnym z punktu widzenia wyników badań było określenie lokalizacji mierników pracujących *on line* oraz reprezentatywnych punktów poboru próbek ścieków. Założenie o wpływie czasu zatrzymania ścieków w układzie badawczym, na stężenie siarczków i siarkowodoru w trakcie pracy zostało rozszerzone o wpływ odczynu oraz stężenia ChZT. Ważnym założeniem było także początkowe przyjęcie, że stężenie równowagowe siarkowodoru może być wykorzystywane do prognozowania zawartości tego gazu w powietrzu. Ostatnie z założeń, na które chciałem zwrócić uwagę dotyczyły zakresu oznaczeń stężenia zanieczyszczeń w badanych ściekach.

Przyjęte założenia zostały przez Doktoranta dobrze uzasadnione w zawartej w pracy ich dyskusji. Można polemizować z niektórymi z nich, jednak rolą badacza jest ich wybór oraz rzetelne przedstawienie, umożliwiające ewentualne powtórzenie badań przez innych naukowców. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że założenia przyjęte do realizacji pracy są właściwe, umożliwiające dodatkowo późniejszą kontynuację i rozszerzenie badań.

3.7. Zastosowane i opracowane narzędzia

W swojej pracy Doktorant musiał wykorzystać szereg narzędzi. Podstawowym z nich było zbudowane przez niego stanowisko badawcze. W rozprawie w sposób właściwy opisano parametry techniczne tego stanowiska oraz procedury jego wykorzystania. Rzetelny opis stanowiska umożliwił recenzentowi podjęcie dyskusji o jego parametrach, przedstawionej w części „Uwagi krytyczne” niniejszej recenzji. Druga grupa narzędzi umożliwiła dokonywanie analiz chemicznych stężenia wybranych substancji w ściekach. Doktorant wykorzystał obecne na rynku urządzenia i odczynniki. Wykorzystanie to było zgodne z obowiązującymi procedurami zawartymi w przywołanych przez niego normach. Warto tu zwrócić uwagę na problem konieczności zmiany sposobu oznaczania stężenia siarczanów w ściekach. Na podkreślenie zasługuje fakt powtórzenia całej serii badań, aby możliwe było porównywanie uzyskiwanych wyników w poszczególnych etapach. Trzecia grupa obejmowała wykorzystane narzędzia statystyczne. Doktorant wykorzystał przede wszystkim analizę korelacji, w tym wielorakiej, połączonej z badaniem istotności uzyskiwanych wyników. Wykorzystał w tym celu ogólnodostępny arkusz kalkulacyjny oraz program RStudio.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że opracowane przez Doktoranta stanowisko oraz wykorzystane narzędzia badawcze spełniają wymogi realizacji prac naukowych.

3.8. Realizacja prac laboratoryjnych

Stanowiące podstawę rozprawy badania laboratoryjne zostały zrealizowane zgodnie z przedstawioną w pracy metodyką. Doktorant ściśle przestrzegał przyjętych założeń i procedur. We właściwy sposób zareagował na konieczność zmian sposobu oznaczania jednego z parametrów. Dużym utrudnieniem była zmienność jakości wykorzystywanych ścieków surowych. Problemem okazała się także bardzo niska chwilowa prędkość przepływu ścieków przez przewód odwzorowujący rurociąg ciśnieniowy. Spowodowała ona możliwość nadmiernego rozwoju biofilmu na ściankach tego przewodu, co w końcowej serii wyników zaowocowało zerwaniem jego nadmiaru i zafalszowaniem wyników. Reakcja Doktoranta na to

zjawisko była jednak prawidłowa – poddał w wątpliwość uzyskane wyniki, jednocześnie podając prawdopodobną przyczynę zafałszowania wyników.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że Doktorant opanował w wystarczającym stopniu naukową metodologię prowadzenia laboratoryjnych prac badawczych.

3.9. Jakość przeprowadzonej dyskusji wyników

Przeprowadzona w Rozprawie dyskusja wyników jest klarowna. Jej podstawę stanowią uzyskane wyniki badań laboratoryjnych. Doktorant konsekwentnie prezentuje wyniki wszystkich etapów badań, poddaje je dyskusji oraz wskazuje na możliwe przyczyny zróżnicowania uzyskiwanych wyników. Prezentowana w pracy dyskusja wyników spełnia standardy prac naukowych. Pozwoliła ona Doktorantowi na udowodnienie zawartych w pracy wniosków.

Jakość przeprowadzonej dyskusji wyników oceniam jako właściwą dla celów realizacji pracy.

3.10. Wnioskowanie

Wszystkie zawarte w pracy wnioski znajdują swoje uzasadnienie we wcześniejszych częściach pracy. Założony cel pracy został osiągnięty. Przyjęte tezy zostały udowodnione.

4. Uwagi krytyczne i pytania do Doktoranta

Uwagi krytyczne podzieliłem na 3 grupy, związane z nazewnictwem, zastosowanym stanowiskiem laboratoryjnym oraz procesem realizacji badań. Chciałbym podkreślić, że zauważone niedoskonałości nie wpływają na moją ocenę prawidłowości realizacji procesu naukowego przez Doktoranta. Przywołuję je przez pryzmat potencjalnej publikacji wyników pracy w czasopiśmie branżowych, do czego bardzo go zachęcam.

Nazewnictwo,

- nadużywanie, nawet w tytule pracy, żargonowego określenia studnia zamiast studzienka. Studnia w nomenklaturze stosowanej w inżynierii środowiska oznacza obiekt/urządzenie do poboru wody podziemnej lub jako studnia infiltracyjna do wprowadzania wody do gruntu. W kanalizacji występują tylko studzienki,
- tytuł rozdziału 2 „Część teoretyczna” to właściwie „Przegląd literatury”. Częścią teoretyczną jest także przykładowo opracowanie koncepcji badań i zastosowanych procedur, a nawet cały rozdział 9.

Stanowisko badawcze

- w pracy brakuje moim zdaniem właściwego uzasadnienia liczby cykli pracy pompy cyrkulacyjnej, związanych z poborem próbek do oznaczeń chemicznych. W świetle późniejszych analiz statystycznych warto było podjąć próbę wyznaczenia minimalnej liczby pomiarów aby wnioskowanie było istotne statystycznie,
- niewystarczający jest moim zdaniem opis przyczyn przyjęcia przez Doktoranta pojemności całego układu badawczego oraz długości rurociągu ciśnieniowego. Zastosowanie analizy wymiarowej pozwoliłoby Doktorantowi na odwzorowanie konkretnego funkcjonującego w praktyce układu kanalizacji ciśnieniowej i późniejszą weryfikację uzyskiwanych wyników z danymi terenowymi,

- brak procedury płukania przewodu reprezentującego rurociąg ciśnieniowy, po każdej wymianie ścieków. Zastosowana pompa nie umożliwiła osiągnięcia wymaganej prędkości płukania. Warto byłoby także przemyśleć problem, jednoczesnego z płukaniem, przedmuchiwania rurociągu sprężonym powietrzem, co obecne jest w niektórych sieciach ciśnieniowych. Zastosowanie płukania pozwoliłoby prawdopodobnie na uniknięcie problemów z nadmiernym rozwojem biofilmu,
- zabrakło moim zdaniem opisu próby szczelności całego układu. Dane zawarte na rysunku 14, obrazującym zmiany stężenia siarkowodoru w czasie, sugerują, że układ mógł być nieszczelny. Warto byłoby wykluczyć ten czynnik,
- problem lokalizacji miernika stężenia siarkowodoru. Choć Doktorant uzasadnił swój wybór to jednak warto byłoby wykorzystać więcej niż jeden czujnik. Zdaję sobie jednak sprawę z faktu ograniczeń finansowych, z jakimi musiał się zmierzyć,
- w trakcie całego cyklu pracy pompy cyrkulacyjnej siarkowodor wydzielał się ze ścieków zawartych nie tylko w przewodzie przesyłowym, ale także w zbiornikach. Warto było uzupełnić rozważania o wpływ tych zbiorników na uzyskiwane wyniki pomiarów. Doprowadziłoby to prawdopodobnie do konieczności rozgraniczenia emisji z tzw. masy ścieków oraz przy ściankach przewodów,
- brak informacji o stałej kontroli temperatury otoczenia stanowiska badawczego. Jednopunktowy pomiar temperatury ścieków powoduje pewien niedosyt, zwłaszcza, że koszt mierników temperatury jest stosunkowo niewielki.

Realizacja badań

- wybór wykorzystania do badań ścieków rzeczywistych powoduje szereg problemów. Do najważniejszych należy reprezentatywność pobieranych próbek. W pracy nie zauważyłem czy ścieki pobierane były o tej samej porze dnia,
- drugi problem to zakres analiz określających skład ścieków. Doktorant wykazał w swojej pracy jak wiele czynników wpływa na proces powstawania siarkowodoru w ściekach. W swojej pracy wykazał jedynie zależność tej emisji od czasu zatrzymania, pH i ChZT. Wskazał również na niedoskonałości uzyskiwanych za pomocą opracowanych przez siebie modeli korelacyjnych wyników. Z pewnością rozszerzenie zakresu tych badań w przyszłości byłoby ciekawym zagadnieniem. Być może uwzględnienie dodatkowych składników podniosłoby jakość uzyskiwanych rezultatów obliczeń predykcyjnych,
- w swojej pracy Doktorant nie odwołuje się do zagadnień związanych z mikrobiologią. Wyjątek stanowi wskazanie na zafałszowanie wyników w ostatnich seriach pomiarowych, związanych z prawdopodobnym oderwaniem błony biologicznej. Zagadnienie wpływu organizmów zawartych w ściekach na emisję siarkowodoru wydaje się ciekawe na przyszłość,
- badacze problematyki emisji gazów ze ścieków bardzo często łączą emisję różnych gazów z emisją metanu. W pracy Doktorant pominął ten aspekt. Wydaje mi się to kolejnym atrakcyjnym kierunkiem badań,
- porównanie wyników modeli umożliwiających prognozowanie przyrostu stężenia siarczków (rozdział 9) powinno moim zdaniem zostać uzupełnione o wyniki obliczeń zgodnych z opracowanymi przez Doktoranta wzorami empirycznymi.

Celem uzupełnienia wyводу zawartego w rozprawie chciałem prosić Doktoranta o odpowiedzi na następujące pytania:

- jakie metody można zastosować w celu minimalizacji problemu odorów z kanalizacji ciśnieniowej, zarówno na etapie projektu jak i późniejszej eksploatacji?
- czy wykorzystanie kanalizacji podciśnieniowej zamiast ciśnieniowej rozwiąże problem powstawania odorów w sąsiedztwie urządzeń kanalizacyjnych?
- czy ograniczenie dopuszczalnej średnicy rurociągów ciśnieniowych, prowadzące do podniesienia prędkości przepływu ścieków i skrócenia czasu ich zatrzymania, wydaje się zasadne?
- jak wyjaśnić obniżenie stężenia siarkowodoru po osiągnięciu maksimum, widoczne na rys. 14?
- czy z racji mnogości czynników wpływających na wielkość emisji siarkowodoru ze ścieków, oraz postulowany przez Doktoranta potencjalny brak możliwości opracowania prostych reguł do zastosowań inżynierskich, nie byłoby celowe wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych? Jakie ograniczenia niesie ze sobą wykorzystanie takich sieci w zakresie prognozowania emisji siarkowodoru?

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej charakterystykę pracy, wraz wskazanymi uwagami krytycznymi uznaję, że stanowi ona rzetelny zapis właściwie zrealizowanego badania naukowego. Doktorant dobrze uzasadnił wybór tematyki badań oraz zastosowanych narzędzi i metod badawczych. Udowodnił przyjęte tezy badawcze. Zrealizował także wszystkie postawione w pracy cele. Jego oryginalnym osiągnięciem jest opracowanie własnych wzorów empirycznych do prognozowania stężenia siarczków i emisji siarkowodoru ze ścieków, uwzględniających nie tylko czas zatrzymania oraz odczyn ścieków, ale także chemiczne zapotrzebowanie tlenu. Zgodnie jednak ze stwierdzeniem Doktoranta wzory te można wykorzystać w sposób bezpośredni jedynie do warunków panujących na stanowisku laboratoryjnym. Zgadzam się tu ze stwierdzeniem Doktoranta o konieczności kontynuacji badań także w warunkach sieci rzeczywistych.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska **mgr inż. Bartosza Bogusławskiego** pt. „*Wpływ czasu zatrzymania ścieków w rurociągu ciśnieniowym kanalizacji sanitarnej na stężenie siarkowodoru w studni rozprężnej*” jest oryginalnym, naukowym osiągnięciem Autora i spełnia warunki i wymagania stawiane pracom doktorskim, określone w *Ustawie z dn. 20.07.2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz.U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.* W związku z tym, wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Ze względu na jakość prowadzonych badań i analiz, a także stopień ich trudności wnoszę także o wyróżnienie pracy.

Dawid Kowalski