

Streszczenie

Siarkowodór (H_2S) jest uważany za najważniejszą przyczynę odorów oraz korozji w systemach kanalizacji sanitarnej i oczyszczalniach ścieków. Wydzielający się ze ścieków siarkowodór, powoduje uciążliwości zapachowe dla mieszkańców w okolicy studni rozprężnych rurociągów tłocznych, a w większych stężeniach także zagrożenie zdrowia i życia. Obserwacje terenowe pokazały, że w studniach kanalizacyjnych stężenia H_2S w powietrzu osiągają wartości nawet do 1000 ppm. Z kolei w ściekach, stwierdzono stężenia siarczków rozpuszczonych do 70 mg/dm^3 . Jako główne czynniki wpływające na powstawanie siarkowodoru wymieniane są m.in.: wysokie wartości BZT₅, ChZT, wysoka temperatura, turbulentność przepływu (w kanalizacji grawitacyjnej), długi czas przetrzymania ścieków w układzie, mała ilość rozpuszczonego tlenu w ściekach (poniżej $0,1 \text{ mg/dm}^3$), mała prędkość przepływu ścieków, niskie pH ścieków.

Według polskiej normy PN-EN 1671 czas zatrzymania ścieków w całym układzie kanalizacyjnym od miejsca powstania do oczyszczalni ścieków powinien wynosić nie więcej niż 8h. Tymczasem w badaniach często obserwuje się czasy zatrzymania ścieków w pojedynczych rurociągach tłocznych wynoszące kilkadziesiąt, a nawet kilkaset godzin.

Od 1959 roku powstało wiele równań opisujących szybkość powstawania siarkowodoru, która zależy zarówno od właściwości ścieków jak i cech samych układów kanalizacyjnych. Jednak nie znaleziono w literaturze przedmiotu przykładów badań, w których skutecznie udało się przewidzieć przyrost stężenia siarczków w rzeczywistym układzie kanalizacji ciśnieniowej za pomocą istniejących wzorów empirycznych.

Z wielu powodów prognozowanie stężenia H_2S w powietrzu jest bardzo złożonym problemem. Jednak praktyka pokazuje, że eksploatacyjni sieci coraz częściej decydują się na montowanie sond siarkowodoru, w celu oceny skali problemu związanego z emisją H_2S i zaplanowaniu działań zaradczych. Teoretycznie, możliwe jest wyciąganie wniosków dotyczących stężenia siarkowodoru w ściekach na podstawie stężenia w powietrzu. Tą zależność opisuje równanie Henry'ego. Jednak dotyczy ono fazy ciekłej i fazy gazowej po osiągnięciu stanu równowagi, która w systemach kanalizacyjnych, szczególnie tłocznych, nie jest osiągana.

Podstawowym celem badań było określenie wpływu czasu zatrzymania ścieków komunalnych w rurociągu tłocznym, na stężenie gazowego siarkowodoru w studni rozprężnej. Dodatkowymi celami było porównanie zaobserwowanych stężeń siarkowodoru w powietrzu z obliczonymi stężeniami równowagowymi (wynikającymi z równania Henry'ego), sprawdzenie

modeli służących do prognozowania stężenia siarczków w ściekach oraz doświadczalne sprawdzenie zależności stężenia H_2S w powietrzu od stężenia siarczków w ściekach oraz pH. Zaprojektowano eksperyment przeprowadzony na modelu laboratoryjnym, który miał za zadanie symulować pracę rzeczywistego układu tłoczego. Badania prowadzono na ściekach rzeczywistych, wstępnie oczyszczonych, pobieranych za osadnikiem wstępnym z oczyszczalni ścieków „Pomorzany” w Szczecinie. Określano zmianę jakości ścieków oraz stężenia siarkowodoru w powietrzu. Układ pracował według ustalonych harmonogramów, zgodnie z którymi czasy zatrzymania wynosiły 4, 8, 12, 16, 24, 36, 48 oraz 96 h. Wykonywano oznaczenia jakości ścieków: ChZT, stężenie siarczków, stężenie siarczanów, pH, stężenie zawiesiny. Mierzona była również temperatura oraz stężenie tlenu rozpuszczonego w ściekach, na końcu rurociągu tłoczego.

W trakcie eksperymentu obserwowano szybkie przyrosty stężeń siarczków i siarkowodoru dla czasów zatrzymania do 16-24 h. Jednak wraz ze rosnącym czasem zatrzymania dynamika przyrostów zmniejszała się, a zależność najlepiej odzwierciedlała funkcja logarytmiczna. Podobny efekt zaobserwowano także dla innych badanych parametrów. Stwierdzono wyraźny związek stężenia siarkowodoru w powietrzu ze stężeniami siarczków w ściekach ($R = 0,87$). Dodanie wartości pH do analizy, spowodowało wzrost współczynnika korelacji do 0,94. Dla większości istniejących modeli służących do prognozowania stężenia siarczków w ściekach, uzyskano znacznie wyższe wyniki w porównaniu z danymi uzyskanymi w czasie eksperymentu oraz przedstawianymi w literaturze. Równanie, z którego wynikały wartości najbliższe obserwowanym stężeniom, zostało opracowane przez Hvitveda-Jacobsena i in [1]. W rozprawie porównywano obserwowane stężenia siarkowodoru w powietrzu ze stężeniami równowagowymi wynikającymi z równania Henry’ego. Stanowiły one od 13 do 43 % stężenia równowagowego. Widoczna była tendencja, że im większe stężenia siarczków w ściekach, tym stężenia H_2S znajdowały się dalej od stężenia równowagowego. Przeprowadzone badania wskazują na potrzebę ponownej weryfikacji założenia liniowego przyrostu stężenia siarkowodoru w zależności od czasu zatrzymania ścieków w układzie.

Przyszłe plany badawcze dotyczą próby weryfikacji przedstawionych wniosków w badaniach terenowych, sprawdzenie uzyskanych zależności w zmodyfikowanym eksperymencie laboratoryjnym oraz prace nad rozwojem wiedzy dotyczącej stosowania metod ograniczania emisji siarkowodoru w systemach kanalizacji sanitarnej.

27.02.2023

Bożena

Abstract

Hydrogen sulphide (H_2S) is considered the most significant cause of odour and corrosion in sewage systems and in wastewater treatment plants. It causes an odour nuisance for local residents. In higher concentrations, it could be also dangerous for health and life. Field investigations show that H_2S concentrations in the air could be as high as 1000 ppm in discharge wells. Concentrations of sulphide in sewage can reach up to 70 mg/dm^3 . The following are mentioned as the main factors influencing the formation of hydrogen sulphide in sewers: high values of BOD and COD, high temperatures, flow turbulence (in gravity systems), long hydraulic retention time, low concentrations of dissolved oxygen (lower than $0,1 \text{ mg/dm}^3$), low flow rate, low sewage pH.

The total retention time of the sewage in the entire sewerage system, from the origin to the treatment plant should be less than 8 h according to polish standard PN-EN 1671. However, in the research, sewage retention time in single force mains are often observed, amounting to several dozen or even several hundred hours. Since 1959, many models describing the rate of hydrogen sulphide formation, which depends both on the properties of wastewater and the characteristics of the sewage systems themselves have been developed. Many studies consider the prediction of increase in the concentration of sulphides in a real pressure sewage system using existing empirical formulas. However, no examples of studies, in which was effectively predicted were found in the literature.

Prediction of the concentration of hydrogen sulphide in the air is a demanding task for many reasons. In practice, operators of sewage networks more often use H_2S detectors to assess the problem related to gas emissions. Theoretically, based on the concentration in the air, it is possible to conclude about the concentration of hydrogen sulphide concentration in the wastewater. This relation is described by Henry's law. However, this applies to an equilibrium of the liquid phase and gas phase which does not occur in sewage systems.

The main aim of the research was to determine the influence of hydraulic retention time in the pressure sanitary sewer on hydrogen sulphide concentration in the discharge well. The additional purposes were: comparison of the obtained concentration of H_2S in the gas phase with the calculated equilibrium concentrations (from Henry's law), verification of the existing models used to calculate the sulphide concentrations in the sewage, empirical verification of the relation between H_2S concentrations in the gas phase and concentration of sulphide in the wastewater and pH value. An experiment conducted on a lab-scale model was designed. The aim was to model a real pressure system. Municipal wastewater for the experiment, which was

obtained from the wastewater treatment plant „Pomorzany” in Szczecin was used. Used wastewater was collected from the canal after first clarifier. 4, 8, 12, 16, 24, 36, 48, and 96 hours of hydraulic retention times were tested on the laboratory model. The following sewage parameters were controlled: COD, sulphide concentration, sulphate concentration, pH, and suspension concentration. Temperature and dissolved oxygen concentration at the end of the pressure pipe were also measured.

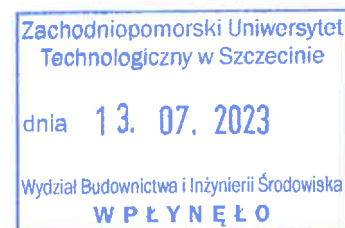
Significant increases of sulphide and H_2S in gas phase concentration were observed for the retention time to 16-24 hours. Then the concentrations of the increases were slower and the function that describes this relation became logarithmic. A similar effect was observed for other parameters. A clear relationship between hydrogen sulphide concentrations in the air with the concentrations of sulphide in the wastewater ($R = 0,87$) was found. Considering the pH value in the analysis resulted in increasing in the correlation coefficient to 0,94. Most of the models used to predict sulphide in wastewater overestimate the results many times compared to the data obtained during the experiment and presented in the literature. In that case, the model of Hvitved-Jacobsen et al. [1] provides the closest outcomes compared to the observed values. In the investigation observed H_2S concentrations in the air were compared to calculated equilibrium values resulting from Henry's law. In the research, 13 to 43 % of the equilibrium concentration of H_2S was found. Conducted research suggests that the assumption of a linear increase in the content of sulphides in wastewater depending on the retention time should be re-verified.

Future research plans include an attempt to verify the presented conclusions in the field studies. Also, another laboratory experiment is planned to be conducted to verify the obtained relations in modified conditions. Finally, works on the development of knowledge on methods of control of H_2S emissions in sanitary sewage systems will be carried out.

27.02.2023

Antoni

Prof. dr hab. inż. Marian Kwietniewski
Zakład Zaopatrzenia w Wodę
i Odprowadzania Ścieków
Wydział Instalacji Budowlanych,
Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska
Marian.kwietniewski@pw.edu.pl



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. **Bartosza Bogusławskiego** pt.

„Wpływ czasu zatrzymania ścieków w rurociągu ciśnieniowym kanalizacji sanitarnej na stężenie siarkowodoru w studni rozprężnej”

1. Przedmiot i podstawa formalna opracowania recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pana mgr inż. Bartosza Bogusławskiego w postępowaniu o nadanie stopnia doktora prowadzonym w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie, której promotorem jest pani dr hab. inż. Anna Głowacka, prof. ZUT, a promotorem pomocniczym pan dr inż. Jacek Mazur.

Recenzję opracowano zgodnie z uchwałą Komisji Doktorskiej z dnia 22.05.2023r. i na podstawie umowy zawartej pomiędzy Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym w Szczecinie reprezentowanym przez prof. dr hab. inż. Jacka Przepiórskiego Prorektora ds. nauki, a autorem niniejszej recenzji.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska jest opracowaniem naukowym liczącym 156 stron, na które składa się 11 rozdziałów uzupełnionych wykazem 119. pozycji literaturowych, spisem 82. rysunków i 15. tabel oraz 3. załącznikami i streszczeniem w j. pol. i ang.

Po krótkim i zwartym wprowadzeniu w problematykę badawczą zamieszczonym we wstępie (rozdział 1.) autor omówił w rozdziale 2. zagadnienia teoretyczne będące podstawą podjętych badań. W tej części doktorant przybliżył, w oparciu o szerokie studia literaturowe, wiele zagadnień merytorycznych dotyczących m.in. zmiany właściwości ścieków w systemach kanalizacji grawitacyjnej i ciśnieniowej traktowanych jako złożone reaktory chemiczno-biologiczne. Wydzielono w opisie mechanizmy powstawania i emisji siarkowodoru w przewodach grawitacyjnych i w przewodach tłocznych ciśnieniowych sieci kanalizacyjnych, które są obiektem badawczym w rozprawie. Szczególną uwagę zwrócono na czas zatrzymania ścieków w systemie kanalizacyjnym, który ma istotne znaczenie w procesie tworzenia się siarkowodoru w pompowniach i przewodach tłocznych. Podkreśla się przy tym, iż czas zatrzymania ścieków w rzeczywistych układach kanalizacyjnych może osiągać nawet kilkaset godzin, podczas gdy wg zalecanych standardów (PN-EN 1671) nie powinien przekraczać 8 godzin. Stąd też czas zatrzymania ścieków w przewodzie tłocznym został uznany w rozprawie za kluczowy parametr stymulujący wzrost stężenia siarkowodoru w końcówce przewodu tłocznego, a dokładnie w studni rozprężnej.

Wśród ważnych zagadnień poruszonych w tym rozdziale znalazły się też najważniejsze czynniki i przyczyny powstawania siarkowodoru w kanalizacji oraz autorskie zbiorcze zestawienie metod minimalizowania emisji siarkowodoru z kanalizacji. Ponadto podjęto próbę krytycznej oceny dostępnych modeli prognozowania emisji siarkowodoru z rurociągów ciśnieniowych, stwierdzając ich znaczną niedoskonałość.

W rozdziale 3. zostały przyjęte 4 tezy i cele pracy oraz określono jej zakres. W tym rozdziale, choć nie wyeksponowano tego w spisie treści, autor uzasadnił też w przekonujący sposób wybór tematyki badawczej, a także wybór metodyki badań przeprowadzonych za pomocą kontrolowanego eksperymentu laboratoryjnego.

W rozdziale 4. opisano materiały i metodykę badań, a w szczególności przyjęte założenia oraz budowę stanowiska badawczego i zasady prowadzenia eksperymentu.

Badania prowadzono wg założonego programu, w 3. kolejnych etapach, których realizacja zajęła rok czasu, od listopada 2021 do października 2022r. W etapie I badano, przy 8. czasach zatrzymania ścieków w przewodzie tłocznym (4, 8, 12, 16, 24, 36, 48 i 96h): zmienność istotnych wskaźników jakości ścieków, stężenie wydzielanego siarkowodoru w powietrzu oraz wskaźniki emisji siarkowodoru i wpływ jakości ścieków na stężenia i wskaźniki emisji siarkowodoru, a także stężenia równowagowe siarkowodoru rozpuszczonego w ściekach i zawartego w powietrzu.

Etap II był powtórzeniem badań z etapu I tylko przy trzech czasach zatrzymania ścieków (8, 12 i 16h) ponieważ ich celem było sprawdzenie powtarzalności niepewnych wyników uzyskanych przy tych właśnie czasach zatrzymania.

W etapie III przeprowadzono badania dla czasów zatrzymania jak w etapie I, ograniczając je do pojedynczego czasu zatrzymania i wprowadzając ograniczenia co do zakresu oznaczeń jakości ścieków.

W kolejnych 3. rozdziałach tj. 5., 6. i 7. przedstawiono szczegółowo analizę wyników badań prowadzonych w poszczególnych etapach. Każdy rozdział kończy się podsumowaniem i dyskusją wyników uzyskanych w danym etapie. Na uwagę zasługuje sposób prezentacji wyników badań stężenia siarkowodoru w powietrzu uzyskanych w kolejnych etapach, w tym głównie w etapie I (tab. 8) i etapie II (tab. 13). Sposób prezentacji wartości stężeń można interpretować jako **rozkład stężeń siarkowodoru** emitowanego ze ścieków do atmosfery w studni rozprężnej (zbiornik B) w zależności od czasu zatrzymania ścieków w instalacji.

Wyniki wszystkich badań podsumowano w oddzielnym rozdziale 8, w którym skoncentrowano się na ocenie wpływu czasu zatrzymania ścieków na zmianę ich właściwości i w konsekwencji na stężenie i wielkość emisji siarkowodoru do powietrza w komorze rozprężnej. W podsumowaniu zaprezentowano w tabeli 14. w sposób interesujący rozkład stężeń siarkowodoru w pierwszych 8. cyklach pracy instalacji dla wszystkich badanych serii.

W rozdziale 9. przeanalizowane zostały formuły prognozowania siarczków w ściekach, a w rozdziale 10 podsumowano wyniki pracy i sformułowano wnioski końcowe. W ostatnim 11. rozdziale autor przedstawił proponowane kierunki dalszych badań.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Podjęty w pracy problem jest istotny dla poprawy funkcjonowania systemów kanalizacyjnych, zarówno w zakresie ich ekonomicznej efektywności jak i pod względem środowiskowym. Korozja siarczanowa lub też siarkowodorowa, która powoduje niszczenie kanałów i elementów w szczególności betonowych stosowanych powszechnie do budowy kanalizacji na całym świecie niesie za sobą ogromne straty ekonomiczne. Dobrze ilustruje to przykład Stanów Zjednoczonych Ameryki przywołany przez autora rozprawy, gdzie szacuje się koszty wymiany uszkodzonych kanałów betonowych na poziomie ok. 14 mld. dolarów. Ale skutkiem destrukcji kanałów nie są tylko wysokie koszty ich napraw, a nierzadko poważne awarie, które nazywane są też katastrofami kanalizacyjnymi.

Pod względem środowiskowym z kolei, wydzielanie się siarkowodoru z sieci kanalizacyjnej, szczególnie w centrach miast, gdzie dominuje kanalizacja ogólnospławna, powoduje uciążliwości zapachowe dla mieszkańców. Natomiast dla obsługi sieci, przy odpowiednich stężeniach w powietrzu, może stanowić zagrożenie zdrowia a nawet życia.

Praca ma charakter wybitnie badawczy i w związku z tym można w niej zauważyć 2 główne części, a mianowicie część teoretyczną, która jest precyzyjnie ujęta w rozdziale 3 oraz część badawczą, do której można zaliczyć rozdziały 4, 5, 6, 7, a także rozdziały 8 i 9.

W ramach założeń badawczych sformułowano 4 tezy naukowe o znaczeniu poznawczym. O ile tezy 2 i 4 są jasno sformułowane, o tyle sposób zapisu tezy 1 jest nieprecyzyjny, a teza 3 została sformułowana jak cel pracy. Dlatego można było z tezy 3 zrezygnować tym bardziej, że cel taki figuruje już wśród celów dodatkowych wymienionych w p. 3.4.

W przypadku tezy 1., która brzmi *„czas zatrzymania ścieków w układzie tłocznym ma wpływ na wielkość stężenia siarczków oraz gazowego siarkowodoru w studni rozprężnej. Przegląd literatury wskazuje, że jest to zależność liniowa”*, należy założyć, iż nie chodzi tutaj o wykazanie wpływu czasu zatrzymania ścieków na stężenia siarczków i siarkowodoru lecz o to, jaki jest rodzaj zależności między czasem zatrzymania, a tymi stężeniami?

Nie jest zatem jasne, czy teza 1. ma potwierdzić liniową zależność między czasem zatrzymania ścieków a stężeniem siarczków i siarkowodoru opisywaną w literaturze przedmiotu, czy też ma wskazać na inną zależność, niż liniowa.

Głównym celem rozprawy było określenie wpływu kluczowego czynnika tj. czasu zatrzymania ścieków komunalnych w rurociągu tłocznym na stężenie gazowego siarkowodoru w studni rozprężnej. Ponadto, przyjęto 3 dodatkowe cele szczegółowe.

W ocenie rozprawy należy podkreślić, iż Doktorant na etapie przygotowania swoich badań przeprowadził dogłębne studia literaturowe z uwzględnieniem najważniejszych pozycji związanych z podjętym tematem. Widać w tym krytyczną analizę dostępnych wyników badań. Autor zwracał uwagę na uwarunkowania i założenia przyjmowane przez badaczy, co pozwoliło mu w wielu przypadkach na skuteczną weryfikację uzyskanych przez nich wyników w stosunku do warunków panujących w rzeczywistej sieci kanalizacji ciśnieniowej.

Realizacja przyjętych celów wymagała opracowania odpowiedniej metodyki badań, którą dobrze ujęto w przemyślanej i logicznej procedurze rozpisanej na 3 etapy i wyłożonej wraz z wynikami badań w rozdziałach 4 – 9. Sposób prowadzenia badań jest uporządkowany, a uzyskane wyniki zostały zaprezentowane szczegółowo w jasny sposób. Pozwoliło to autorowi na uzasadnioną ocenę wpływu czasu zatrzymania ścieków w przewodzie ciśnieniowym na stężenie siarkowodoru w studni rozprężnej.

Całościowa analiza wszystkich etapów badań zaprezentowanych w rozprawie pokazuje, że doktorant opracował oryginalną kompleksową metodykę badań pozwalającą na zrealizowanie wszystkich zadań i osiągnięcie założonych celów. Metodyka i konsekwentny sposób przeprowadzenia badań

zasługują na wyróżnienie jak również autorska instalacja badawcza, która w opinii recenzenta jest unikatowym stanowiskiem badawczym co najmniej w skali kraju.

Poza metodyką i zasadniczymi wynikami badań, doktorant uzyskał kilka innych interesujących rezultatów, wśród których na uwagę zasługuje opis matematyczny i empiryczna weryfikacja jednoczesnego wpływu dwóch parametrów tj. stężenia siarczków i odczynu pH na stężenie siarkowodoru emitowanego ze ścieków do powietrza w studni rozprężnej.

Zaprezentowane w pracy oryginalne eksperymentalne podejście do oceny wpływu czasu zatrzymania ścieków w przewodzie ciśnieniowym na stężenie siarkowodoru w studni rozprężnej oceniam wysoko. Badania wykazały, iż wpływ ten jest istotny.

Również wysoko oceniam opracowaną metodykę badań.

Stwierdzam także, iż zastosowane w pracy metody i narzędzia badawcze zostały dobrane prawidłowo, a problem badawczy został dobrze zdefiniowany.

Układ pracy jest logiczny, kolejność rozdziałów jest przemyślana i zsynchronizowana..

Tytuł rozprawy dobrze ujmuje zakres podjętych w niej badań.

Studia literaturowe zostały przeprowadzone rzetelnie i w sposób krytyczny.

Wnioski końcowe wynikające z przeprowadzonych badań mają uzasadnienie w uzyskanych wynikach i syntetycznie ujmują osiągnięte rezultaty. Wskazano również kierunki dalszych badań.

Generalnie mogę stwierdzić, iż autor osiągnął zamierzone cele oraz udowodnił na drodze badań naukowych przyjęte na wstępie tezy pracy.

Do najważniejszych osiągnięć, które w opinii recenzenta mogą stanowić **podstawę wyróżnienia rozprawy doktorskiej** należy zaliczyć:

pod względem poznawczym

1. *znaczące, udokumentowane poprzez autorski eksperyment badawczy, poszerzenie wiedzy na temat wpływu czasu zatrzymania ścieków w przewodzie tłocznym oraz wskaźników jakości ścieków (pH, ChZT, siarczki, siarczany, zawiesina ogólna) na intensywność powstawania siarkowodoru w studni rozprężnej*

natomiast pod względem aplikacyjnym

1. *opracowanie metodyki badań wpływu różnych czynników na intensywność powstawania siarkowodoru w studni rozprężnej wraz z budową instalacji badawczej*
2. *eksperymentalna weryfikacja możliwości i ograniczeń modeli prognozowania stężenia siarczków w ściekach w przewodzie tłocznym.*

Poza wymienionymi wyżej osiągnięciami i walorami pracy, nie dostrzegam w rozprawie istotnych niedociągnięć merytorycznych.

Zwracam jednak uwagę na sformułowania dotyczące zakresu stosowania kanalizacji grawitacyjnej zawarte w ostatnim zdaniu na str 16. i pierwszym na str.17..

Jednoznaczne definiowanie parametrów kryterialnych określających zakres stosowania kanalizacji grawitacyjnej jest obciążone dużą niepewnością, ponieważ kryteria stosowalności nie są stałe i zależą od metodyki ich ustalania, aktualnych kosztów budowy i eksploatacji itp., a te stale się zmieniają.

Jak zaznaczono w rozprawie, wyniki przeprowadzonych przez Doktoranta badań powinny mieć przełożenie na podejście do projektowania systemów ciśnieniowych. Z tym stwierdzeniem trzeba się oczywiście zgodzić. W związku z tym mam prośbę o wypowiedź, jak wg doktoranta można wykorzystać uzyskane wyniki badań w procesie projektowania systemów ciśnieniowych, aby zminimalizować skutki ekonomiczne i środowiskowe emisji siarkowodoru?

Proszę też o opinię nt metod minimalizacji emisji siarkowodoru z grawitacyjnych sieci kanalizacyjnych i związanej z tym uciążliwości zapachowej. Jest to jak wiemy poważny problem środowiskowy, w szczególności w zabytkowych centrach miast. Które z metod rekomendowałby Pan jako najbardziej skuteczne?

Uwagi szczegółowe

W pracy zauważyłem kilka usterek redakcyjnych i niezręcznych sformułowań oraz tzw. „literówek”, których trudno było autorowi uniknąć. Nie mają one jednak wpływu na ocenę merytoryczną rozprawy. Najważniejsze z nich wymieniam poniżej:

- streszczenie pracy
brak “key words” po abstract
- wykaz symboli; również na str 33
COD – to oznaczenie ChZT, nie zaś wartość ChZT. Warto byłoby rozwinąć skrót angielski
BOD – j.w.
M – stała ... ma miano, m/h
- str. 40, rys. 7 i 8
brak źródeł
- Str 51, rys. 12
Brak oznaczenia sondy O₂
- Str 56, Wiersz 4 od góry; również w innych miejscach tekstu
Jest - chemiczne zapotrzebowanie tlenu

Powinno być – chemiczne zapotrzebowanie na tlen

- Str. 101; pierwsze 2 zdania – styl budzi wątpliwości
- Str. 107; widoczne „proste proporcjonalności” lepiej byłoby „zależności proporcjonalne”
- Str. 125; wzór (20)

Objaśnienie C_S – powinno być C_{H_2S}

- Str. 128; rys. 82

Opis osi poziomej – powinna być średnica rurociągu

3. Podsumowanie oceny

Całość pracy, a w szczególności zastosowaną metodykę badań oraz stopień szczegółowości przeprowadzonych analiz i wnioskowania oceniam wysoko.

Zamieszczone w niniejszej opinii nieliczne uwagi nie umniejszają naukowych i użytecznych walorów rozprawy.

Praca prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Stanowi jednocześnie indywidualny wkład doktoranta w rozwój specjalności naukowej „wodociągi i kanalizacje”.

Mogę zatem stwierdzić, iż 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 stanowi rozwiązanie sformułowanego problemu badawczego.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska pana mgr inż. Bartosza Bogusławskiego spełnia wymagania ustawy z 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 ze zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Moneta

Dr hab. inż. Bartosz Kaźmierczak, prof. uczelni
Politechnika Wrocławska
Wydział Inżynierii Środowiska
Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Tel. 606 407 945, bartosz.kazmierczak@pwr.edu.pl

Wrocław, 26.06.2023

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Bartosza Bogusławskiego

***Wpływ czasu zatrzymania ścieków w rurociągu ciśnieniowym
kanalizacji sanitarnej na stężenie siarkowodoru w studni rozprężnej***

wykonanej na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
(promotor: dr hab. inż. Anna Głowacka, prof. uczelni;
promotor pomocniczy: dr inż. Jacek Mazur)

1. PODSTAWA RECENZJI

Niniejszą recenzję opracowano na podstawie Uchwały nr 1 Komisji Doktorskiej z dnia 22 maja 2023 oraz pisma Pana Prorektora ds. Nauki prof. dr hab. inż. Jacka Przepiórskiego z dnia 23 maja 2023 informującego o powołaniu mojej osoby na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Bartosza Bogusławskiego nt. *Wpływ czasu zatrzymania ścieków w rurociągu ciśnieniowym kanalizacji sanitarnej na stężenie siarkowodoru w studni rozprężnej*. Do pisma dołączony został egzemplarz rozprawy doktorskiej.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PRACY DOKTORSKIEJ

Recenzowana praca doktorska *Wpływ czasu zatrzymania ścieków w rurociągu ciśnieniowym kanalizacji sanitarnej na stężenie siarkowodoru w studni rozprężnej* zawiera 11 podstawowych rozdziałów, streszczenie, wykaz symboli, literaturę, spis tabel, spis rysunków oraz załączniki. Praca liczy 156 stron (w tym 119 pozycji literaturowych, 15 tabel, 82 rysunków i 3 załączniki).

Rozdział 1 zatytułowany *Wstęp* zawiera zwięzłe wprowadzenie do tematyki rozprawy doktorskiej.

Rozdział 2 zatytułowany *Część teoretyczna* zawiera m.in. charakterystykę siarkowodoru, opis jego wpływu na człowieka, opis systemów kanalizacyjnych, zmiany właściwości ścieków w kanalizacji sanitarnej (w tym przemian biochemicznych prowadzących do powstawania gazowej formy siarkowodoru), opis czynników wpływających na powstanie siarkowodoru, opis zjawiska korozji siarczanowej, opis metod przeciwdziałania powstawaniu siarkowodoru i korozji siarczanowej, opis metod prognozowania emisji siarkowodoru i korozji siarczanowej, a także opis przepisów prawnych dotyczących odorów.

W rozdziale 3 *Cel, tezy i zakres pracy* Doktorant uzasadnił wybór tematyki badawczej, a następnie sformułował cztery tezy pracy:

1. Czas zatrzymania ścieków w układzie tłocznym ma wpływ na wielkość stężenia siarczków oraz gazowego siarkowodoru w studni rozprężnej.
2. Stężenie siarkowodoru w powietrzu powinno zależeć od stężenia siarczków w ściekach oraz od pH ścieków.
3. Należy ocenić przydatność modeli służących do prognozowania stężenia siarczków w ściekach, opisanych w literaturze, do małych systemów kanalizacji tłocznej.
4. Stężenia siarkowodoru w studni rozprężnej są znacznie mniejsze niż stężenia równowagowe obliczone za pomocą równania Henry'ego.

Podstawowym celem badań było określenie wpływu czasu zatrzymania ścieków komunalnych w rurociągu tłocznym, na stężenie gazowego siarkowodoru w studni rozprężnej. Wpływ ten został określony w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych. Dodatkowymi celami było:

- doświadczalne sprawdzenie na modelu laboratoryjnym zależności stężenia siarczków w ściekach oraz stężenia siarkowodoru w powietrzu od odczynu ścieków;
- przetestowanie modeli prognozowania przyrostu stężenia siarczków w ściekach na danych uzyskanych w czasie eksperymentu;
- porównanie uzyskanych stężeń siarkowodoru w powietrzu z obliczonymi stężeniami równowagowymi.

Rozdział 4 zatytułowany *Materiały i metody* zawiera opis założeń do badań laboratoryjnych oraz szczegółowy opis budowy i sposobu działania autorskiego stanowiska laboratoryjnego, odzwierciedlającego pracę rzeczywistego układu ciśnieniowej kanalizacji sanitarnej. Ponadto w rozdziale 4 opisano hydraulikę

stanowiska pomiarowego, metodykę wykonywanych oznaczeń i pomiarów oraz przebieg prac badawczych.

Rozdziały 5, 6 i 7 zawierają kolejno analizę wyników dla I, II i III etapu badań. Etap I obejmował zbadanie ośmiu czasów zatrzymania ścieków (4, 8, 12, 16, 24, 36, 48 i 96 h). Wykonywano oznaczenia ścieków (ChZT, stężenie siarczanów, stężenie siarczków, pH, stężenie zawiesiny ogólnej), mierzono także stężenie tlenu na końcu rurociągu oraz wykonywano pomiary stężenia siarkowodoru w powietrzu. Etap II, to powtórzenie badań 3 czasów (8, 12 i 16 h), przy wykonaniu pełnego zakresu pomiarów i oznaczeń, podobnie jak w etapie I. W etapie III wykonano kolejne serie sprawdzające dla wszystkich czasów badanych w etapie I. Badania prowadzono tylko dla pojedynczego czasu zatrzymania. Ograniczono badania ścieków, rezygnując z oznaczania stężenia siarczanów oraz stężenia zawiesiny ogólnej. Wprowadzono natomiast oznaczanie ChZT rozpuszczonego. Dla każdego etapu pojedyncza seria pomiarowa (badanie jednego czasu zatrzymania ścieków) trwała 7 dób. W rozdziałach 5, 6 i 7 zestawiono tabelarycznie wszystkie wyniki badań oraz zwizualizowano je na wykresach.

W rozdziale 8 *Podsumowanie wyników badań etapu I, II i III* opisano uzyskane wyniki, a w szczególności opisano wpływ czasu zatrzymania na zmianę właściwości ścieków oraz emisję siarkowodoru oraz wpływ właściwości ścieków na stężenia i wskaźniki emisji siarkowodoru. Dla wszystkich opisanych zależności wyznaczono równanie zależności oraz policzono współczynnik determinacji.

Rozdział 9 *Prognozowanie stężenia siarczków w ściekach* zawiera próbę opisanie kinetyki powstawania siarczków w kanalizacji wybranymi wzorami empirycznymi.

Rozdział 10, *Podsumowanie i wnioski*, jest rekapitulacją przeprowadzonych prac badawczych. Doktorant odniósł się do 4 tez pracy oraz sformułował 8 wniosków końcowych, które według mojej opinii są zbyt szczegółowe, przy czym wszystkie mają uzasadnienie w treści pracy.

W rozdziale 11 *Proponowane kierunki dalszych badań* Doktorant przedstawia zagadnienia badawcze, które w jego ocenie wymagają dalszych prac naukowych.

Praca zredagowana jest poprawnie językowo i stylistycznie. Doktorant nie ustrzegł się przy tym licznych usterek redakcyjnych, które nie umniejszają jednak jakości pracy.

3. MERYTORYCZNA OCENA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Uważam, że podjęty przez Doktoranta temat pracy jest aktualny i wartościowy. Postawione teza i wytyczone cele zostały jasno określone, a przyjęty zakres badań pozwolił na właściwą ich realizację. Lektura pracy w pełni utwierdziła mnie w przekonaniu o słuszności postawionych tez, zaś cele pracy zostały osiągnięte.

Za szczególne osiągnięcia Doktoranta uważam udowodnienie czterech tez dysertacji, tj.:

- Teza I: Potwierdzono silną zależność przyrostu stężenia siarkowodoru w studni rozprężnej od czasu zatrzymania.
- Teza II: Potwierdzono silny związek korelacyjny między stężeniem siarkowodoru w powietrzu a stężeniem siarczków w ściekach oraz pH ścieków.
- Teza III: Zweryfikowano negatywnie przydatność modeli literaturowych do prognozowania stężenia siarczków w ściekach, tj. wykazano wielokrotne zawyżanie prognoz w stosunku do wyników pomiarów.
- Teza IV: Potwierdzono, że stężenia siarkowodoru w studni rozprężnej są znacznie mniejsze niż stężenia równowagowe obliczone za pomocą równania Henry'ego.

Cenne są również wnioski końcowe pracy (także z praktycznego punktu widzenia), zestawione w punkcie 10.2. Uważam jednak, że poziom ich szczegółowości jest zbyt duży jak na rozdział zamykający pracę – w takiej formie powinny pojawić się po wynikach, natomiast na końcu powinny być 3–4 wnioski końcowe.

Podczas lektury dysertacji pojawiły się następujące drobne uwagi i wątpliwości. Poniżej przedstawiono uwagi dyskusyjne, na które oczekuję odpowiedzi lub wypowiedzi polemicznych w czasie publicznej obrony rozprawy doktorskiej:

- Należy podjąć próbę wyjaśnienia, dlaczego pH zmniejszało się przez pierwsze 3 dni badań, a następnie rosło (rys. 15, rys. 38).
- W przypadku analiz współzależności mierzonych wskaźników Doktorant raz pokazywał na wykresach równania opisujące zależności (np. rys. 70), a innym razem równań tych nie pokazywał (np. rys. 66). Czy jest to celowe? Jeśli tak, to z czego to wynika? W mojej opinii sposób prezentacji wyników powinien być możliwie ujednolicony (z pokazaniem równań).
- Wydaje się, że pewne zależności można opisać w lepszy sposób przy zastosowaniu równie prostych funkcji (np. rys. 74). Czy Doktorant podejmował takie próby?

- Przedstawione w ostatnim rozdziale wnioski są w mojej ocenie zbyt szczegółowe (o czym pisałem już wcześniej). Proszę o sformułowanie i przedstawienie 3–4 najważniejszych wniosków końcowych.

4. WNIOSEK KOŃCOWY

Powyższe uwagi poczynione w obowiązku recenzenta w najmniejszym stopniu nie pomniejszają mojej pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej. Obszerny zakres prac badawczych umożliwił Doktorantowi osiągnięcie celu pracy. Rozprawa doktorska Pana mgra inż. Bartosza Bogusławskiego *Wpływ czasu zatrzymania ścieków w rurociągu ciśnieniowym kanalizacji sanitarnej na stężenie siarkowodoru w studni rozprężnej* zawiera oryginalny materiał analityczny, jest poprawna pod względem metodycznym, a zawarte w niej tezy stanowią istotny problem naukowy. Recenzowana praca spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 z późn. zm.), wnoszę więc o dopuszczenie Pana mgra inż. Bartosza Bogusławskiego do publicznej obrony pracy doktorskiej.



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 wydzielaniem 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 studzience rozprężnej kanalizacji ciśnieniowej. Cel główny został uzupełniony trzema celami częściowymi, 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 wywodu. Praca jest spójna i prowadzi od popartych przeglądem literatury początkowych założeń do kolejnego rozwiązywania postawionych problemów. Doktorant zawarł w pracy wykaz problemów do rozwiązania, założenia oraz koncepcję niezbędne do uzyskania tego rozwiązania, metodykę realizacji badań, wyniki częściowe 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 zafałszowaniem 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 czasopismach 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 umożliwiała 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 wnioskuję także o wyróżnienie pracy.

Dariusz Kowalski

UCHWAŁA NR 28
Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
z dnia 24 listopada 2023 r.

w sprawie nadania mgr. inż. Bartoszowi Bogusławskiemu
stopnia doktora

Na podstawie § 17b ust. 1 pkt 2 Statutu ZUT (uchwała nr 75 Senatu ZUT z dnia 28 czerwca 2019 r., z późn. zm.) w związku z art. 178 ust. 1 pkt 1 i art. 186 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jedn. Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.) oraz z § 12 ust. 1 uchwały nr 130 Senatu ZUT z dnia 29 maja 2023 r. (z późn. zm.) w sprawie określenia sposobu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora przez Rady Dyscyplin Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie uchwala się, co następuje:

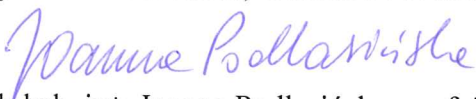
§ 1.

Rada Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie nadaje mgr. inż. Bartoszowi Bogusławskiemu stopień doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

§ 2.

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

Przewodnicząca Rady Dyscypliny
Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka


dr hab. inż. Joanna Podlasińska, prof. ZUT

UCHWAŁA NR 29
Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
z dnia 24 listopada 2023 r.

w sprawie wyróżnienia rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Bartosza Bogusławskiego

Na podstawie § 17b ust. 1 pkt 2 Statutu ZUT (uchwała nr 75 Senatu ZUT z dnia 28 czerwca 2019 r., z późn. zm.) w związku z art. 192 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jedn. Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.). z § 3 pkt 4 rozporządzenia Prezesa Rady Ministrów z dnia 21 maja 2019 r. w sprawie kryteriów i trybu przyznawania nagród Prezesa Rady Ministrów oraz wzoru wniosku o ich przyznanie (tekst jedn. Dz. U. z 2023 r. poz. 368) oraz z § 14 uchwały nr 130 Senatu ZUT z dnia 29 maja 2023 r. (z późn. zm.) w sprawie określenia sposobu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora przez Rady Dyscyplin Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie uchwala się, co następuje:

§ 1.

Rada Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie wyróżnia rozprawę doktorską mgr. inż. Bartosza Bogusławskiego, pt. „Wpływ czasu zatrzymania ścieków w rurociągu ciśnieniowym kanalizacji sanitarnej na stężenie siarkowodoru w studni rozprężnej”.

§ 2.

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

Przewodnicząca Rady Dyscypliny
Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka


dr hab. inż. Joanna Podlasińska, prof. ZUT