

Dr hab. inż. Małgorzata Cimochowicz-Rybicka, prof.PK  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Politechnika Krakowska  
Ul. Warszawska 24  
31-155 Kraków

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Marty Stachowiak

*pt.: „Ocena wpływu warunków pracy rurociągów tłocznych na powstawanie i emisję siarkowodoru w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej”*

### 1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny: Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Politechniki Poznańskiej, Pana prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego, z dnia 24.10.2025 roku otrzymane przez Panią dr hab. inż. Małgorzatę Cimochowicz-Rybicką, prof. PK w dniu 28.10.2024r. (pocztą elektroniczną) dotyczące opracowania recenzji rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Marty Stachowiak pt.: „Ocena wpływu warunków pracy rurociągów tłocznych na powstawanie i emisję siarkowodoru w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej”.

### 2. Przedmiot recenzji i zawartość rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr inż. Marty Stachowiak pt.: „Ocena wpływu warunków pracy rurociągów tłocznych na powstawanie i emisję siarkowodoru w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej”. Promotorem przedmiotowej rozprawy doktorskiej jest Pan dr hab. inż. Zbysław Dymaczewski, prof. PP. Praca ma charakter badawczy, zawiera także istotną część teoretyczną oraz wskazówki wdrożeniowe. Praca ma objętość 201 stron, składa się z siedmiu kolejno numerowanych Rozdziałów. Tekst zasadniczy poprzedzony jest: spisem rysunków i spisem tabel dla Rozdziałów 2-5; streszczeniem pracy w języku polskim oraz jego angielskojęzycznym odpowiednikiem (*Abstract*).

Struktura pracy jest następująca:

Rozdział 1 stanowi wstęp, który zawiera 3 podrozdziały: przedmiot pracy i uzasadnienie podjęcia tematu, cel, zakres oraz tezę pracy. Przedstawione zostały zagadnienia, zadania, których realizacja umożliwiła osiągnięcie celów i udowodnienie postawionej tezy.

Rozdział 2 rozpoczyna się krótkim rysem historycznym na temat rozwoju systemów kanalizacyjnych od starożytności do czasów dzisiejszych, uwzględniający świat, Europę i Polskę (Warszawa, Kraków, Łódź, Poznań, Gdańsk, Szczecin, Bydgoszcz, Białystok, Katowice, Tarnów). Zostały również wskazane problemy nowoczesnej kanalizacji z

uwzględnieniem uciążliwości powstających odorów i zjawiska korozji z jednoczesnym odniesieniem do obowiązującego prawa w świecie i w Polsce. Opisane zostały procesy przemian biochemicznych zachodzących w kanalizacji, a także metody przeciwdziałania ich negatywnym skutkom pojawiającym się podczas eksploatacji tego systemu. W końcowym podrozdziale omówione zostały modele matematyczne procesów przemian biochemicznych zachodzących w kanalizacji, ze szczególnym uwzględnieniem przemian związków siarki.

W Rozdziale 3 opisano metodykę badań (instalacje badawcze w skali laboratoryjnej i technicznej, harmonogram badań, narzędzia informatyczne).

W Rozdziale 4 przedstawiono wyniki badań otrzymanych zarówno z doświadczeń prowadzonych w skali laboratoryjnej, jak i z pomiarów stężenia siarkowodoru, przepływu, z analiz fizykochemicznych uzyskanych w badaniach w skali technicznej.

Rozdział 5 to analiza i interpretacja wyników z Rozdziału 4 wraz z opisem teoretycznym opracowanego modelu matematycznego, jego weryfikacją. Przedstawiony został również algorytm postępowania w sytuacji wystąpienia problemów odorowo-korozyjnych w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej.

Rozdział 6 zawiera: podsumowanie, 5 wniosków końcowych oraz wymienione kierunki dalszych badań.

W Rozdziale 7 przedstawiono pozycje literaturowe wykorzystane podczas przygotowywania przedmiotowej rozprawy.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

#### **3.1 Ocena doboru tematu, postawionych celów i zakresu rozprawy**

Rozdział 1 i 2 stanowi część teoretyczną pracy, którą oszacować można na ok. 27% całości rozprawy doktorskiej. W krótkim wprowadzeniu, Doktorantka nakreśliła zagadnienia związane z problemem rozbudowy współczesnych sieci kanalizacyjnych i częstym stosowaniem systemów tłocznych (pompownie i rurociągi ciśnieniowe). Skutkiem takich rozwiązań jest długie przetrzymywanie ścieków w zamkniętych kolektorach, co z kolei prowadzi do ich odtleniania, zagniwania, wydzielania się siarkowodoru, a to wywołuje reakcje korozyjne oraz pojawianie się uciążliwych zapachów. Zjawiska te utrudniają, w znacznej mierze, eksploatację infrastruktury kanalizacyjnej, wzrastają koszty jej utrzymania m.in. ze względu na konieczność stosowania środków zaradczych (np. dozowanie chemii technologicznej, biopreparatów, napowietrzanie ścieków). Doktorantka zauważyła, że taki sposób rozwiązywania wskazanych problemów jest metodą doraźną, o charakterze punktowym, z ograniczoną skutecznością. Ponadto, w wyniku przeglądu literatury stwierdziła, że istnieją modele, metody, równania opisujące produkcję siarkowodoru w ściekach, jednakże konieczna jest równoczesna znajomość charakterystyki fizykochemicznej ścieków, a to z kolei wiąże się z poborem próbek (różny stopień trudności) i wykonaniem wielu analiz laboratoryjnych (m.in. BZT, ChZT, stężenie siarczanów).

Mając powyższe na uwadze, Doktorantka podjęła próbę stworzenia narzędzia prognostycznego opartego na łatwo dostępnych danych, z punktu widzenia eksploatatora, takich jak czas przetrzymywania ścieków w sieci oraz temperatura ścieków.

Z jednej strony, opierając się na dotychczasowej wiedzy (podstawowej, wdrożeniowej) dot. przebiegu reakcji biochemicznych w warunkach beztlenowych w odniesieniu do technologii

ścieków i osadów ściekowych (w tym z kolektorów kanalizacyjnych), nie jest rzeczą odkrywczą, że dłuższy czas zatrzymania i podwyższona temperatura podczas rozkładu złożonych związków organicznych, w warunkach deficytu tlenu, sprzyjają powstawaniu siarkowodoru. Z drugiej strony, Doktorantka udowadnia, że zaproponowany przez nią model predykcyjny nie będzie wymagał kosztownych analiz chemicznych, a oszacowanie ryzyka powstawania H<sub>2</sub>S oparty zostanie na bazie parametrów operacyjnych systemu kanalizacyjnego. Proponuje również, że model ten może być wykorzystany jako wspomagające narzędzie w podejmowaniu decyzji operacyjnych i strategicznych przez przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne.

Po zwięźle przedstawionym przedmiocie pracy i uzasadnieniu podjęcia tematu, Autorka sprecyzowała główny cel rozprawy doktorskiej, który dotyczy opracowania ... *zależności matematycznej pozwalającej na przybliżone prognozowanie wpływu czasu przetrzymania ścieków w rurociągach tłocznych i ich temperatury na stężenie siarkowodoru w przestrzeni nad zwierciadłem ścieków w sieci kanalizacji grawitacyjnej występującej bezpośrednio za rurociągiem ciśnieniowym...*

Ze względu na konieczność osiągnięcia przedłożonego celu, Doktorantka wyznaczyła 6 celów szczegółowych, które można przedstawić następująco:

*...1. Ustalenie aktualnego stanu wiedzy w zakresie historii rozwoju kanalizacji, ewolucji uwarunkowań prawnych oraz przemian biochemicznych zachodzących wewnątrz sieci kanalizacyjnej, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki odorów, korozji oraz metod przeciwdziałania negatywnym skutkom tych procesów.*

*2. Określenie zależności pomiędzy temperaturą ścieków i czasem ich przetrzymania w warunkach beztlenowych a stężeniem siarkowodoru w powietrzu kanalizacyjnym – w warunkach laboratoryjnych.*

*3. Opracowanie równania opisującego zależność pomiędzy temperaturą i czasem przetrzymania ścieków wewnątrz systemu, a stężeniem H<sub>2</sub>S w powietrzu kanalizacyjnym na podstawie uzyskanych wyników badań laboratoryjnych.*

*4. Weryfikacja poprawności modelu poprzez porównanie wyników prognozowanych z wynikami pomiarowymi uzyskanymi w rzeczywistej sieci kanalizacyjnej.*

*5. Analiza wybranych wskaźników fizykochemicznych ścieków (np. pH, azot, fosfor, BZT, ChZT, siarczki) w przepompowniach ścieków zlokalizowanych w zlewniach wybranych oczyszczalni.*

*6. Ocena skuteczności stosowanych metod przeciwdziałania zagniwaniu ścieków wraz z analizą rzeczywistych czasów przetrzymania ścieków w skali technicznej...*

W ten sposób określony cel główny oraz cele szczegółowe, wyznaczają zakres podjętych działań Doktorantki, zmierzające do realizacji tematu rozprawy.

Zakres pracy obejmuje 6 zadań badawczych, zarówno teoretycznych (analiza literatury), jak i praktycznych, z których wymienić należy:

- projekt i wykonanie stanowiska laboratoryjnego oraz wykonanie badań fizykochemicznych,
- opracowanie i walidacja modelu matematycznego opisującego zależność między zmiennymi (temperatura, czas) a stężeniem H<sub>2</sub>S w odniesieniu do pomiarów rzeczywistych w sieci kanalizacji w zlewniach wybranych oczyszczalni ścieków,
- zebranie i analiza danych fizykochemicznych ścieków (pH, redoks, siarczki, temperatura) pochodzących z przepompowni w zlewniach wybranych oczyszczalni ścieków,

- analiza skuteczności zastosowanych metod przeciwdziałania zagniwaniu ścieków w skali technicznej w celu zmniejszenia stężeń siarkowodoru i ograniczania zagniwania ścieków.

Wybór tematu pracy należy uznać za właściwy zarówno ze względów naukowo-poznawczych jak i aplikacyjnych. Sprecyzowanie celu głównego, celów szczegółowych oraz zaproponowany zakres zadań badawczych zmierzających do jego osiągnięcia, pozwolił Autorce na realizację tematu pracy. Ponadto, treść recenzowanej dysertacji wskazuje jednoznacznie, że cel ten został osiągnięty.

Wybór, zakres i analiza danych literaturowych pozwoliła Autorce sprecyzować tezę rozprawy doktorskiej.

### 3.2 Teza rozprawy

Dla realizacji celu Doktorantka dowodziła prawdziwości tezy, a mianowicie, cyt.:

*...W systemie kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej ścieków komunalnych stężenie siarkowodoru ( $H_2S$ ) w powietrzu kanalizacyjnym za rurociągiem tłocznym jest zależne od temperatury ścieków i czasu ich przetrzymania w rurociągu, a zależność tę można opisać równaniem matematycznym będącym funkcją tych dwóch zmiennych...*

Teza została sformułowana poprawnie, a dysertacja jest klarownym dowodem jej prawdziwości. Specyfika pracy doktorskiej, w której dowodzona jest teza naukowa, a jednocześnie podjęto zadania o potencjale użytkowym/wdrożeniowym, w celu weryfikacji eksperymentów w skali laboratoryjnej, stanowi o dużej wartości podjętych badań.

### 3.3 Realizacja celów i udowodnienie tezy

Przystępując do realizacji celów pracy, a w konsekwencji do udowodnienia prawdziwości tezy, Doktorantka rozpoczęła jej realizację od pogłębionego przeglądu literatury, wykraczającego poza standardowy zakres tego typu opracowań, a mianowicie obejmującego również zagadnienia związane z historią kanalizacji. Sięgając czasów babilońskich, datowanych na około 4000 lat p.n.e., poprzez okres budowy jednego z najważniejszych obiektów sanitarnych starożytności – kanału Cloaca Maxima (ok. 600 r. p.n.e., czasy Cesarstwa Rzymskiego) – aż po czasy naszej ery i ponowny rozwój techniki sanitarnej w Europie w XVIII wieku, Autorka przedstawiła przekrojową analizę dziejów kanalizacji, wskazując podstawowe problemy tej infrastruktury na kolejnych etapach jej rozwoju. Opis historyczny obejmuje ponadto charakterystykę systemów odprowadzania ścieków w wybranych miastach polskich (Rozdz. 2 recenzji).

Doktorantka przeanalizowała również uwarunkowania legislacyjne, odnoszące się do problemów związanych z uciążliwością zapachową (odory), przywołując niektóre akty prawne polskiego i europejskiego ustawodawstwa, jednocześnie zestawiając je z regulacjami normowymi obowiązującymi w różnych państwach w świecie.

Część teoretyczna pracy – ok. 27% jej całości - zawiera oprócz rodzajów układu i skrótowo wymienionych parametrów technicznych systemu (przepływ, średnice), bardzo istotny opis przemian biochemicznych zachodzących w kanalizacji w warunkach deficytu tlenu

i to zarówno w części mokrej kanału, jak i nad lustrem ścieków. Dotyczy on zjawisk zachodzących: w biofilmie, w warstwie osadów dennych i na ścianach kanału, jak i na granicy tych warstw. Opisane zostały również warunki biocenotyczne, mechanizm tworzenia się siarkowodoru, reakcje redoks, procesy fermentacyjne oraz czynniki mające wpływ na te zjawiska przy uwzględnieniu m.in. parametrów hydraulicznych (turbulencje, promień hydrauliczny), prędkości przepływu ścieków, naprężeń ścinających na ścianach kanałów, przewietrzanie przewodów.

Doktorantka poświęciła nieco więcej miejsca na opisanie istoty zjawiska odoru, sposobu jego pomiaru (odometria), a także uwzględniła zagadnienie korozji i problemy eksploatacyjne wynikające z występowania tych zjawisk w kanalizacji.

Autorka dość obszernie opisała metody przeciwdziałania negatywnym skutkom pojawiającym się podczas występowania wymienionych powyżej zjawisk. Do najważniejszych możemy zaliczyć: dawkowanie chemii technologicznej (m.in. sole żelaza, ozon, nadtlenek wodoru lub wapnia, związki azotu), napowietrzanie ścieków, dawkowanie preparatów enzymatyczno-bakteryjnych (różne biopreparaty).

Tematyka poświęcona modelom matematycznym procesów przemian biochemicznych w kanalizacji zamyka część teoretyczną rozprawy. Należy tu zaznaczyć, iż ten podrozdział wprowadza czytelnika w zagadnienia, które stanowią bardzo ważną dla Doktorantki część jej aktywności naukowej, ponieważ w wyniku realizacji rozprawy doktorskiej opracowuje Ona autorski model matematyczny opisujący zależności między zmiennymi – przepływu i czasu – a stężeniem  $H_2S$ .

Recenzentka, stwierdza, że przyjęty układ rozdziałów, analiza wybranej literatury przedmiotu, wybór obszaru rozważań teoretycznych z ich syntetycznym opisem najważniejszych zagadnień, daje podstawę do właściwego prowadzenia badań z zakresu podejmowanego problemu naukowo-utilitytarne.

Część doświadczalna pracy została opisana przez Doktorantkę w 3 rozdziałach, poświęconych kolejno: metodyce badań (Rozdział 3), osiągniętym wynikiom (Rozdział 4) oraz analizie i interpretacji uzyskanych rezultatów (Rozdział 5). Treść Rozdziałów od 3 do 5 Recenzentka oceniła na ok. 60% zawartości rozprawy.

Doktorantka prezentując metodykę badawczą uwzględniła w niej opis, zaprojektowanej przez siebie, instalacji w skali laboratoryjnej wraz z urządzeniami pomiarowymi. Dla pełniejszego zobrazowania stanowiska laboratoryjnego, Autorka projektu zamieściła jego fotografię.

Natomiast, w odniesieniu do badań w skali technicznej, przedstawiony został schemat analizowanego tranzytu systemu kanalizacyjnego. Zamieszczony został również szczegółowy harmonogram badań z przypisanymi celami szczegółowymi oraz zadaniami badawczymi. W ten sposób stworzona dokumentacja prowadzonych badań umożliwiła ich właściwą, terminową realizację, a tym samym kontrolę założonych etapów realizacji doktoratu. Wybór właściwych narzędzi informatycznych pozwolił na przetwarzanie dużych zbiorów danych, z równoczesną ich wizualizacją.

Uzyskane wyniki badań, zarówno laboratoryjnych, jak i w skali technicznej, przedstawione zostały na ponad 40 stronach dysertacji, głównie w formie graficznej i tabelarycznej. Zamieszczone zostały również wyniki badań fizykochemicznych.

Równie obszernym rozdziałem rozprawy doktorskiej jest analiza i interpretacja wyników badań. Doktorantka bardzo szczegółowo opisała wyniki prac dotyczących badań laboratoryjnych, uwzględniając zależności poziomu stężenia siarkowodoru od czasów zatrzymania w rurociągu, temperatury ścieków z pomiarem pH, potencjału redoks i z zaznaczeniem momentów włączania się pomp ściekowych.

W przypadku badań w skali technicznej wykonano pomiary stężenia  $H_2S$  w wytypowanych obiektach tranzytowych oraz mniejszych przepompowniach ścieków (ogólnie G, F, E, D, C, B), a także w studniach grawitacyjnych i rozprężnych (K, L, M, N, O, P). Wykonane zostały również badania fizykochemiczne ścieków (azot amonowy i azotynowy cynk, kadm, miedź, ołów, siarczany, siarczki, BZT<sub>5</sub>, ChZT, fosfor ogólny, OWO) i przeanalizowane w odniesieniu do obowiązujących przepisów – Rozp. Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 25 sierpnia 2015r. Wykonano analizę statystyczną, która umożliwiła określenie wartości typowych oraz zmienności badanych wskaźników. Zestawiono średnią arytmetyczną, medianę, odchylenie standardowe oraz wartości minimalne i maksymalne.

Ostatnie podrozdziały dotyczą budowy modelu matematycznego, gdzie uwzględniono 4 warianty równań opisujących zależność stężenia siarkowodoru w powietrzu kanalizacyjnym od temperatury i czasu przetrzymania ścieków. Doktorantka przeprowadziła weryfikację modelu na wybranych obiektach (skala techniczna). Rezultaty badań posłużyły opracowaniu algorytmu postępowania w sytuacji wystąpienia problemów odorowo-korozyjnych w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej.

Należy podkreślić, że część doświadczalna rozprawy została przygotowana z zachowaniem wysokiego poziomu staranności, świadczącego o rzetelnym podejściu Doktorantki do realizowanych badań. Wykresy są czytelne, opisy jednoznaczne, a całość zapewnia czytelnikowi estetyczny i spójny odbiór treści, który nie tylko podnosi walory prezentacyjne opracowania, lecz przede wszystkim znacząco ułatwia merytoryczne zrozumienie oraz wiarygodną interpretację uzyskanych wyników badań.

Reasumując, do realizacji celów i udowodnienia prawdziwości tezy, Doktorantka wykorzystwała instalację laboratoryjną, prowadziła badania w skali technicznej, aby stworzyć algorytm przeciwdziałania niekorzystnym przemianom biochemicznym w systemie kanalizacyjnym typu grawitacyjno-tłocznym gdy pojawia się zjawisko uciążliwości zapachowej oraz występuje korozja obiektu. Ponadto, wykonała szereg analiz fizykochemicznych materiału pochodzącego z miejskiej kanalizacji, a także opracowała autorski model matematyczny, który starannie wybrała w oparciu o szczegółowe studia literaturowe oraz adaptowane metody innych autorów służące do analizy i oceny procesów zachodzących w systemie kanalizacyjnym.

Zaplanowany i wykonany zakres działań pozwolił Doktorantce osiągnąć założone cele i udowodnić postawioną tezę. Dyskusja wyników doprowadziła do sformułowania wniosków końcowych, z których za najważniejsze należy uznać:

- stężenie siarkowodoru w powietrzu kanalizacyjnym wzrasta wraz z wydłużaniem czasu przetrzymywania ścieków w przewodach tłocznych oraz wraz ze wzrostem ich temperatury; przy czasie przetrzymania ścieków ok. 3h wartości stężeń są niewielkie (do ok. 200ppm), przy czasie ponad 8h obserwowane poziomy  $H_2S$  mogą prowadzić do wystąpienia zjawiska korozji infrastruktury i uciążliwości zapachowych.

- stężenie  $H_2S$  emitowanego ze ścieków w studniach rozprężnych na końcu przewodów tłocznych można opisać funkcją matematyczną zależną od czasu przetrzymania i temperatury ścieków (opracowanie autorskie Doktorantki), który został zweryfikowany skali technicznej na wybranych obiektach eksploatacyjnych;
- nie stwierdzono istotnej zależności pomiędzy pH ścieków a stężeniem siarkowodoru w atmosferze kanalizacyjnej w zakresie typowych wartości (6,5–8,0);
- analiza potencjału redoks wykazała, iż wraz z jego wzrostem obniżał się poziom  $H_2S$ . Natomiast zaznaczono, że dopływ ścieków, których nie badano, a charakteryzujących się skrajnymi wartościami pH, może istotnie wpływać na aktywność mikroorganizmów i tym samym na intensywność emisji siarkowodoru.
- analiza fizykochemiczna próbek ścieków pobranych z kilku przepompowni wykazała w niektórych przypadkach przekroczenia wartości dopuszczalnych w odniesieniu do: azotu amonowego, fosforu ogólnego, BZT<sub>5</sub>, ChZT. Wyniki te podkreślają znaczenie monitoringu jakości ścieków w przepompowniach zlokalizowanych w zlewniach oczyszczalni oraz konieczność uwzględnienia lokalnych uwarunkowań eksploatacyjnych.
- stosowane w praktyce metody przeciwdziałania negatywnym przemianom biochemicznym w kanalizacji istotnie wpływają na kształtowanie stężeń siarkowodoru. Jednocześnie ich skuteczność w pełni zależy od warunków pracy układu i powinna być każdorazowo weryfikowana pomiarowo.

Doktorantka nakreśliła kierunki dalszych badań, których celem ma być potwierdzenie uniwersalności opracowanego modelu w zmiennych warunkach sezonowych i hydraulicznych, a także opracowanie praktycznych narzędzi wdrożeniowych, umożliwiających szybkie wykorzystanie równania w codziennej eksploatacji, dążąc w przyszłości, do integracji z metodami sztucznej inteligencji, co pozwoliłoby na automatyzację oceny ryzyka emisji siarkowodoru w sieciach kanalizacyjnych.

### **3.4. Ocena naukowej wartości rozprawy**

W swojej pracy Doktorantka :

1. podjęła trudny i ważny temat o dużym znaczeniu eksploatacyjnym dot. powstawania i emisji siarkowodoru w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej, co może skutkować trudnościami w utrzymaniu niezawodności tych systemów. Ponadto, wskazała problem występowania uciążliwości zapachowych oraz ryzyka korozji infrastruktury;
2. czytelnie i krytycznie przedstawiła przegląd literatury naukowo-badawczej krajowej oraz zagranicznej, a na tej podstawie uzasadniła konieczność podjęcia tematu, sprecyzowała obszar własnego problemu badawczego, wyznaczyła cele i tezę rozprawy oraz opracowała zakres badań pozwalający na realizację tego przedsięwzięcia. Bardzo umiejętnie wykorzystwała tę literaturę do merytorycznej weryfikacji uzyskanych przez siebie rezultatów. Uzasadniła potrzebę opracowania prostszego modelu opartego na zmiennych operacyjnych w celu efektywniejszego, niż dotychczas, zarządzania systemami grawitacyjno-tłocznymi w kanalizacji;

3. zaprojektowała i wykonała instalację badawczą, przy użyciu której wykonała doświadczenia laboratoryjne umożliwiające ocenę wpływu czasu przetrzymania ścieków i temperatury na dynamikę powstawania siarkowodoru;

4. opracowała autorski model matematyczny opisujący zależność stężenia  $H_2S$  od temperatury i czasu przetrzymania ścieków w rurociągach tłocznych, który został zweryfikowany na kilku układach w skali technicznej. Potwierdziła, że równanie poprawnie odzwierciedla rząd wielkości i ogólne trendy zmian stężeń  $H_2S$ , a różnice wartości bezwzględnych wynikały głównie z czynników zakłócających (m.in. dozowanie chemii technologicznej, wentylowanie rurociągów);

5. stworzyła potencjalne narzędzie wspomagające etap projektowania sieci (np. przewidywanie lokalizacji występowania ew. problemów → dokonania stosownej korekty projektu) oraz wykorzystania go w praktyce eksploatacyjnej (odpowiednie przeciwdziałanie zagniwaniu ścieków, instalacja monitoringu temperatury).

Bibliografia pracy doktorskiej, odzwierciedla bardzo dobrą znajomość najważniejszych pozycji literaturowych zarówno w zakresie przemian biochemicznych zachodzących w kolektorach ściekowych, jak i warunków technicznych w jakich pracuje infrastruktura kanalizacyjna (rurociągi, przepompownie, urządzenia pomiarowe). Należy tu podkreślić staranne podejście Doktorantki do literatury przedmiotu, przejawiające się korzystaniem z pozycji wartościowych i sprawdzonych. Właściwe korzystanie z literatury krajowej i światowej, jest niełatwe wobec dużej liczebności dostępnych publikacji (naukowe, eksploatacyjne/techniczne), jednak Doktorantka uniknęła tej pułapki. Bibliografia obejmuje 149 pozycji, doktorantka jest współautorką jednej z nich; około 58 pozycji to publikacje naukowe autorów polskich, 11 to przywołania aktów prawnych i danych technicznych nie będące pracami naukowymi, natomiast 80 pozycji to prace naukowe powstałe w zagranicznych ośrodkach naukowych. Praca zawiera 121 rysunków oraz 13 tabel w tekście.

Doktorantka po bardzo starannym, krytycznym przeanalizowaniu współczesnej wiedzy z literatury światowej i krajowej, swoimi badaniami nie tylko poszerzyła zakres wiedzy, ale także przedstawiła wnioski posiadające znaczący potencjał wdrożeń eksploatacyjnych, bardzo ważnych ze względu na ciągłe podnoszenie wymogów dotyczących sprawności działania systemów wodociągowo-kanalizacyjnych.

Widoczne w badaniach Doktorantki silne dążenie do wykonywania badań w warunkach rzeczywistych lub na stanowiskach maksymalnie zbliżonych operacyjnie do warunków rzeczywistych, podnoszą merytoryczną wartość pracy

## **4. Uwagi krytyczne**

### **4.1 Uwagi merytoryczne**

Najistotniejszą częścią dysertacji doktorskiej, stanowiącą o jej wysokiej wartości poznawczej i aplikacyjnej, jest stworzenie modelu matematycznego, a następnie krytyczna analiza jego modyfikacji i wreszcie potwierdzenie stosowalności przyjętej metody

modelowania w warunkach rzeczywistych. Ta część została wykonana bardzo rzetelnie, a omówienie przedstawione w rozprawie cechuje się dużą jakością naukową. Doktorantka postawiła przed sobą trudne i ambitne zadanie opracowania modelu, który nie wymaga wprowadzania dużych zbiorów danych jakościowych, a jednak gwarantuje możliwość prognozowania.

Osiągnięcie założonego celu potwierdzają rezultaty przeprowadzonej walidacji, aczkolwiek do tego fragmentu Recenzentka wnosi komentarz następujący:

w odniesieniu do walidacji dla lokalizacji N oraz O, Doktorantka proponuje wprowadzenie „współczynnika korekcyjnego” o wartości 0,25, którego zastosowanie powoduje lepsze dopasowanie. Kwestią zasadniczą jest tutaj generalna zasada modeli matematycznych (odróżniająca zależności matematyczne od modeli matematycznych), a mianowicie oprócz opisanego procesu i wskazania możliwości jednoznacznej interpretacji wyników modelu, bardzo istotne jest jednoznaczne zdefiniowanie zmiennych i współczynników. O ile w przyjętej przez Doktorantkę metodyce modelowania założenie współczynnika skalującego można uznać za dopuszczalne (dla dopasowania kształtu krzywej do położenia wyników na wykresie), o tyle zastosowanie współczynnika korekcyjnego w postaci apriorycznej stałej wymaga jednak wyjaśnienia. Uwaga ta, nie umniejsza wartości rozdziału, a jedynie jest wskazówką dla dalszej pracy naukowej Doktorantki w ważnym i trudnym obszarze modelowania matematycznego.

Kolejną uwagą dyskusyjną dotyczącą Rozdziału 5 jest pominięcie w tabeli 5.3. „*Analiza statystyczna parametrów fizykochemicznych ścieków*”, wartości skorygowanego odchylenia standardowego, które lepiej niż odchylenie standardowe pozwala na porównanie względnej zmienności wartości wskaźników jakościowych.

Tylko w jednym miejscu dysertacji jest mowa o rodzaju kanalizacji - przy okazji opisu poboru prób wspomniano, że była to kanalizacja ogólnospławna. Nie ma natomiast jednoznacznej informacji o rodzaju badanych ścieków w testach w skali technicznej. W tym przypadku, dane dotyczące odcinków o relatywnie niewielkich średnicach mogłyby wskazywać na kanalizację rozdzielczą, ale z opisu w rozprawie doktorskiej wynika, że był to układ grawitacyjno-tłoczny czyli tym samym znajdujemy uzasadnienie dla wspomnianych rozmiarów średnic. Kwestia rodzaju kanalizacji, badanego materiału jest istotna ze względu np. w odniesieniu do dynamiki zmienności temperatury ścieków (zmienność temperatury jest większa w kanalizacji ogólnospławnej).

#### **4.2. Uwagi o charakterze dyskusyjnym, na które recenzentka chciałaby uzyskać odpowiedź w trakcie obrony pracy (wynikają z Rozdz. 4.1)**

Proszę wyjaśnić:

- a) jaki materiał był wykorzystywany w badaniach - jaki rodzaj ścieków (sanitarne, deszczówka, zmieszane)/rodzaj kanalizacji w skali laboratoryjnej i technicznej;
- b) w metodyce modelowania założony został współczynnik skalujący (dopasowanie kształtu krzywej do wyników na wykresie), a dlaczego przyjęto współczynnik korekcyjny w postaci apriorycznej;
- c) co zdecydowało o włączeniu do tekstu części teoretycznej, opisów historycznych – czy Doktorantka może określić np. wartość dodaną tych rozważań.

### 4.3 Uwagi dotyczące redakcji tekstu

W ocenie rozprawy doktorskiej w zakresie edytorskim należy stwierdzić, że:

- ✓ recenzowana rozprawa doktorska została napisana według ogólnie przyjętego, klasycznego układu powiązanych ze sobą rozdziałów;
- ✓ koncepcja/konstrukcja pracy jest czytelna, a poszczególne rozdziały tworzą układ wynikowy, wyjaśnienia i interpretacje w poszczególnych punktach i podpunktach są obszerne i dokładne;
- ✓ rysunki i tabele stanowią tę część edycji, która została bardzo dobrze przygotowana;
- ✓ tekst został starannie sprawdzony słownikowo, praca mimo trudnej i obszernej tematyki jest napisana językiem czytelnym z zachowaniem odpowiedniej nomenklatury, zasad stylistyki/gramatyki języka polskiego.

### 5. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Marty Stachowiak pt.: „*Ocena wpływu warunków pracy rurociągów tłocznych na powstawanie i emisję siarkowodoru w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej*” została wykonana na wysokim poziomie naukowym i zawiera oryginalne doświadczenia Autorki, która wykazała w swojej pracy doktorskiej, bardzo dużą wiedzę i udowodniła, że posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia badań, w tym najtrudniejszego ich rodzaju – badań w warunkach pozalaboratoryjnych. Tematyka pracy jest bardzo aktualna, a zaprezentowane wyniki wnoszą duży ładunek nowej wiedzy w naukach inżynieryjno-technicznych, w obszarze inżynierii środowiska.

Zastosowane w pracy metody badań i ich interpretacja są właściwe, wyniki zasługują na rozpropagowanie, a zaproponowane tematy do dalszych badań, zasługują na ich realizację. Natomiast, sama metodyka opracowana przez Doktorantkę, której zasadność aplikacji wykazała w badaniach, powinna być stosowana w szerokim zakresie rozwiązywania problemów związanych z infrastrukturą komunalną w sektorze gospodarki wodno-ściekowej. Recenzentka uważa, że praca doktorska oprócz bardzo dużego potencjału dalszego rozwoju naukowego Doktorantki, nabiera również dużej wartości w aspekcie praktycznym.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr Marty Stachowiak pt.: „*Ocena wpływu warunków pracy rurociągów tłocznych na powstawanie i emisję siarkowodoru w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej*” z nadatkiem spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19. stycznia 2018 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U.2018, poz.261) i dlatego wnioskuję o przyjęcie rozprawy przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ponadto, recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Marty Stachowiak zawiera elementy nowości naukowej stanowiący oryginalny dorobek Doktorantki oraz spełnia warunek, o którym mowa w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. 2018, poz. 1668 z późn. zm).

Mając na uwadze zawartą przez Recenzentkę ocenę rozprawy doktorskiej, w różnych jej aspektach – punkty recenzji: m.in. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 i uznając te stwierdzenia za uzasadnienie wystarczające na podkreślenie wysokich walorów naukowych, będących wynikiem całokształtu pracy nad rozprawą doktorską, stawiam również wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Marty Stachowiak pt.: „*Ocena wpływu warunków pracy rurociągów tłocznych na powstawanie i emisję siarkowodoru w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej*”.

Kraków, dnia 17 grudnia 2025r.

