

Szczecin, 30.12.2025 r.

dr hab. inż. Anna Głowacka, prof. ZUT
Dyscyplina: inżynieria lądowa, geodezja i transport 50%
inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka 50%
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
ZUT w Szczecinie
Al. Piastów 50a
70-311 Szczecin
anna.glowacka@zut.edu.pl

**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. Przedstawienie podstawowych danych o kandydatce

Mgr inż. Marta Stachowiak jest absolwentką Politechniki Poznańskiej. Kandydatka nie ubiegała się uprzednio o nadanie stopnia doktora.

2. Podstawy formalne sporządzenia recenzji

Recenzja przygotowana została w związku z pismem Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Nadolny z dnia 28.10.2025r. (dokument otrzymany drogą mailową) (WISIE.63.2025.67). Podstawą opracowania recenzji był przesłany na mój adres mailowy egzemplarz rozprawy doktorskiej. Egzemplarz wydrukowany rozprawy doktorskiej otrzymałam na początku grudnia 2025r.

Przedmiotem recenzji jest opinia dotycząca spełnienia przedłożonego maszynopisu pracy - mgr inż. Marty Stachowiak, nt. „Ocena wpływu warunków pracy rurociągów tłocznych na powstawanie i emisję siarkowodoru w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej”, wymagań określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2020 roku poz. 85, z późn. zm.). Zgodnie z przepisami ustawy, recenzja obejmuje ocenę ogólnej wiedzy teoretycznej Kandydatki w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwa i energetyka, ocenę jej zdolności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz ocenę oryginalności rozwiązania problemu naukowego.

3. Przedmiot recenzji

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska pt. „Ocena wpływu warunków pracy rurociągów tłocznych na powstawanie i emisję siarkowodoru w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej”, autorstwa Marty Stachowiak, przygotowana na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Zbysław Dymaczewski, prof. PP.

Rozprawa dotyczy analizy zjawisk biochemicznych zachodzących w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej, ze szczególnym uwzględnieniem procesów prowadzących do powstawania i emisji siarkowodoru. Praca koncentruje się na identyfikacji wpływu kluczowych parametrów eksploatacyjnych, takich jak temperatura ścieków oraz czas ich przetrzymania w rurociągach tłocznych, na intensywność tych procesów.

Zakres przedmiotu recenzji obejmuje zarówno część teoretyczną, zawierającą przegląd literatury i uwarunkowań prawnych, jak i część badawczą, w której zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych oraz badań prowadzonych w skali technicznej. Integralnym elementem rozprawy jest opracowanie autorskiego modelu matematycznego umożliwiającego prognozowanie stężenia siarkowodoru w powietrzu kanalizacyjnym, a także algorytmu diagnostyczno-decyzyjnego o potencjalnym zastosowaniu praktycznym.

Rozprawa ma charakter interdyscyplinarny, łącząc zagadnienia z zakresu inżynierii sanitarnej, biochemii środowiskowej oraz modelowania matematycznego procesów zachodzących w systemach kanalizacyjnych. Przedmiot recenzji stanowi zatem zarówno ocenę poprawności

metodologicznej i merytorycznej pracy, jak i ocenę jej oryginalności, wartości poznawczej oraz przydatności aplikacyjnej.

Rozprawa obejmuje 200 stron, w tym streszczenie, abstract, wstęp, podstawy teoretyczne, metodykę badań, wyniki badań eksperymentalnych, analizę i interpretację, podsumowanie i wnioski oraz spis tabel i rysunków. Podzielona jest na 7 numerowanych rozdziałów. W rozprawie zamieszczono 13 tabel i 121 rysunków. Pracę uzupełnia wykaz bibliografii obejmujący 149 pozycji literatury z czego 40,9% stanowi literatura anglojęzyczna. W spisie literatury zamieszczono również akty ustawodawcze.

4. Charakterystyka i ocena rozprawy doktorskiej

4.1. Zawartość i układ rozprawy

Rozprawa doktorska została opracowana w sposób logiczny, przejrzysty i zgodny z przyjętymi standardami dla prac naukowych na poziomie doktorskim w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Struktura dysertacji podporządkowana jest jasno sformułowanemu celowi badawczemu i prowadzi od ogólnego wprowadzenia w problematykę, poprzez podstawy teoretyczne i metodykę badań, aż do analizy wyników, opracowania modelu matematycznego oraz sformułowania wniosków o charakterze poznawczym i aplikacyjnym.

Rozdział pierwszy „Wstęp” pełni funkcję wprowadzającą i stanowi uzasadnienie podjęcia tematyki badawczej. Autorka przedstawia w nim aktualne problemy związane z rozwojem systemów kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej, zwracając szczególną uwagę na konsekwencje wydłużonego czasu przetrzymywania ścieków w rurociągach tłocznych. W sposób klarowny wskazała znaczenie problemu powstawania siarkowodoru jako czynnika odpowiedzialnego za uciążliwości zapachowe oraz przyspieszoną korozję infrastruktury kanalizacyjnej. W rozdziale tym sformułowała główny cel pracy, cele szczegółowe, zakres badań oraz tezę badawczą. Elementy te są ze sobą spójne i jednoznacznie wyznaczają dalszy tok rozważań naukowych.

Drugi rozdział „Podstawy teoretyczne” stanowi obszerny i wieloaspektowy przegląd literatury, który tworzy solidne zaplecze teoretyczne dla realizowanych badań. Autorka rozpoczyna od rysu historycznego rozwoju systemów kanalizacyjnych, ukazując ewolucję rozwiązań technicznych oraz zmieniające się uwarunkowania sanitarne i społeczne. W dalszej części omówiono współczesne wyzwania eksploatacyjne, uwarunkowania prawne funkcjonowania kanalizacji w Polsce i na świecie oraz rolę sieci kanalizacyjnej jako reaktora przemian biochemicznych. Szczególną uwagę poświęcono procesom beztlenowym, zagadnieniom odorów, korozji siarczanowej oraz metodom przeciwdziałania negatywnym skutkom tych zjawisk. Rozdział zamyka przegląd istniejących modeli matematycznych opisujących przemiany związków siarki w kanalizacji, który stanowi punkt wyjścia do opracowania własnego modelu badawczego.

Rozdział trzeci „Metodyka badań”, poświęcony jest szczegółowemu opisowi metodyki badań. Autorka przedstawia zarówno stanowisko badawcze w skali laboratoryjnej, jak i układ badawczy w skali technicznej. Opisano zastosowaną aparaturę pomiarową, zakres prowadzonych pomiarów oraz harmonogram badań. Istotnym elementem rozdziału jest uzasadnienie doboru parametrów badawczych, takich jak temperatura ścieków i czas ich przetrzymania, a także omówienie narzędzi informatycznych wykorzystanych do analizy danych. Przedstawiona metodyka cechuje się wysokim stopniem szczegółowości, co umożliwia ocenę poprawności przeprowadzonych badań oraz ich ewentualną powtarzalność.

W rozdziale czwartym „Wyniki badań eksperymentalnych” zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych uzyskane zarówno w skali laboratoryjnej, jak i technicznej. Wyniki zostały przedstawione w sposób uporządkowany, z podziałem na poszczególne warianty badawcze uwzględniające różne temperatury ścieków oraz czasy ich przetrzymania.

Autorka posługuje się licznymi wykresami i zestawieniami, ilustrującymi zmienność stężeń siarkowodoru, wartości pH oraz potencjału redoks. W części dotyczącej badań terenowych zaprezentowano wyniki pomiarów prowadzonych na wybranych obiektach kanalizacyjnych, co stanowi podstawę do dalszej analizy porównawczej.

Piąty rozdział „Analiza i interpretacja wyników” ma charakter analityczno-syntetyczny. Autorka dokonuje w nim pogłębionej interpretacji uzyskanych wyników badań laboratoryjnych i terenowych, wskazując zależności pomiędzy temperaturą ścieków, czasem ich przetrzymania a stężeniem siarkowodoru. Kluczowym elementem rozdziału jest opracowanie modelu matematycznego opisującego analizowane zależności oraz jego weryfikacja na podstawie danych z rzeczywistych systemów kanalizacyjnych. Rozdział zawiera również opis algorytmu diagnostyczno-decyzyjnego, który może stanowić praktyczne narzędzie wspierające eksploatację systemów kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej.

W rozdziale szóstym „Podsumowanie i wnioski”, Autorka syntetyzuje najważniejsze wyniki badań i formułuje wnioski końcowe. Wnioski te odnoszą się bezpośrednio do postawionego celu i tezy pracy, potwierdzając ich zasadność. Wskazano również możliwości praktycznego wykorzystania opracowanego modelu oraz zaproponowano kierunki dalszych badań naukowych.

Recenzowana rozprawa prezentuje kompletny proces naukowy: od uzasadnienia podjęcia tematyki badań, poprzez postawienie celów badawczych, tezy, badania literaturowe, zaprojektowanie i zrealizowanie eksperymentów, po wnioski. Brak jest dyskusji wyników badań.

Przyjęty układ dysertacji jest poprawny i spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim.

4.2. Dyscyplina naukowa

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

4.3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w rozprawie doktorskiej

Dobór i wykorzystanie piśmiennictwa w ocenianej rozprawie doktorskiej należy ocenić bardzo wysoko. Autorka zgromadziła obszerny, zróżnicowany i merytorycznie adekwatny zasób literatury, obejmujący zarówno klasyczne pozycje naukowe, jak i współczesne publikacje krajowe oraz zagraniczne, odnoszące się bezpośrednio do podejmowanej problematyki badawczej.

Piśmiennictwo obejmuje prace z zakresu inżynierii środowiska, technologii kanalizacji, biochemii ścieków, zagadnień odorowych i korozyjnych, a także modelowania matematycznego procesów zachodzących w systemach kanalizacyjnych. W literaturze wykorzystano ponadto akty prawne, normy oraz opracowania branżowe, co świadczy o świadomości Autorki w zakresie uwarunkowań formalno-prawnych funkcjonowania systemów kanalizacyjnych.

Istotnym elementem analizy piśmiennictwa jest omówienie istniejących modeli matematycznych opisujących powstawanie i emisję siarkowodoru w kanalizacji. Autorka trafnie wskazuje ograniczenia modeli literaturowych, w szczególności ich dużą złożoność oraz konieczność stosowania trudno dostępnych danych wejściowych. Analiza ta stanowi logiczne uzasadnienie potrzeby opracowania własnego, uproszczonego modelu prognostycznego, co świadczy o dojrzałości naukowej Doktorantki.

Pewnym uzupełnieniem mogłoby być szersze odniesienie do najnowszych prac dotyczących probabilistycznego modelowania procesów biochemicznych w kanalizacji lub zastosowania narzędzi numerycznych i metod uczenia maszynowego w prognozowaniu emisji odorów. Uwagi te nie mają jednak charakteru zasadniczego i nie wpływają na wysoką ocenę jakości zastosowanego piśmiennictwa.

Podsumowując, zastosowane w rozprawie piśmiennictwo jest kompletne, aktualne i właściwie dobrane, a sposób jego wykorzystania świadczy o bardzo dobrej znajomości przez Autorkę zarówno podstaw teoretycznych, jak i współczesnego dorobku naukowego w zakresie analizowanej problematyki. Literatura stanowi solidną podstawę dla realizacji celu pracy oraz potwierdza naukową dojrzałość Doktorantki.

4.4. Podjęta tematyka badawcza

Tematyka badawcza podjęta w rozprawie doktorskiej dotyczy jednego z istotnych i aktualnych problemów współczesnej inżynierii środowiska, jakim jest powstawanie i emisja siarkowodoru w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu warunków pracy rurociągów tłocznych. Zagadnienie to ma zarówno znaczenie naukowe, związane z poznaniem i opisem procesów biochemicznych zachodzących w

ściekach, jak i wysoką rangę praktyczną, wynikającą z konsekwencji eksploatacyjnych, środowiskowych i społecznych.

Autorka koncentruje się na problemie zagniwania ścieków w warunkach beztlenowych, które coraz częściej występują w nowoczesnych systemach kanalizacyjnych, zwłaszcza w rozległych sieciach z udziałem rurociągów tłocznych. Wydłużony czas przetrzymywania ścieków oraz ograniczony dostęp tlenu sprzyjają rozwojowi procesów redukcji siarczanów i powstawaniu siarkowodoru – związku odpowiedzialnego za uciążliwość zapachowe, zagrożenia dla zdrowia pracowników oraz intensyfikację korozji elementów infrastruktury kanalizacyjnej.

Podjęta tematyka wpisuje się w aktualne wyzwania eksploatacyjne przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych, które coraz częściej muszą mierzyć się z problemami odorowymi i korozyjnymi, przy jednoczesnej presji na ograniczanie kosztów i racjonalizację działań technicznych. Autorka trafnie identyfikuje niedostatek prostych, operacyjnych narzędzi umożliwiających prognozowanie ryzyka wystąpienia siarkowodoru w oparciu o parametry łatwo dostępne w praktyce eksploatacyjnej.

Istotnym aspektem tematyki badawczej jest połączenie badań laboratoryjnych z badaniami w skali technicznej, co pozwala nie tylko na analizę mechanizmów powstawania siarkowodoru w kontrolowanych warunkach, lecz także na ocenę ich rzeczywistego znaczenia w funkcjonujących systemach kanalizacyjnych. Takie podejście zwiększa wiarygodność uzyskanych wyników oraz ich potencjał aplikacyjny.

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że tematyka pracy nie ogranicza się do opisu zjawisk, lecz zmierza do opracowania modelu matematycznego o charakterze prognostycznym, który może wspierać procesy decyzyjne w eksploatacji i projektowaniu systemów kanalizacyjnych. Tym samym rozprawa łączy elementy badań podstawowych z aspektami inżynierskimi i wdrożeniowymi.

Podsumowując, podjęta tematyka badawcza podjęta przez mgr inż. Martę Stachowiak jest aktualna, istotna i dobrze osadzona w potrzebach praktyki inżynierskiej, a jednocześnie posiada wyraźny komponent poznawczy. Zakres i sposób ujęcia problemu świadczą o trafnym wyborze tematu rozprawy doktorskiej oraz o świadomości Autorki co do znaczenia i konsekwencji analizowanych zagadnień.

4.5. Cel, teza, i zakres rozprawy doktorskiej

Cel rozprawy doktorskiej został sformułowany w sposób jednoznaczny, precyzyjny i logicznie uzasadniony. Głównym celem pracy jest *„opracowanie zależności matematycznej umożliwiającej prognozowanie stężenia siarkowodoru w powietrzu kanalizacyjnym w funkcji temperatury ścieków oraz czasu ich przetrzymania w rurociągach tłocznych”*, w warunkach beztlenowych, charakterystycznych dla systemów kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej.

Tak sformułowany cel odpowiada aktualnym potrzebom praktyki eksploatacyjnej i projektowej, gdyż zmierza do stworzenia narzędzia prognostycznego opartego na parametrach łatwo dostępnych dla operatorów systemów kanalizacyjnych. Autorka słusznie podkreśla, że celem pracy nie jest opracowanie modelu o wysokim stopniu złożoności, lecz narzędzia o charakterze orientacyjnym, umożliwiającego wczesną identyfikację ryzyka wystąpienia problemów odorowo-korozyjnych.

Cel główny został uszczegółowiony poprzez cele szczegółowe, obejmujące m.in. analizę stanu wiedzy, przeprowadzenie badań laboratoryjnych i terenowych, opracowanie oraz weryfikację modelu matematycznego, a także ocenę skuteczności stosowanych metod przeciwdziałania zagniwaniu ścieków. Cele te są ze sobą spójne i w sposób konsekwentny prowadzą do realizacji celu nadrzędnego.

W rozprawie postawiono wyraźnie sformułowaną tezę badawczą, zgodnie z którą *„stężenie siarkowodoru w powietrzu kanalizacyjnym za rurociągiem tłocznym jest funkcją temperatury ścieków oraz czasu ich przetrzymania w rurociągu, a zależność ta może zostać opisana przy pomocy równania matematycznego”*.

Teza ma charakter weryfikowalny i znajduje bezpośrednie odzwierciedlenie w zaprojektowanym programie badań. Została ona sprawdzona zarówno w warunkach

laboratoryjnych, jak i w skali technicznej, co należy ocenić bardzo pozytywnie. Uzyskane wyniki badań oraz przeprowadzona analiza potwierdzają zasadność przyjętej tezy, wskazując jednocześnie na jej praktyczne implikacje.

Przedstawiony zakres pracy należy uznać za **kompletny i właściwie dobrany**, umożliwiający zarówno realizację założonych celów badawczych, jak i weryfikację postawionej tezy. Zakres nie jest nadmiernie rozbudowany, a jednocześnie zapewnia kompleksowe ujęcie analizowanego problemu.

Oceniam, że zawarta w rozprawie teza, jak i cele dysertacji spełniają warunek oryginalności.

4.6. Kompletność i spójność pracy

Rozprawa doktorska charakteryzuje się wysokim stopniem kompletności merytorycznej oraz spójności strukturalnej i logicznej. Wszystkie elementy pracy, począwszy od wprowadzenia i sformułowania problemu badawczego, poprzez przegląd literatury, metodykę badań, prezentację wyników, aż po ich analizę i wnioski końcowe, tworzą jednolity i konsekwentny tok rozumowania, podporządkowany jasno określonej celowi badawczemu.

Kompletność pracy przejawia się przede wszystkim w pełnym ujęciu analizowanej problematyki. Autorka nie ogranicza się wyłącznie do opisu zjawisk związanych z powstawaniem siarkowodoru, lecz przedstawia szeroki kontekst techniczny, biochemiczny i eksploatacyjny funkcjonowania systemów kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej. Przegląd literatury stanowi solidną podstawę teoretyczną, na której oparto dalsze rozważania badawcze, a przedstawiona metodyka badań umożliwia jednoznaczną ocenę poprawności i rzetelności uzyskanych wyników.

Spójność pracy widoczna jest w logicznym następstwie kolejnych rozdziałów oraz w zachowaniu ciągłości narracji naukowej. Cele szczegółowe sformułowane we wstępie znajdują swoje odzwierciedlenie w zaprojektowanych badaniach i analizach, natomiast uzyskane wyniki bezpośrednio prowadzą do weryfikacji postawionej tezy badawczej. Autorka konsekwentnie odnosi się do wcześniej przedstawionych założeń, unikając sprzeczności interpretacyjnych i nieuzasadnionych uogólnień.

Na uwagę zasługuje również spójność metodologiczna pracy. Zastosowane metody badawcze, zarówno w skali laboratoryjnej, jak i technicznej, są wzajemnie komplementarne i pozwalają na wieloaspektową ocenę badanego zjawiska. Opracowanie modelu matematycznego stanowi naturalne zwieńczenie przeprowadzonych badań eksperymentalnych, a jego weryfikacja w warunkach rzeczywistych potwierdza zasadność przyjętego podejścia badawczego.

Spójność formalna pracy przejawia się w jednolitym stylu językowym, konsekwentnym stosowaniu terminologii naukowej oraz poprawnym i czytelnym opracowaniu części graficznej i tabelarycznej.

Podsumowując, rozprawa doktorska stanowi kompletną i spójną całość, w której wszystkie elementy zostały właściwie dobrane i wzajemnie powiązane. Praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zarówno pod względem merytorycznym, jak i formalnym, a jej struktura sprzyja jednoznacznej ocenie realizacji celu i weryfikacji postawionej tezy badawczej.

4.7. Przyjęte założenia

Przyjęte w rozprawie doktorskiej założenia badawcze zostały sformułowane w sposób jasny, konsekwentny i merytorycznie uzasadniony, a ich dobór wynika bezpośrednio z celu pracy oraz postawionej tezy badawczej. Autorka świadomie przyjęła zestaw założeń umożliwiających opracowanie modelu prognostycznego o charakterze praktycznym, możliwego do zastosowania w warunkach eksploatacyjnych systemów kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej.

Podstawowym założeniem pracy jest traktowanie systemu kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej jako środowiska sprzyjającego powstawaniu warunków beztlenowych, zwłaszcza w rurociągach tłocznych, gdzie ograniczony dostęp tlenu oraz wydłużony czas przetrzymania ścieków sprzyjają intensyfikacji procesów redukcji siarczanów. Założenie to jest zgodne z

aktualnym stanem wiedzy i znajduje potwierdzenie zarówno w literaturze przedmiotu, jak i w obserwacjach eksploatacyjnych.

Istotnym założeniem metodologicznym jest ograniczenie liczby zmiennych wejściowych modelu matematycznego do parametrów łatwo mierzalnych i powszechnie dostępnych w praktyce inżynierskiej, tj. temperatury ścieków oraz czasu ich przetrzymania w rurociągach tłocznych. Autorka zakłada, że parametry te w istotnym stopniu determinują tempo przemian biochemicznych prowadzących do powstawania siarkowodoru, a jednocześnie umożliwiają stworzenie narzędzia o uproszczonej strukturze i wysokiej użyteczności aplikacyjnej.

Kolejnym przyjętym założeniem jest prowadzenie badań laboratoryjnych w kontrolowanych warunkach temperatury i czasu przetrzymania ścieków (3, 8 i 24 godziny), z wykorzystaniem ścieków rzeczywistych, co pozwala na wiarygodne odwzorowanie procesów zachodzących w rzeczywistych systemach kanalizacyjnych. Jednocześnie Autorka przyjmuje, że wyniki uzyskane w skali laboratoryjnej mogą stanowić podstawę do opracowania zależności matematycznych, które po odpowiedniej weryfikacji znajdą zastosowanie w skali technicznej.

W pracy przyjęto również założenie, że opracowany model ma charakter orientacyjny, a jego celem nie jest dokładne odwzorowanie wszystkich złożonych procesów biochemicznych zachodzących w kanalizacji, lecz wskazanie trendów i umożliwienie wstępnej oceny ryzyka wystąpienia podwyższonych stężeń siarkowodoru.

Założenia przyjęte w części terenowej pracy obejmują wykorzystanie wybranych obiektów kanalizacyjnych jako reprezentatywnych przykładów funkcjonujących systemów grawitacyjno-ciśnieniowych. Autorka zakłada, że analiza tych obiektów umożliwia weryfikację modelu matematycznego oraz ocenę jego przydatności w warunkach rzeczywistych, przy jednoczesnym uwzględnieniu ograniczeń wynikających z różnorodności rozwiązań technicznych i eksploatacyjnych.

Podsumowując, przyjęte w rozprawie doktorskiej założenia są spójne z celem i zakresem pracy, dobrze umotywowane teoretycznie oraz racjonalne z punktu widzenia praktyki inżynierskiej. Umożliwiają one realizację zaplanowanych badań, opracowanie modelu matematycznego oraz weryfikację postawionej tezy, nie obniżając jednocześnie wartości poznawczej i aplikacyjnej pracy.

Doktorantka wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia prac badawczych i rozwiązywania problemów naukowych.

4.8. Zastosowane i opracowane narzędzia

W rozprawie doktorskiej zastosowano kompleksowy i adekwatny zestaw narzędzi badawczych, obejmujący zarówno rozwiązania aparaturowe i pomiarowe, jak i narzędzia analityczne oraz autorskie opracowania modelowe. Dobór narzędzi pozostaje w ścisłym związku z celem pracy i umożliwia rzetelną realizację zaplanowanego programu badań.

Podstawowym narzędziem badawczym było autorskie stanowisko laboratoryjne, zaprojektowane i wykonane w celu prowadzenia badań w kontrolowanych warunkach czasu przetrzymania i temperatury ścieków. Stanowisko to umożliwiało symulację warunków beztlenowych charakterystycznych dla rurociągów tłocznych oraz rejestrację zmian stężenia siarkowodoru w powietrzu kanalizacyjnym, a także parametrów takich jak pH i potencjał redoks. Zastosowanie ścieków rzeczywistych zwiększa wiarygodność uzyskanych wyników i pozwala na lepsze odwzorowanie warunków eksploatacyjnych.

W części badań prowadzonych w skali technicznej wykorzystano specjalistyczną aparaturę pomiarową do monitorowania stężeń siarkowodoru oraz przepływu ścieków w rzeczywistych obiektach kanalizacyjnych. Uzupełnieniem tych pomiarów były analizy wybranych wskaźników fizykochemicznych ścieków, takich jak pH, azot, fosfor, BZT, ChZT, siarczki czy temperatura, wykonywane zgodnie z obowiązującymi procedurami analitycznymi. Pozwoliło to na wieloaspektową ocenę warunków sprzyjających powstawaniu siarkowodoru.

Istotnym elementem warsztatu badawczego są narzędzia informatyczne i obliczeniowe zastosowane do opracowania i analizy wyników badań. Autorka wykorzystywała je do przetwarzania danych pomiarowych, analizy statystycznej oraz budowy zależności matematycznych opisujących

wpływ temperatury i czasu przetrzymania ścieków na stężenie H_2S . Narzędzia te umożliwiły również graficzną prezentację wyników, co znacząco ułatwia ich interpretację.

Najważniejszym autorskim osiągnięciem w zakresie zastosowanych narzędzi jest opracowanie własnego modelu matematycznego służącego do prognozowania stężenia siarkowodoru w powietrzu kanalizacyjnym. Model ten stanowi syntezę wyników badań laboratoryjnych i terenowych oraz wiedzy zaczerpniętej z literatury. Jego struktura została celowo uproszczona, co zwiększa możliwości praktycznego wykorzystania modelu przez eksploatatorów systemów kanalizacyjnych.

Uzupełnieniem modelu matematycznego jest autorski algorytm diagnostyczno-decyzyjny, który porządkuje proces oceny ryzyka wystąpienia problemów odorowo-korozyjnych w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej. Algorytm ten może stanowić podstawę do opracowania narzędzi wspomagania decyzji eksploatacyjnych, co podkreśla aplikacyjny charakter rozprawy.

Podsumowując, zastosowane i opracowane w pracy narzędzia należy ocenić jako właściwie dobrane, nowoczesne i spójne metodologicznie. Ich wykorzystanie świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu Autorki do prowadzenia badań naukowych oraz o umiejętności łączenia metod eksperymentalnych z analizą matematyczną i potrzebami praktyki inżynierskiej.

4.9. Realizacja prac laboratoryjnych

Realizacja prac laboratoryjnych w rozprawie doktorskiej została przeprowadzona w sposób rzetelny, metodycznie poprawny i w pełni podporządkowany założonemu celowi badawczemu. Badania laboratoryjne stanowią jeden z kluczowych elementów pracy i tworzą podstawę do opracowania zależności matematycznych opisujących wpływ warunków pracy rurociągów tłocznych na powstawanie i emisję siarkowodoru.

Autorka zaprojektowała i wykonała dedykowane stanowisko badawcze w skali laboratoryjnej, umożliwiające prowadzenie eksperymentów w kontrolowanych warunkach temperatury oraz czasu przetrzymania ścieków.

Program badań laboratoryjnych został zaplanowany w sposób systematyczny i obejmował szeroki zakres wariantów badawczych, uwzględniających różne temperatury ścieków oraz zróżnicowane czasy ich przetrzymania. Taki dobór parametrów umożliwił analizę zarówno pojedynczego wpływu poszczególnych czynników, jak i ich wzajemnych interakcji. Harmonogram badań został opracowany w sposób umożliwiający uzyskanie reprezentatywnej bazy danych, niezbędnej do dalszych analiz modelowych.

Zastosowane metody pomiarowe oraz aparatura zostały dobrane adekwatnie do zakresu badań i zapewniały uzyskanie danych o odpowiedniej dokładności i powtarzalności.

Realizacja prac laboratoryjnych cechuje się również wysoką spójnością z dalszymi etapami badań. Uzyskane wyniki zostały w sposób logiczny wykorzystane w analizie i interpretacji danych oraz stanowiły podstawę do opracowania modelu matematycznego. Prace laboratoryjne nie mają zatem charakteru autonomicznego, lecz są integralnym elementem całościowego programu badawczego.

Podsumowując, realizację prac laboratoryjnych należy ocenić jako poprawną metodycznie, dobrze zaplanowaną i konsekwentnie przeprowadzoną. Zakres i sposób realizacji badań potwierdzają dobre przygotowanie Doktorantki do samodzielnego prowadzenia badań eksperymentalnych oraz świadczą o jej umiejętnościach w zakresie projektowania eksperymentów, prowadzenia pomiarów i krytycznej analizy uzyskanych wyników.

4.10. Wnioskowanie

Wszystkie zawarte w pracy wnioski znajdują swoje uzasadnienie we wcześniejszych częściach pracy. Założone cele w dysertacji zostały osiągnięte. Przyjęte tezy zostały udowodnione.

5. Uwagi/sugestie i pytania do Doktorantki

1. Brak w dysertacji dyskusji wyników badań przez co trudno jest określić/porównać uzyskane rezultaty badań z literaturą.
2. Doktorantka wyniki badań eksperymentalnych w skali laboratoryjnej i terenowej zaprezentowała na 48 rysunkach na stronach od 83 do 131. Wskazane byłoby chociaż krótkie zinterpretowanie przedstawionych danych na rysunkach.

3. Autorka świadomie ograniczyła liczbę zmiennych wejściowych modelu matematycznego do temperatury ścieków oraz czasu ich przetrzymania, co stanowi istotną zaletę z punktu widzenia praktyki eksploatacyjnej. Jednocześnie takie uproszczenie rodzi pytanie o wrażliwość modelu na inne czynniki, w szczególności:
 - zmienność składu ścieków dopływających (udział ścieków przemysłowych, infiltracja),
 - warunki hydrauliczne rurociągu tłocznego (prędkość przepływu, średnica, chropowatość),
 - obecność i charakter biofilmu.

W pracy zagadnienia te zostały częściowo omówione w części teoretycznej, jednak nie zostały wprost uwzględnione w strukturze modelu.

4. Badania terenowe przeprowadzono na wybranych obiektach kanalizacyjnych. Choć ich liczba i zakres pozwalają na weryfikację modelu, warto rozważyć, czy:
 - analiza większej liczby zlewni,
 - objęcie badań systemów o skrajnie różnych parametrach (np. bardzo krótkie i bardzo długie rurociągi tłoczne) mogłoby wpłynąć na dalszą kalibrację lub uniwersalność opracowanego modelu.
5. Eksperymenty laboratoryjne prowadzono w zakresie temperatur od 10 do 25°C, co odpowiada typowym warunkom eksploatacyjnym w klimacie umiarkowanym. Zasadne wydaje się jednak pytanie o zachowanie modelu:
 - w warunkach ekstremalnych (np. temperatury poniżej 10°C w okresie zimowym),
 - w warunkach podwyższonych temperatur ścieków w systemach o dużym udziale ścieków przemysłowych.

Pytania do Doktorantki

1. Jakie, zdaniem Doktorantki, są granice stosowalności opracowanego modelu w praktyce eksploatacyjnej? Czy model może być bezpośrednio stosowany w systemach o znacznie odmiennej charakterystyce hydraulicznej lub technologicznej niż obiekty objęte badaniami?
2. Które dodatkowe zmienne – przy zachowaniu możliwie prostej struktury modelu – Doktorantka uznałaby za najbardziej perspektywiczne do uwzględnienia w przyszłych pracach badawczych?
3. W jaki sposób opracowany model mógłby zostać wykorzystany już na etapie projektowania systemów kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej, a nie wyłącznie w fazie eksploatacji?
4. Jak Doktorantka ocenia przewagę zaproponowanego rozwiązania nad istniejącymi modelami opisującymi powstawanie siarkowodoru?
5. Czy, w świetle przeprowadzonych badań, Doktorantka widzi możliwość wykorzystania opracowanego algorytmu diagnostyczno-decyzyjnego jako elementu systemów wspomagania decyzji w przedsiębiorstwach wodociągowo-kanalizacyjnych?

W pracy występują jeszcze błędy stylistyczne i interpunkcyjne, które nie są wymienione w recenzji lecz nie wpływają one na wartość merytoryczną dysertacji.

6. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej

Ogólną wiedzę teoretyczną Autorki rozprawy doktorskiej należy ocenić jako bardzo dobrą i odpowiadającą wymaganiom stawianym kandydatom do stopnia doktora w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Doktorantka wykazuje szeroką orientację w zagadnieniach związanych z funkcjonowaniem systemów kanalizacyjnych, przemianami biochemicznymi zachodzącymi w ściekach oraz problematyką odorów i korozji infrastruktury sanitarnej.

Podsumowując, ogólna wiedza teoretyczna zaprezentowana w rozprawie doktorskiej jest rozległa, aktualna i dobrze ugruntowana, a jej poziom jednoznacznie potwierdza przygotowanie Doktorantki do samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz do uzyskania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych.

7. Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej zaprezentowana przez Doktorantkę w ocenianej rozprawie doktorskiej zasługuje na wysoką ocenę i jednoznacznie potwierdza jej dojrzałość badawczą. Autorka wykazuje kompetencje niezbędne do samodzielnej identyfikacji problemu naukowego, zaprojektowania programu badawczego oraz konsekwentnej realizacji kolejnych etapów badań.

Doktorantka w sposób świadomy i uzasadniony dokonała wyboru tematyki badawczej, wskazując jej znaczenie zarówno w kontekście naukowym, jak i praktycznym. Samodzielność badawcza przejawia się już na etapie formułowania celu i tezy pracy, które są precyzyjne, logicznie spójne i w pełni weryfikowalne. Autorka potrafiła właściwie określić zakres pracy, unikając zarówno nadmiernego zawężenia, jak i nieuzasadnionego rozszerzania problematyki badawczej.

Na szczególne podkreślenie zasługuje samodzielność Doktorantki w projektowaniu i realizacji badań eksperymentalnych. Autorka zaprojektowała stanowisko laboratoryjne, opracowała harmonogram badań oraz przeprowadziła eksperymenty w sposób systematyczny i metodycznie poprawny. Umiejętnie połączyła badania laboratoryjne z badaniami w skali technicznej, co wymagało nie tylko wiedzy teoretycznej, lecz także praktycznych umiejętności organizacyjnych i analitycznych.

Całość rozprawy świadczy o umiejętności samodzielnego planowania, realizacji i podsumowania pracy naukowej. Doktorantka wykazuje zdolność krytycznego myślenia, konsekwencję w działaniu oraz umiejętność syntetycznego formułowania wniosków. Należy podkreślić, że poziom samodzielności zaprezentowany w pracy jest w pełni zgodny z wymaganiami stawianymi rozprawom doktorskim i potwierdza gotowość Autorki do dalszego prowadzenia badań naukowych.

8. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedłożona rozprawa doktorska stanowi kompletną, spójną i merytorycznie dojrzałą pracę naukową, poświęconą istotnemu i aktualnemu problemowi inżynierii środowiska, jakim jest powstawanie i emisja siarkowodoru w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej. Autorka w sposób trafny zidentyfikowała lukę badawczą oraz potrzeby praktyki eksploatacyjnej, a następnie zaprojektowała i konsekwentnie zrealizowała program badawczy prowadzący do osiągnięcia jasno sformułowanego celu pracy.

Rozprawa wyróżnia się dobrze udokumentowanym zapleczem teoretycznym, poprawnie zaprojektowaną metodyką badań oraz rzetelną realizacją prac eksperymentalnych, zarówno w skali laboratoryjnej, jak i technicznej. Uzyskane wyniki zostały poddane pogłębionej analizie, a ich interpretacja została właściwie osadzona w aktualnym stanie wiedzy naukowej. Opracowany model matematyczny oraz algorytm diagnostyczno-decyzyjny stanowią oryginalny i wartościowy wkład Autorki w rozwój metod prognozowania zagrożeń odorowo-korozyjnych w systemach kanalizacyjnych.

Na podkreślenie zasługuje wysoki poziom samodzielności badawczej Doktorantki, przejawiający się w doborze tematyki, projektowaniu badań, analizie wyników oraz formułowaniu wniosków. Praca świadczy o bardzo dobrej znajomości zagadnień teoretycznych, umiejętności prowadzenia badań eksperymentalnych oraz zdolności do syntezy wiedzy i formułowania uogólnień o charakterze naukowym i aplikacyjnym.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Marty Stachowiak pt. „Ocena wpływu warunków pracy rurociągów tłocznych na powstawanie i emisję siarkowodoru w systemach kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej” spełnia wszystkie warunki oraz wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.), stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

W związku z tym, stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Stachowiak do publicznej obrony w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Jednocześnie stawiam wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.