

Poznań, 30.01.2023

Prof. dr hab. inż. Marek M. Sozański  
Instytut Inżynierii Środowiska  
i Instalacji Budowlanych  
Politechniki Poznańskiej

## RECENZJA

Rozprawy Doktorskiej mgr inż. Macieja Żołnierczyka nt. „Modułowe oczyszczanie ścieków przemysłowych w układach zintegrowanych z wykorzystaniem zaawansowanych procesów fizykochemicznych i biologicznych”.

### 1. PODSTAWA OPRACOWANIA RECENZJI

Formalną podstawą recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Śląskiej z dn. 20.10.2022 r., a także umowa o dzieło zawarta w dniu 16.11.2022 r. pomiędzy Politechniką Śląską reprezentowaną przez Prof. dr hab. inż. Mariusza Dudziaka a w.w.

### 2. PROBLEMATYKA I ZAKRES ROZPRAWY

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Macieja Żołnierczyka dotyczy bardzo złożonego i trudnego zagadnienia jakim jest oczyszczanie ścieków przemysłowych, które to ze względu na globalną objętość oraz skład fizykochemiczny stanowią bardzo duże zagrożenie dla środowiska naturalnego. Oczyszczanie ścieków przemysłowych według jednego schematu, jak w przypadku ścieków bytowo-gospodarczych nie jest możliwe. Możliwość ich łącznego oczyszczania ze ściekami bytowo-gospodarczymi w miejskich oczyszczalniach ścieków wymaga na ogół wstępnego oczyszczania. Oczyszczanie ścieków przemysłowych w odrębnej oczyszczalni jest systemem technologicznym wieloprocessowym, którego zaprojektowanie wymaga odrębnego podejścia opartego na badaniach doświadczalnych. Tematyka ta jest rzadko podejmowana w rozprawach doktorskich z uwagi na stopień trudności. Jednak już samo sformułowanie rozprawy mówiące o konieczności oparcia rozwiązania na „technologii modułowej” wskazuje na pełną świadomość doktoranta dotyczącą skali złożoności i trudności.

W fazie studiów literaturowych i wyboru tematu autor bierze pod uwagę trzy zasadnicze grupy zanieczyszczeń ścieków przemysłowych, w tym:

- ✓ związki organiczne, w szczególności niebiodegradowalne,
- ✓ azotany, jako składnik niepożądany powodujący eutrofizację wód,
- ✓ siarczany, jako czynnik wpływający na poziom mineralizacji wód i wskaźnik ich funkcjonalności w środowisku oraz przydatności w gospodarce.

Z kolei do zaawansowanych procesów fizykochemicznych i biologicznych, których potencjalne możliwości oczyszczania stanowią podstawę koncepcji technologicznych autora należą procesy:

- ✓ pogłębionego utleniania, w szczególności zmodyfikowanej reakcji Fentona,
- ✓ chemicznej redukcji azotanów do azotu gazowego z wykorzystaniem żelaza metalicznego i mocznika,
- ✓ chemicznego strącania siarczanów z zastosowaniem cementu glinowo-wapniowego jako źródła jonów glinu i wapnia.

Waga istniejących zagrożeń ściekami przemysłowymi dla środowiska naturalnego, w szczególności zawierającymi przyjęte przez doktoranta grupy zanieczyszczeń wskazuje, iż podjęty przez niego temat i jego zakres należy uznać za w pełni uzasadniony i ważny dla praktyki inżynierskiej. Pragnę równocześnie podkreślić, iż tytuł rozprawy jest w pełni komunikatywny i należycie oddaje charakter rozprawy oraz jej zasadnicze elementy.

Rozprawa składa się z 14 rozdziałów, spisu rysunków, tabel i wykresów oraz z bibliografii – razem 144 strony, w tym 4 rysunki, 12 tabel, 37 wykresów. Spis literatury obejmuje 52 pozycje, w znacznej części anglojęzyczne, z okresu dwóch ostatnich dekad. W załączniku przedstawiono rysunek 5 przedstawiający schemat technologiczny zintegrowanego układu oczyszczania. Ponadto w pracy na luźnych stronach dołączono streszczenie rozprawy (2 strony) po polsku i po angielsku. Zasadnicze części pracy obejmują:

- ✓ wstęp oraz wybrane metody oczyszczania ścieków przemysłowych (rozdziały 1 i 2, strony od 4 do 38); przedstawiające odpowiednio:
  - podstawowe zagadnienia dotyczące zasobów wodnych Polski oraz ogólną charakterystykę ścieków przemysłowych ze szczególnym uwzględnieniem terenów Polski,
  - w ogólnym ujęciu stan wiedzy w zakresie rozwiązywanego problem, w tym reakcji Fentona, redukcji azotanów (V), strącania siarczanów, w szczególności w postaci etryngitu,
- ✓ cel i zakres pracy, tezy pracy, badania wstępne (rozdziały 3, 4 i 5, strony od 38 do 42), zostały sformułowane syntetycznie i jasno, definiując podjęty problem badawczy w celach i zakresie badań, z kolei tezy zostały dostatecznie szczegółowo sformułowane, aby można je było doświadczać zweryfikować,
- ✓ metodyka badań (rozdział 6, strony od 43 do 56), przedstawiająca kompleksowo plan eksperymentów, w tym stosowane reagenty, metodykę pomiarów analitycznych, aparaturę doświadczalną, warunki i procedury badań technologicznych w zakresie: reakcji Fentona, chemicznej redukcji azotanów i chemicznego strącania siarczanów,

- ✓ wynik i omówienie badań alternatywnych źródeł nadtlenu wodoru (rozdział 7, strony od 57 do 67), określające możliwości wykorzystania nadwęglanu sodu, mononadsiarczynu potasu i pertlenonu, jako źródła nadtlenu wodoru,
- ✓ wyniki i omówienie badań wstępnych (rozdział 8, strony od 68 do 100), badań w skali laboratoryjnej opartych na klasycznym eksperymencie czynnym polegającym na celowym (indywidualnym) prowadzeniu poszczególnych procesów, w tym:
  - reakcji Fentona w wersji zmodyfikowanej,
  - chemicznej redukcji azotanów,
  - chemicznego strącania siarczanów,

oraz wpływni na ich przebieg w warunkach ściśle określonych i kontrolowanych w celu określenia efektów zgodnych z planem badań i będących podstawą dalszych działań,

- ✓ połączenie procesów w układzie zintegrowanym, badania weryfikacyjne zintegrowanego układu oczyszczania, podsumowanie badań w układzie zintegrowanym i wnioski (rozdziały 9, 10 i 11, strony od 101 do 110), połączenie zgodne z głównym celem pracy, jakim jest utworzenie systemu technologicznego zintegrowanego w sposób najkorzystniejszy mający znamiona optymalizacji wraz z jego doświadczalną weryfikacją,
- ✓ badania właściwe (z wykorzystaniem ścieków rzeczywistych – rozdział 12, strony od 111 do 122), prowadzone na ściekach pobranych z zakładu przemysłowego według metodyki sprawdzonej na ściekach o składzie modelowym w systemie technologicznym zintegrowanym,
- ✓ wstępne wytyczne technologiczne dla zintegrowanego układu oczyszczania ścieków przemysłowych (rozdział 13, strony od 123 do 130), przedstawiające opis zintegrowanej technologii i urządzeń, w tym wytycznych dla trzech kolejnych modułów w zakresie rozwiązań konstrukcyjnych, materiałowych, technologicznych i aparatury kontrolno-pomiarowej,
- ✓ podsumowanie całościowe wyników badań (rozdział 14, strony od 131 do 136), przedstawiające podstawowe osiągnięcia pracy wraz z elementami dyskusji oraz informacją odnośnie do dalszych działań związanych z aplikacją otrzymanych wyników.

Z dokonanej analizy tematu, treści rozprawy i sekwencji działań wynika pełna zgodność postępowania badawczego Doktoranta z metodologią badań naukowych, gwarantujących właściwy dobór, układ i poprawność czynności doświadczalnych i wnioskowania, zwyczajowo oczekiwanych i stawianych pracom doktorskim.

### 3. OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY, UWAGI SZCZEGÓŁOWE

Rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Żołnierczyka jest wynikiem Jego obszernych kilkuletnich studiów i eksperymentów nad złożonym zagadnieniem oczyszczania silnie zanieczyszczonych ścieków przemysłowych niebiodegradowalnych, w tym o znacznych stężeniach azotanów i siarczanów. Badania doświadczalne w tej tematyce, w takim zakresie, ujęciu i efekcie finalnym, w jakim przedstawił to Doktorant nie mają pierwowzorów we współczesnym piśmiennictwie naukowym. W tym też kontekście podjęty przez Doktoranta temat spełnia zarówno kryterium obiektywnej ważności, jako mający znaczenie dla rozwoju technologii oczyszczania ścieków przemysłowych, jak i kryterium aktualności określone spodziewanymi efektami oczyszczania tych silnie zanieczyszczonych ścieków trudnych do oczyszczenia w stosowanych – klasycznych systemach oczyszczania ścieków przemysłowych.

Merytoryczną jakość rozprawy dokumentują:

- ✓ hipotezy badawcze jednoznacznie sformułowane o istotnym znaczeniu dla rozwoju specyficznych technologii zintegrowanych z wysokoefektywnych procesów chemicznych ukierunkowanych do oczyszczania silnie zanieczyszczonych i trudnych – niebiodegradowalnych ścieków przemysłowych,
- ✓ plan realizacji badań, w tym weryfikacji hipotez, który w całościowym ujęciu przedstawia oryginalny schemat struktury eksperymentów, w szczególności sekwencyjno – wieloetapowy harmonogram realizacji serii doświadczalnych wraz z wynikami, ich interpretacją i wnioskowaniem, prezentując w nich aspekty poznawcze i aplikacyjne, w tym elementy nowości naukowej.

Mocną stroną pracy w aspekcie kryteriów metodycznych jest:

- ✓ oparcie planów eksperymentów na współczesnych, teoretycznie ugruntowanych i sprawdzonych metodach badawczych, zapewniających racjonalny dobór oraz merytoryczną poprawność zastosowanych testów, analiz fizykochemicznych oraz procedur pomiarowych,
- ✓ kompleksowość badań, realizowanych w szeregu serii doświadczalnych, w szerokim zakresie zadań eksperymentalnych obejmujących:
  - modyfikacje reakcji Fentona,
  - chemiczną redukcję azotanów,
  - strącanie jonów siarczanowych,
  - efekty oczyszczania ścieków modelowych w układach indywidualnych poszczególnych procesów,
  - efekty oczyszczania ścieków modelowych w wybranym układzie zintegrowanym, tj. w systemie technologii modułowej,
  - efekty oczyszczania (rzeczywistych) ścieków przemysłowych z przemysłu metalurgicznego w układzie zintegrowanym w technologii modułowej,

- ✓ interpretacja wyników eksperymentów ukierunkowana na weryfikację sformułowanych hipotez, polegająca na wykazaniu ich prawdziwości przez zebranie możliwie dużej liczby pomierzonych parametrów procesowych i wskaźników fizykochemicznych potwierdzających te hipotezy; interpretacja ta jest działaniem interdyscyplinarnym, wieloetapowym, będącym merytoryczną i statystyczną analizą tych wyników opartą na istniejącym stanie wiedzy, w wyniku której dochodzi On do prawdziwości postawionych hipotez.

Rozprawa doktorska została napisana według ogólnie przyjętego klasycznego układu logicznie powiązanych ze sobą części i rozdziałów o właściwych proporcjach. Konstrukcja treści charakteryzuje się prostotą, przejrzystością, zwartością tekstu, poprawnością terminologii. Poszczególne rozdziały tworzą układ hierarchiczny i wynikowy, stanowiąc przejaw logiki rozumowania.

Zasadniczym poznawczym, a zarazem i aplikacyjnym osiągnięciem finalnym rozprawy jest koncepcja oryginalnej technologii oczyszczania ścieków przemysłowych – niebiodegradowalnych, oparta na trzech optymalnie zintegrowanych wysokoefektywnych procesach chemicznych: zmodyfikowanej reakcji Fentona, redukcji azotanów do azotu gazowego oraz strącania jonów siarczanowych w postaci etryngitu, której wysoka skuteczność została zweryfikowana na silnie zanieczyszczonych ściekach z zakładu metalurgicznego. Technologia ta rozszerza istniejący stan wiedzy z dyscypliny Technologii Oczyszczania Ścieków, a w szczególności z zakresu oczyszczania ścieków przemysłowych niebiodegradowalnych. Autor technologię tę opracował na stosunkowo wysokim stopniu szczegółowości – założeń i wytycznych technologiczno-aparaturowych mogących stanowić podstawę do projektowania technicznego.

Do uwag krytycznych o charakterze dyskusyjnym – edytorskich zaliczam:

- ✓ przedstawienie „Celu i zakresu pracy” dopiero na stronie 38, a więc po rozdziale 2 – „Wybranych metodach oczyszczania ścieków przemysłowych”, będących w zasadzie przeglądem literaturowym wynikającym z celu pracy,
- ✓ przedstawienie rozdziału 2, jako wynikającego z celu pracy i należącego do jej zakresu przed „Celem i zakresem pracy”.

Przedstawiona uwaga dotycząca sekwencyjnej kolejności rozdziałów w treści pracy w niczym oczywiście nie obniża osiągnięć ani poziomu pracy, a jedynie powinna być uwzględniona w opublikowaniu rozprawy w postaci monografii.

#### 4. WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Żołnierczyka pt. „Modułowe oczyszczanie ścieków przemysłowych w układach zintegrowanych z wykorzystaniem zaawansowanych procesów fizykochemicznych i biologicznych” w świetle kryteriów jakości merytorycznej stoi na wysokim poziomie naukowym wnosząc nowe wartości poznawcze i użytkowe do istniejącego stanu wiedzy. Praca jest oryginalnym osiągnięciem Autora w pełni zasługującym na wyróżnienie. Praca stanowi indywidualny wkład Autora w rozwój Inżynierii Środowiska w zakresie Technologii Oczyszczania Ścieków. Doktorant zaprezentował w niej bardzo dobrą znajomość teoretycznych zagadnień związanych z tematem rozprawy, wykazując równocześnie umiejętność samodzielnego planowania i prowadzenia badań naukowych.

Upoważnia to mnie do zaproponowania przyjęcia rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Żołnierczyka przez Radę Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony. Rozprawa ta spełnia warunki wymagane ustawą o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

