

**Dr hab. inż. Izabela Zimoch, prof. nzw. w Pol. Śl.**

Politechnika Śląska w Gliwicach  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Instytut Inżynierii Wody i Ścieków  
ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice  
Tel. +48 32 2372884, Faks: +48 32 2371047  
e:mail izabela.zimoch@polsl.pl

---

---

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Laskowskiego**  
**pt. „Przydatność modeli opartych o rozdrobnione metale**  
**do symulowania wpływu korozji na jakość wody ”**  
**Promotor: prof. dr hab. Jacek Nawrocki**

**1. Podstawa opracowania recenzji rozprawy**

Podstawę formalną przygotowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr Tomasza Laskowskiego pt.: „*Przydatność modeli opartych o rozdrobnione metale do symulacji wpływu korozji na jakość wody*” stanowi uchwała Rady Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu z dnia 3 lipca 2015 r. oraz pismo (nr: L.dz. MIC/229/15) Dziekana Wydziału Chemii UAM prof. zw. dr hab. Henryka Koroniaka z dnia 16 lipca br.

**2. Celowość podjęcia tematu**

Systemy zaopatrzenia w wodę (SZW) są złożonymi systemami technicznymi, których podstawową funkcją jest dostarczenie do konsumenta bezpiecznej wody o parametrach zgodnych z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r w *sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi* (Dz. U. z 2007 r. nr 61, poz. 417; zm. Dz. U. z 2010 r. nr 72, poz. 466). SZW są to systemy o bardzo długim okresie eksploatacji (niejednokrotnie przekraczającym 100 lat), które w zależności od potrzeb jednostki osadniczej są sukcesywnie rozbudowywane oraz modernizowane. Integralnym elementem SZW jest podsystem dystrybucji, którego bezpośrednią funkcją jest dostarczenie do odbiorcy wody z układu zasilania, za pomocą sieci przewodów tranzytowych, magistralnych, rozdzielczych oraz w końcowym etapie wewnętrznych instalacji wodociągowych. Woda wprowadzana do podsystemu dystrybucji, niezależnie od źródła jej pochodzenia, musi być bezpieczna pod względem mikrobiologicznym, a także powinna być stabilna z biologicznego i chemicznego punktu widzenia. Bezpieczna woda do celów konsumpcyjnych jest jednym z podstawowych elementów zapewnienia zdrowia publicznego mieszkańcom miast i wsi.

Cechą podsystemów dystrybucji jest ich duża różnorodność wiekowa jak i materiałowa oraz funkcjonowanie w dynamicznie zmieniających się warunkach eksploatacyjnych. Cechy te w istotnym stopniu determinują proces wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej. Materiał, z którego zbudowana jest sieć dystrybucji, czy też wewnętrzne instalacje wodociągowe, powinien gwarantować długotrwałość eksploatacji i odporność na czynniki chemiczne oraz fizyczne. Aktualnie, w większości systemów zaopatrzenia w wodę

dużych miast, sieć wodociągowa zbudowana jest ze stali, żeliwa lub tworzyw sztucznych (PE, PCV). Żeliwo szare i stal wciąż stanowią dominujący materiał w Polsce, blisko 50% długości sieci w skali całego kraju. Przewody z żeliwa i stali charakteryzują się wysoką awaryjnością od 0,2 do 1,14 uszk·km<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> w stosunku do rur z tworzyw sztucznych, dla których parametr uszkodzeń wynosi zaledwie 0,1 uszk·km<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>. Jednym z czynników wpływających na awaryjność żeliwnych i stalowych przewodów wodociągowych jest korozja. Negatywnym skutkiem korozji jest nie tylko proces stopniowego niszczenia sieci wodociągowej, zachodzący między powierzchnią rury a otaczającym środowiskiem, przejawiający się wzrostem intensywności uszkodzeń, ale również istotny wpływ na poziom zmiany jakości wody dostarczanej konsumentom. Zatem istnienie dużych, złożonych systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę wiąże się nieodłącznie z koniecznością ograniczania zjawiska korozji jak i jej negatywnych skutków, poprzez zapewnienie efektywnych działań operacyjnych. Istotnym problemem, który bardzo szybko wyłonił się w procedurach zarządzania infrastrukturą wodociągową jest konieczność identyfikacji korozji, jako złożonego zjawiska o charakterze reakcji chemicznych, procesów elektrochemicznych, mikrobiologicznych lub fizycznych. Pełna identyfikacja zjawiska korozji stanowi podstawę nie tylko kontroli poziomu zmian jakości wody podczas jej transportu do konsumenta, ale również podejmowania uzasadnionych działań przeciwdziałających temu zjawisku, jak i ograniczających intensywność korozji.

Wraz z rozwojem technik analitycznych oraz myśli technicznej, istotnego znaczenia zarówno z naukowego i praktycznego punktu widzenia, nabrały zagadnienia i rozważania naukowe, mające na celu pełne rozpoznanie mechanizmu zjawiska korozji. Opracowanie uniwersalnego modelu badawczego symulującego wpływ korozji na jakość wody, wraz z algorytmami analitycznymi, stanowi podstawę zdefiniowania kluczowych zasad eksploatacyjnych SZW, których istotą jest dobór właściwej strategii antykorozyjnej zwiększającej skuteczności podejmowanych działania prewencyjnych ograniczających negatywne skutki korozji, a co za tym idzie zapewnienie pełnej kontroli nad przebiegiem procesu w zmieniających się warunkach eksploatacji sieci wodociągowej. Wykonywanie tego typu badań na rzeczywistym podsystemie dystrybucji, pomijając fakt dużych ich kosztów, jest społecznie nieakceptowane z uwagi na wzrost ryzyka pogorszenia jakości dostarczanej im wody, stanowiącego realnie zagrożenie ich zdrowia. Powyższe okoliczności podkreślają istotę socjospołeczną wykorzystania modeli symulacyjnych w naukowych eksperymentach zjawiska korozji materiałów wykorzystywanych do budowy sieci i instalacji wodociągowych. Badania te z jednej strony dają możliwość rozszerzenia wiedzy na temat mechanizmu korozji, z drugiej zaś strony umożliwiają analizę zdeponowanych produktów korozji oraz badanie zjawiska wtórnego zanieczyszczenia wody wywołanego procesem korozji.

Śledząc aktualne krajowe jak i zagraniczne opracowania naukowe, można zauważyć konsekwentny rozwój procedur badawczych przeznaczonych do rozpoznania czynników wewnętrznych i zewnętrznych oraz negatywnych skutków korozji w danym środowisku, odwzorowujących rzeczywiste warunki eksploatacyjne podsystemu dystrybucji wody. Pomimo istnienia wielu technik i modeli badawczych proces korozji metali nie jest w pełni rozpoznany zarówno w odniesieniu do jego mechanizmu, negatywnych skutków, jak również wpływu procesu na jakość transportowanej wody. Do oceny negatywnych skutków korozji na jakość transportowanej wody oraz wpływu parametrów wody na intensywność tego zjawiska najczęściej wykorzystuje się badania w skali laboratoryjnej oraz pilotowej, których koszty ściśle zależą od celu i zakresu zaplanowanego eksperymentu badawczego. Ponadto wybór typu modelu badawczego kierowany jest odwzorowaniem rzeczywistych stanów hydraulicznych pracy sieci wodociągowej (warunki przepływowe i stagnacji), określanych stosunkiem powierzchni metalu do objętości transportowanej wody. Pomimo tak dużego zainteresowania świata nauki korozją, ciągle poszukuje się zoptymalizowanych metod

analitycznych, które umożliwiają na prowadzenie badań w szerokim zakresie poznawczym oraz stanowią uniwersalne modele badawcze, pozwalające na rozpoznanie nie tylko wielkości, ale i zmienności czasowej i przestrzennej wpływu korozji na jakość wody w sieci wodociągowej. Wyniki tych prac stanowią istotne narzędzie w opracowywaniu planów remontowych, modernizacyjnych, czy też w opracowywaniu założeń strategii antykorozyjnej.

Rozprawa doktorska Pana mgr Tomasza Laskowskiego, której głównym celem było stworzenie modelu badawczego opartego o opilki metali, do szerokiej analizy wpływu korozji materiałów sieci dystrybucji i instalacji wodociągowych na jakość wody, trafnie wpisuje się we współczesny nurt złożonych badań procesu korozji. Ponadto odpowiada aktualnej tematyce naukowo-badawczej zarówno z zakresu rozwijania nowoczesnych technik i modeli badawczych mechanizmu zjawiska oraz symulowania negatywnych skutków korozji na stan sieci wodociągowej i proces wtórnego zanieczyszczenia wody.

Na szczególną uwagę zasługuje podjęcie przez Doktoranta próby poszerzenia wiedzy w zakresie procesu korozji oraz rozwiązywanie kontrowersyjnych stanowisk naukowych związanych z oddziaływaniem korozji na jakość wody, w odniesieniu do:

- żeliwa w zakresie wpływu odczynu pH, zasadowości, dezynfektanta, inhibitorów korozji na parametry wody w stanach stagnacji i przepływu wody,
- żeliwa w przedmiocie przemian azotanów w sieci dystrybucji i ich roli w przebiegu korozji,
- miedzi w zakresie wpływu zasadowości, NMO oraz stopnia skorodowania powierzchni na skuteczność działania inhibitorów fosforanowych i stopnia skorodowania powierzchni,
- miedzi w obszarze badań wpływu chlorków, wapnia i sodu oraz warunków eksploatacji (stagnacja, przepływ) na profil krzywych przedstawiających zmienność uwalniania metalu w czasie.

Istotną kwestią poruszoną przez Doktoranta była również ocena zgodności wyników otrzymanych w laboratoryjnym modelu badawczym opartym o opilki żeliwa i miedzi z rezultatami uzyskanymi w stacjach pilotowych, odtwarzających rzeczywiste warunki pracy sieci wodociągowej.

### **3. Ogólna charakterystyka rozprawy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr Tomasza Laskowskiego liczy 193 strony. Część przeglądowa pracy stanowi około 21%, a część eksperymentalna wraz z dyskusją otrzymanych wyników 66%, pozostałą część rozprawy stanowią wnioski oraz bibliografia. Praca zawiera opracowania w postaci elementów graficznych stanowiących łącznie 98 rysunków oraz 31 tabel, które w logiczny sposób powiązane są z prezentowanymi treściami. W obszernej bibliografii obejmującej 245 pozycji literatury, 205 pozycji (85%) stanowią opracowania obcojęzyczne, w tym 205 pozycji w języku angielskim. 229 pozycji przedmiotowej bibliografii to oryginalne i przeglądowe publikacje, a pozostałe 6 pozycji to akty prawne, normy i wytyczne. Blisko 45% przytoczonej literatury to opracowania z ostatnich 10 lat. Elementem prezentowanej bibliografii jest 10 pozycji odwołań do ogólnie dostępnych stron internetowych.

Praca posiada tradycyjny układ, obejmujący 6 podstawowych rozdziałów, który można podzielić na trzy zasadnicze części. Część pierwsza mająca charakter rozważań teoretycznych obejmuje strony od 1 do 44 i zawiera 3 rozdziały: rozdział 1 – *Wstęp*, rozdział 2 stanowiący *Przeгляд literatury*, rozdział 3 mieszczący *Cel pracy*. Część drugą - analityczną, zawierającą strony od 45 do 173, stanowi treści rozdziału 4 pt. *Część eksperymentalna* oraz rozdziału 5 pt. *Wyniki i dyskusja*. Część ta poświęcona jest między innymi prezentacji wykorzystanych modeli badawczych, przyjętej metodyce analitycznej i charakterystyce przedmiotu badań wraz z dogłębną interpretacją uzyskanych wyników przeprowadzonych eksperymentów.

Część trzecia rozprawy to *Wnioski* – rozdział 6. Integralnymi elementami rozprawy są: rozdział 7 – *Literatura*, zawierający obszerną bibliografię w zakresie tematyki dysertacji, rozdział 8 pt. *Spis publikacji i wystąpień konferencyjnych* stanowiący wykaz osiągnięć naukowych Doktoranta oraz rozdział 9 *PhD thesis summary*, będący krótkim streszczeniem pracy w języku angielskim.

#### **4. Zakres i ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej**

##### **4.1 Treść rozprawy**

Uważam, że problemy prezentowane w ocenianej pracy są ważne i aktualne. Praca napisana jest bardzo starannie, jasno i poprawnym językiem. Została podzielona na logicznie ułożone rozdziały wzajemnie ze sobą korespondujące.

Na wstępie (rozdział 1), na tle faktów blisko ponad 100-letnich badań poświęconych zagadnieniom procesu korozji metali lub ich stopów, Autor przedstawił w sposób zwięzły istotę negatywnych skutków korozji różnorodnych materiałów sieci wodociągowej i jej oddziaływanie, na jakość transportowanej wody w ujęciu zagrożeń zdrowotnych konsumenta. Wykazał, iż zjawisko korozji, pomimo że jest przedmiotem zainteresowań naukowych wielu ośrodków badawczych ciągle pozostaje procesem w pełni nierozpoznanym. Ponadto, Doktorant podkreślił fakt istnienia wielu rozbieżności co do wpływu parametrów wody na przebieg korozji i jej skutki.

W kolejnym rozdziale 2, na podstawie bogatej bibliografii krajowej i zagranicznej, Autor zaprezentował zagadnienia budowy systemu zaopatrzenia w wodę z odniesieniem do typu przewodów wodociągowych (sieć tranzytowa, magistralna, rozdzielcza, przyłącza wodociągowe i instalacje wewnętrzne), struktury i funkcji poszczególnych układów podsystemu dystrybucji wody, obejmujących układ pierścieniowy, promienisty i mieszany (podrozdział 2.1 *Dystrybucja wody*). Uzupełnieniem tych rozważań jest podrozdział 2.2 *Materiały stosowane do dystrybucji wody*, który stanowi opis materiałów wykorzystywanych do budowy sieci wodociągowej, przyłączy i instalacji wewnętrznych. Doktorant podkreślił niejednorodność materiałową i wiekową przewodów wodociągowych budujących podsystem dystrybucji wody, wynikającą z uwarunkowań topograficznych, topologicznych i wielkości SZW oraz dynamiki rozwoju myśli technicznych i wdrażania nowych technologii w systemach wodociągowych. Kolejny wiodący aspekt dokonanego przeglądu literatury (podrozdział 2.3 *Korozja i jej wpływ na jakość wody*), podzielony został na trzy integralne części obejmujące charakterystykę procesu korozji w odniesieniu do materiału (rozdział 2.3.1 *Żeliwo i stal*, 2.3.2 *Miedź*, 2.3.3 *Mosiądz*). Autor słusznie podkreślił odmienność przebiegu zjawiska w zależności od materiału i zmienności czynników zewnętrznych, jak również mechanizmu powstawania osadów. Ponadto, przedstawił wpływ między innymi odczynu wody pH, zasadowości, zawartości chlorków i siarczanów, azotanów, NOM, środka dezynfekcyjnego, inhibitorów korozji, oraz czasu eksploatacji (warunki hydrauliczne eksploatacji sieci wodociągowej) na intensywność negatywnych skutków rozważanych metali i ich stopów. Uzupełnieniem powyższego przeglądu literatury w ujęciu tematyki przedmiotowej dysertacji jest podrozdział 2.4 *Sposoby badania korozji i jej wpływu na jakość wody*, w którym Doktorant przedstawił stosowane metody i modele badawcze w zależności od zdefiniowanych celów prowadzonych eksperymentów uwzględniających:

- szybkość i rodzaj korozji,
- analizę zdeponowanych produktów korozji,
- uwalniania metali i wpływ korozji na zmianę parametrów wody.

Ten obszar przeglądu literaturowego pozwolił Doktorantowi na jednoznaczny klasyfikację istniejących modeli badawczych ze względu na ich wady i zalety oraz przydatność z uwagi na zdefiniowany cel badawczy. Dokonana przez Doktoranta ocena stanu badań światowych i krajowych w istocie rozważanych zagadnień korozji, wskazała potencjalne możliwości

wykorzystania modelu badawczego opartego o opiłki rozdrobnionego metalu do badania zmian jakości wody wywołanych korozją. Takie szerokie spojrzenie na zagadnienie korozji i jej skutków oraz stosowanych metod badawczych pozwoliło Doktorantowi podkreślić istotę podjętego problemu badawczego, którego cel w sposób zwięzły sformułował w rozdziale trzecim.

Treść rozdziałów części teoretycznej konsekwentnie i wyczerpująco wprowadza czytelnika w problematykę, która stanowi zasadniczy przedmiot badań Doktoranta, prezentowany w części analitycznej dysertacji doktorskiej. Rozdział 4 obejmujący 6 części (podrozdziały: 4.1 *Spis odczynników*, 4.2 *Aparatura i metodyki wykorzystywane w pracy*, 4.3 *Otrzymywanie opiłków*, 4.4 *Budowa modelu*, 4.5 *Rzeczywiste fragmenty rur*, 4.6 *Eksperymenty*) stanowi opis przedmiotu prac eksperymentalnych z pełną charakterystyką przyjętych modeli badawczych i stosowanych technik analitycznych. Doktorant, w pierwszym etapie prac eksperymentalnych analizował przydatność różnych laboratoryjnych modeli badawczych do oceny wpływu korozji na jakość wody i produktów korozji. W pracach tych wykorzystano 4 laboratoryjne modele obejmujące: układ modelowy 6-sektorowy, model D – cylindryczny, model z zawieszonymi opiłkami żeliwa oraz dodatkowe modele dla opiłków miedzianych: naczynie A o stosunkowo dużej powierzchni dna i małej wysokości i naczynie B o niewielkiej powierzchni dna i dużej wysokości. Takie konstrukcje modeli wypełnione rozdrobnionymi opiłkami metali lub stopów, pozwoliły Doktorantowi odzwierciedlić równoważną powierzchnię długich rur przy przez niewielką ilość opiłków o dużej powierzchni właściwej, co oczywiście przełożyło się na istotne zmniejszenie przestrzeni eksperymentu. Ponadto konstrukcja modeli pozwoliła na regulację ilości opiłków oraz sposobu ich rozmieszczenia w modelu. Dodatkową cechą wydzielenia 6 sektorów w układzie modelowym jest jego elastyczność, pozwalająca na równoległą ocenę przebiegu zjawiska dla wód o różnym składzie chemicznym. Ważnym elementem prowadzonych eksperymentów była ocena zgodności zmian parametrów wody w modelach laboratoryjnych i stacjach pilotowych, stanowiących rzeczywiste fragmenty rur, co pozwoliło Doktorantowi, z punktu widzenia postawionego celu badawczego, na wielopłaszczyznową ocenę zaprojektowanych modeli laboratoryjnych. Drugi etap eksperymentu stanowił serię badań, która pozwoliła na dogłębną ocenę wybranych zagadnień procesu korozji, które w przedstawionym przez Autora przeglądzie literatury budzą kontrowersje lub są nie w pełni rozpoznane. Integralnym uzupełnieniem przeprowadzonych eksperymentów opisanych w rozdziale 4 jest rozdział 5, stanowiący zasadniczy element części analitycznej, który Doktorant poświęcił prezentacji uzyskanych wyników stanowiących treść podrozdziałów 5.1 pt. *Parametry modelu na przykładzie opiłków żeliwnych*, 5.2 pt. *Porównanie wyników uzyskanych w modelu z rzeczywistymi fragmentami rur* oraz 5.3 *Eksperymenty modelowe – ocena wpływu poszczególnych parametrów wody na pogorszenie jej jakości w wyniku procesu korozji*. W tej części dysertacji, Autor przedstawił wnikliwą dyskusję uzyskanych wyników badań zarówno co do zmian jakości wody jak i produktów korozji. Z uwagi na złożoność procesu korozji eksperymenty zostały przeprowadzone dla trzech wydzielonych materiałów: żeliwa, miedzi i mosiądzu, w dwóch wiodących płaszczyznach badawczych. Pierwsza część badań pozwoliła na dokładną analizę zmienności czasowej uwalniania jonów poszczególnych metali i stopów w warunkach stagnacji wody oraz przepływu. Wykorzystując dostępne procedury analityczne Pan mgr Tomasz Laskowski przeprowadził szczegółową interpretację wpływu korozji żeliwa na mętność i pH wody, zmiany stężenia tlenu, azotanów, wapnia i magnezu oraz przewodności, zasadowości i uwalnianie manganu. Dla miedzi obszar dyskusji wyników stanowił ocenę wpływu korozji na zmianę stężenia tlenu oraz odczynu wody. Zastosowanie spektroskopii w plazmie indukcyjnie sprzężonej, dyfraktometrii proszkowej oraz skaningowej mikroskopii elektronowej pozwoliło Autorowi dokonać oceny składu pierwiastkowego jak i zawartości krystalicznych produktów korozji w zmiennych warunkach przebiegu procesu,

odwzorowujących różne stany eksploatacyjne funkcjonowania sieci wodociągowej. W oparciu o wyniki ostatniego etapu eksperymentu, mającego na celu badanie wpływu wybranych parametrów wody na intensywność procesu korozji, Doktorant dokonał własnej interpretacji zmian jakości wody wywołanej korozją. Przeprowadzona interpretacja uzyskanych wyników dowodzi, iż duże zróżnicowanie przebiegu procesu korozji w systemach dystrybucji zależy od składu wody i istniejącego stanu technicznego sieci wodociągowej.

W końcowej, trzeciej części rozprawy, rozdział 6 zatytułowany *Wnioski*, Pan mgr Tomasz Laskowski zawarł krótkie zestawienie uzyskanych rezultatów przeprowadzonych prac badawczych.

Podsumowując merytoryczną ocenę rozprawy pragnę podkreślić, iż w mojej opinii do głównych osiągnięć naukowych i aplikacyjnych Pana mgr Tomasza Laskowskiego należą:

- opracowanie modelu badawczego opartego o opiłki metali, pozwalającego na wieloaspektową analizę procesu korozji w stanach statycznych oraz dynamicznych, w odniesieniu do badań mechanizmu zjawiska w zmiennych warunkach środowiskowych, a także do symulowania zmian jakości wody w szerokim spektrum oddziaływania czynników determinujących intensywność procesu i jakość powstających produktów korozji,
- wykazanie uniwersalności zastosowania modelu w szerokim zakresie badań w zależności od postawionego celu, poprzez dobór parametrów procesu tj. czas i sposób kontaktu, prędkość przepływu oraz stosunek objętości wody do ilości opiłków,
- opracowany model, z uwagi na swoją budowę (duża powierzchnia właściwa opiłków) pozwala na odwzorowanie warunków przebiegu korozji w długich przewodach sieci wodociągowej, a niewielka ilość wody w stosunku do powierzchni metalu wpływa na skrócenie czasu obserwacji zmian zachodzących w wodzie na skutek procesu korozji, fakt ten podkreśla istotne cechy aplikacyjne modelu w warunkach opracowywania strategii antykorozyjnej przez przedsiębiorstwa wodociągowe,
- wykazanie, iż pH i zasadowość wody, w efekcie zmiany rozpuszczalności i szybkości utleniania jonów  $\text{Fe}^{2+}$  wpływają na różną specjację żelaza w wodzie, zarówno w stanach stagnacji i przepływu wody oraz na czas powstawania produktów korozji na powierzchni żeliwa, a także ich morfologię – wzrost stosunku  $\text{GR-CO}_3^{2-}$  do getytu wraz ze wzrostem pH wody,
- wykazanie, iż stosowane w rzeczywistych systemach wodociągowych dezynfekanty (chlor i  $\text{ClO}_2$ ) nie wpływają na szybkość uwalnianego żelaza, natomiast proces korozji istotnie determinuje szybki zanik środka dezynfekcyjnego, co zwiększa ryzyko skażenia mikrobiologicznego wody,
- wykazanie, że inhibitory fosforanowe zmniejszają ilość uwalnianego żelaza i miedzi do wody, natomiast w skorodowanych przewodach żeliwnych przyczyniają się do wzrostu stężenia żelaza w wodzie,
- wykazanie, że redukcja azotanów zachodzi jedynie w stanach stagnacji wody, a ich redukcja w początkowym etapie korozji dla stosunkowo świeżego żeliwa prowadzi do powstania  $\text{NH}_4^+$  w wyniku reakcji abiotycznych, podczas gdy w układach silnie skorodowanych jest efektem głównie denitryfikacji, ponadto w skorodowanym systemie dystrybucji azotany nie biorą czynnego udziału w procesie korozji,
- wykazanie, iż im mniejsza zasadowość i niższe stężenie NMO tym niższe jest stężenie równowagowe miedzi, a co za tym idzie mniejsze uwalnianie miedzi do wody.

### 4.3. Ważniejsze uwagi dyskusyjne

Zakres merytoryczny wynikający z prezentowanych w rozprawie prac badawczych i dyskusji uzyskanych wyników, został podzielony na logicznie ułożone rozdziały wzajemnie ze sobą korespondujące. Uzyskane wyniki badań i przeprowadzona ich dogłębna dyskusja, pozwoliła Doktorantowi na uzyskanie założonego celu badawczego. W pracy pojawiły się drobne „potknięcia” niemające wpływu na końcową ocenę rozprawy doktorskiej. Ważniejsze z nich, o charakterze dyskusyjnym, przedstawiam poniżej.

1. Doktorant słusznie wskazał w dokonanym przeglądzie literatury (str. 15), iż „... mikroorganizmy mają duży wpływ na strukturę produktów korozji”. Zatem z uwagi na fakt, że zasadniczą istotą przeprowadzonych prac badawczych jest analiza procesu korozji w modelu z opiłkami odtwarzającego warunki panujące w rzeczywistej sieci wodociągowej, w mojej opinii Doktorant winien rozwinąć myśl: w jaki sposób mikroorganizmy wpływają na strukturę osadów korozyjnych i jaki to może mieć wpływ na zaplanowany eksperyment? Tym bardziej, że w trakcie eksperymentu z miedzią, z uwagi na rozwój mikroorganizmów, eksperyment został przerwany po 4 tygodniach.
2. Doktorant dla eksperymentów z miedzią stosował oprócz układu modelowego i stacji pilotowej (układ metrowych rur miedzianych o średnicy 1/2") badania w naczyniach A i B, których błędnie przypisaną charakterystykę podał na stronie 52, a szczegółowe parametry modeli przedstawił w tabeli 11 str. 57. Co przez zastosowanie tych modeli naczyniowych uzyskał Doktorant w ocenie wpływu sposobu kontaktu na zmiany parametrów wody? Jaki był powód ostatecznego wyeliminowania tych modeli z dalszych badań?
3. W ramach przeprowadzonych eksperymentów w ocenie zmian jakości wody uwzględniane były stany stagnacji i przepływu wody. W przeprowadzonej przez Doktoranta analizie zmienności wpływu długości czasu stagnacji na efekty zmian jakości wody, brak jest wyjaśnienia jaka zmienna zależna jest prezentowana przykładowo na rysunkach nr 33, 37, 38, 43 i 66. Czy są to wartości średnie, wartość modalna z całego okresu prowadzonego eksperymentu?
4. Doktorant słusznie analizuje zmienność zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami jakości wody w efekcie procesu korozji. Ten etap interpretacji uzyskanych wyników wymaga statystycznej analizy korelacji, czego brak przykładowo przy prezentacji zależności mętności wody od zawartości żelaza (III) przedstawionej na rysunku 32 str. 73. W mojej opinii Doktorant powinien przynajmniej przedstawić podstawową analizę statystyczną, wartość współczynnika korelacji, determinacji dla badanych zależności dla modeli badawczych zawierających zmienne ilości opiłków żelaza. Taka analiza pozwoliłaby w pełni uzasadnić wybór modelu badawczego zawierającego 110 g opiłków do dalszych prowadzonych badań.
5. Jednym z elementów przeprowadzonego eksperymentu było badanie zaniku chloru w wodzie w warunkach przepływowych (podrozdział 5.3.1.2.2.1), wyniki tej części prac badawczych Doktorant prezentuje na rys 62 str. 113. W mojej opinii Doktorant interpretując prezentowane wyniki, powinien odnieść się do przedstawionych rezultatów w 15 dobie eksperymentu, dla wody poddanej dezynfekcji chlorem dawką 0,8 mg/dm<sup>3</sup>.
6. Dlaczego w eksperymencie w wodzie z opiłkami miedzi, w badaniach wpływu NMO na skuteczność działania inhibitorów korozji, utrzymywano tak duże stężenie chloru w wodzie (tabela 17 str. 65)?

#### 4.4. Uwagi szczegółowe i redakcyjne

Na podstawie lektury i analizy recenzowanej rozprawy można sformułować kilka zastrzeżeń natury redakcyjnej, które przedstawiam poniżej.

1. W mojej opinii, przy tak wieloaspektowym zaplanowaniu i zrealizowaniu eksperymentu badawczego odniesionego do różnych materiałów, modeli a także analizy wybranych parametrów wody determinujących przebieg procesu korozji, zmiany jakości transportowanej wody oraz jakości powstających produktów korozji, uzasadnioną z punktu widzenia przejrzystości prezentowanego zakresu eksperymentu byłaby graficzna jego prezentacja, uwzględniającą różnorodność przedmiotu przyjętych badań dla żeliwa, miedzi i mosiądzu.
2. Niezrozumiałym jest pominięcie przez Autora w spisie treści podziału podrozdziału 5.2.1, 5.2.2 oraz 5.2.3 skoro w rozprawie wydzielono podrozdziały do 6 poziomów np. str. 112 - 5.3.1.2.2.1 *Zanik środka dezynfekcyjnego podczas warunków przepływowych*.
3. Błąd w tytule podrozdziału 5.3.2.5. *Podsumowanie przydatności modelu do badania wpływu korozji żeliwa na jakość wody* – powinno być miedzi skoro Autor prezentuje wyniki badań dla tego materiału.
4. Autor w swojej dysertacji nie ustrzegł się pewnych błędów logicznych, literowych, interpunkcyjnych czy stylistycznych np.:

str. 30 ... *Redukcja tlenu zachodzi na zewnątrz warstwy  $CuO_2$  (rysunek 11)*.

str. 30... *Jony  $Cu^+$  mogą występować w postaci trudno rozpuszczalnego  $CuO_2$  (kuprytu) tworzącego...*

str 11 - 3 i 4 wiersz od góry brak jednostki przy OWO ...z odsalania (OWO 0,1) i woda powierzchniową (OWO 1,4)...

str. 85 ... *Do 3 tygodnia eksperymentu stężenie miedzi przyrastało najwolniej...*

str. 67 ... *Jesteśmy świadomi, że wraz z powstawaniem produktów korozji...*

str. 100 ... *Ilość uwalnianego żelaza zmniejszała z czasem trwania eksperymentu...*

str. 110 – rozdział 5.3.1.2. *Wpływ środka dezynfekcyjnego na zmiany jakości wody spowodowane korozją żeliwa. Wpływ korozji na zanik środków dezynfekcyjnych – w drugim akapicie od góry jest ... W przypadku chloru stosowano dawkę 0,4 i 0,8 mg/L, w przypadku dwutlenku chloru: 0,3 i 0,6 mg/L. Dla porównania - stężenie tlenu w wodzie wynosiło ok. 7,5 mg/L. Ocenę wpływu pH i zasadowości na zmiany jakości wody dokonano przez pomiar stężenia żelaza i tlenu oraz mętność... - niewątpliwie z treści podrozdziału i prezentowanych wyników jasno wynika że chodziło o ocenę wpływu dezynfektanta, a nie jak jest pH i zasadowości.*

str. 111 Opis rysunku 60 jest ... *Zmiana stężenia żelaza po stagnacji 72-godzinnej w wodzie niedezynfekowanej oraz zawierającej środki dezynfekcyjne. Zmiana stężenia podczas przepływu....* – zatem, powyższy zapis budzi wątpliwość co przedstawia rysunek.



#### **4.5. Szczegółowe uzasadnienie spełnienia warunków § 6.4 Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 14.10.2014 (Dz. U. 2014, poz. 1383) r. uwzględnionych w art. 13 ust. 1 Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami)**

##### **4.5.1. Oryginalność rozwiązania problemu naukowego**

Kandydat w swojej dysertacji doktorskiej w rozdziale 4 przedstawił szerokie możliwości zastosowania opracowanego modelu badawczego w procesie badania nie tylko mechanizmu korozji, ale również jej wpływu na jakość wody w różnych stanach stagnacji i przepływu wody, odwzorowujących z rzeczywiste warunki eksploatacyjne sieci wodociągowej. Ponadto, na podstawie uzyskanych wyników badań, dokonał autorskiej interpretacji w odniesieniu do wielu budzących kontrowersje zagadnień dotyczących wpływu parametrów wody na korozję i jej skutki.

Stwierdzam, że omówione rozwiązanie jest oryginalne i spełnia wymogi badań naukowych, stosowanych zdefiniowanych w art. 2. pkt 3 lit.b. Ustawy z dnia 30 kwietnia 2010 r. o zasadach finansowania nauki (Dz. U. nr, 95 poz. 615; zm. z 2015 r. poz. 249).

##### **4.5.2. Wykazanie ogólnej wiedzy Kandydata**

Rozdział 4 zawiera omówienie zastosowanych metod badawczych, a w dalszej analitycznej części pracy (rozdział 5) Doktorant przedstawił wyczerpującą dyskusję uzyskanych wyników, co pozwoliło mu na ocenę wad i zalet opracowanego modelu badawczego i jego potencjalnej aplikacji do opracowywania strategii antykorozyjnej w rzeczywistych systemach zaopatrzenia w wodę. Z przywołanych 245 pozycji, 110 pochodzi z ostatnich 10 lat, co świadczy, że kandydat na bieżąco śledzi najnowsze osiągnięcia tej dziedziny.

Stwierdzam, że Kandydat wykazał się ogólną wiedzą na temat metod analizy mechanizmu i czynników determinujących korozję oraz zmienności jakości wody wywołanej tym procesem, które stanowią istotne zagadnienia badawcze nie tylko w dziedzinie nauk chemicznych, ale również nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska (Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 8 sierpnia w sprawie obszarów wiedzy, dziedzin nauki i sztuki oraz dyscyplin naukowych i artystycznych, Dz. U. 2011.179.1065).

##### **4.5.3. Wykazanie umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata**

Pomimo licznych sprzecznych doniesień w naukowej literaturze przedmiotu Doktorant dokonał dogłębniej analizy uzyskanych wyników dotyczących szybkości i rodzaju korozji, jakości zdeponowanych produktów korozji oraz procesu uwalniania metali jak i wpływu korozji na zmianę parametrów wody (rozdział 4 i 5). Wskazuje to i uwydatnia ważną umiejętność: naukową dociekliwość i skuteczność Kandydata. Powołując się w rozprawie na 245 pozycji piśmiennictwa krajowego i zagranicznego, Pan mgr Tomasz Laskowski wykazał, że posiada umiejętność wyszukiwania właściwej literatury naukowej, co potwierdza opracowany przez niego obszerny i szczegółowy rozdział 2. Poprawność redakcyjna i klarowność opracowanej rozprawy świadczy, że Kandydat potrafi w sposób zwięzły i przejrzysty przekazywać swoją wiedzę.

Uważam, że Kandydat swoją rozprawą dowiódł umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

## 5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując recenzję rozprawy doktorskiej Pana mgr Krzysztofa Laskowskiego, oceniam pozytywnie zarówno przeprowadzony przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie poruszanej w doktoracie tematyki, jak i część analityczną odniesioną do szerokich badań korozji i jej wpływu na jakość transportowanej wody w zmiennych warunkach środowiska, odwzorowujących rzeczywiste stany eksploatacji podsystemu dystrybucji wody. Przytaczając w tym miejscu słowa Johna Ruskina, które trafnie charakteryzują dążenia poznawcze:

*... Jakość nigdy nie jest dziełem przypadku.*

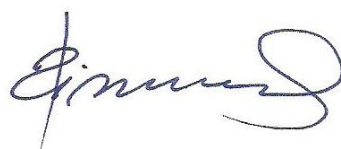
*Zawsze jest efektem świadomego działania.*

*Musi istnieć wola stworzenia rzeczy lepszej ....*

mogę z pełną odpowiedzialnością stwierdzić, że Autor przedmiotowej rozprawy doktorskiej poradził sobie z trudnymi badaniami naukowymi, osiagając satysfakcjonujące rezultaty.

Opinie zawarte w recenzji pozwalają mi pozytywnie ocenić rozprawę doktorską. W moim przekonaniu, przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr Tomasza Laskowskiego pt.: *Przydatność modeli opartych o rozdrobnione metale do symulowania wpływu korozji na jakość wody*, wykonana pod opieką naukową promotora – prof. dr hab. Jacka Nawrockiego, spełnia ustawowe wymagania dotyczące rozpraw doktorskich zawarte w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. *o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* (tj. Dz. U. z 2014 r. poz. 1852; zm. Dz. U. z 2015 r. poz. 249) w korespondencji z Ustawą z dnia 27 lipca 2005 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym* (Dz. U. nr 164, poz. 1365 z późniejszymi zmianami). Stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę Doktoranta, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W związku z powyższym wnioskuję o przyjęcie recenzowanej rozprawy przez Radę Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oraz dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Ponieważ recenzowaną rozprawę uważam za wyróżniającą, pod względem podjęcia ciekawego i aktualnego, lecz jednocześnie trudnego i żmudnego w realizacji wielopłaszczyznowego eksperymentu. Biorąc pod uwagę uniwersalność opracowanego modelu badawczego oraz walory poznawcze i aplikacyjne rozprawy, wnioskuję o jej wyróżnienie.



Gliwice, 15 wrzesień 2015 r.