

Prof. dr hab. inż. Jarosław Zuwała
Z-ca Dyrektora Instytutu ds. Badań i Rozwoju

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Anny MACIEJCZYK
pt. „*Badania kinetyki korozji podosadowej materiałów rur przegrzewaczy w kotłach fluidalnych*”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Bartłomiej Hernik, prof. uczelni (Politechnika Śląska)
Opiekun naukowy: dr inż. Szymon Ciukaj (Politechnika Śląska)

1. Wprowadzenie

Podstawą formalną opracowania recenzji jest umowa o dzieło zawarta pomiędzy Politechniką Śląską a autorem niniejszej recenzji. Recenzja przygotowana jest w oparciu o uchwałę Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka nr 236/2025 z dnia 23.10.2025 r. oraz Ustawę z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2024 r., poz. 1571 z późn. zm.). Recenzja opracowana została na podstawie rozprawy doktorskiej, stanowiącej opracowanie zwarte.

2. Sylwetka Doktorantki

Autorka recenzowanej rozprawy doktorskiej, Pani Anna Maciejczyk uzyskała w 2005 roku tytuł magistra inżyniera na kierunku Inżynieria Środowiska prowadzonym na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej w Opolu. W latach 2004 – 2005 w ramach programu studenckiej wymiany międzynarodowej Sokrates-Erasmus odbyła V rok studiów magisterskich za granicą (Niemcy, Uniwersytet w Hannover, Instytut Inżynierii Procesowej), gdzie zrealizowała badania stanowiące podstawę pracy magisterskiej.

Zgodnie z uzyskaną informacją, Doktorantka wcześniej ubiegała się o nadanie stopnia doktora na Politechnice Opolskiej. Przewód został wszczęty w roku 2006 i wg Doktorantki zamknięty w roku 2014. Obecnie przedłożona rozprawa doktorska nie była przedmiotem innego postępowania.

W latach 2008 – 2010 Doktorantka odbyła Studia Podyplomowe z zakresu Kształcenia Translatorycznego z języka niemieckiego na Wydziale Filologicznym Uniwersytetu Opolskiego. W latach 2015 – 2016 pani Anna Maciejczyk odbyła Studia Podyplomowe z zakresu Prawa Gospodarczego i Handlowego z elementami Prawa Podatkowego na Wydziale Prawa i Administracji Uniwersytetu Opolskiego.

W 2020 roku rozpoczęła naukę w Szkole Doktorskiej Politechniki Śląskiej w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Jest autorką trzech publikacji w czasopismach naukowych z listy MNiSW. W ramach studiów doktoranckich samodzielnie prowadziła prace badawcze finansowane ze środków uczelni. Doktorantka obecnie studiuje psychologię na Uniwersytecie Humanistycznospołecznym SWPS w Katowicach.

Pani Anna Maciejczyk od roku 2019 pracuje w firmie SHI FW Energia Fakop Sp. z o.o., która zajmuje się wytwarzaniem i rekonstrukcją urządzeń energetycznych wraz z projektowaniem i montażem. Kluczowym obszarem działalności jest produkcja przegrzewaczy i ich naprawa konieczna z uwagi na procesy degradacyjne wskutek korozji wysokotemperaturowej związanej ze spalaniem paliw alternatywnych w kotłach fluidalnych. Doktorantka pracuje obecnie na stanowisku Starszego Specjalisty ds. kontroli projektów i handlowych. Jest odpowiedzialna za monitorowanie realizacji projektów, analizę kosztów i ryzyka, a także przygotowywanie dokumentacji i zestawień finansowych.

3. Ogólna ocena rozprawy wraz z uwagami krytycznymi

W bieżącym punkcie dokonam zwięzłego podsumowania treści rozprawy oraz ocenę prawidłowości wyboru jej tematyki.

3.1 Zakres i struktura rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została zrealizowana w Szkole Doktorskiej prowadzonej w Politechnice Śląskiej pod opieką promotora i opiekuna naukowego, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Praca poświęcona jest eksperymentalnej weryfikacji wpływu składu chemicznego popiołu ze spalania paliw alternatywnych i biomasy na procesy korozyjne zachodzące na powierzchni rur przegrzewaczy pary zabudowanych w kotłach energetycznych spalających te paliwa, przy czym nacisk położony został na tzw. korozję podosadową. Rozważania zawarte w rozprawie zostały podzielone na dwie części. Część pierwsza (wprowadzająca), na którą składają się rozdziały 1-4 poświęcona jest omówieniu kolejno rodzajów oraz właściwości biomasy i paliw alternatywnych stosowanych w jednostkach energetycznych, problemów eksploatacyjnych związanych z ich spalaniem (z naciskiem na korozję i jej rodzaje), rodzajów stali stosowanej w energetyce a także sposobów jej zabezpieczania przed opisaną korozją. Drugą część pracy stanowi opis badań zrealizowanych przez Doktorantkę, na które złożyły się analizy fizykochemiczne przyjętych do rozważań paliw i popiołów, wyznaczenie na ich bazie wskaźników określających zagrożenie ryzykiem wystąpienia korozji, jej skalę a także wyniki badań korozyjnych stali w symulowanym, laboratoryjnym środowisku agresywnym oraz badania z wykorzystaniem analiz SEM (skaningowa mikroskopia elektronowa).

W przeprowadzonej dyskusji otrzymanych wyników nacisk położony został na wykazanie, iż oba rodzaje przyjętych do analizy powłok ochronnych stanowią porównywalne zabezpieczenie przed korozją podosadową a więc z punktu widzenia trwałości eksploatacyjnej obie powłoki mogą być traktowane jako równoważne i decyzja o wyborze i zastosowaniu jednej z nich powinna wynikać z analizy ekonomicznej.

Zaproponowany tytuł pracy jest jednoznaczny a tematyka rozprawy mieści się w obszarze przedmiotowej dyscypliny. Uzasadnienie wyboru tematu zawarto w rozdziale 1 pt. *Wprowadzenie*. Rozprawę Doktorantka zawarła na 157 stronach. Praca jest bogata w liczne formy graficzne (tabele, rysunki i schematy), zawiera ułatwiający lekturę spisy oznaczeń i skrótów a także spis rysunków i tabel. Manuskrypt podzielono na dwanaście głównych numerowanych rozdziałów, obejmujących zasadniczą część pracy. Po rozdziale 12 umieszczona została *Literatura*, która obejmuje 182 pozycje. Cytowane źródła są aktualne, powiązane merytorycznie z tematyką pracy, przeważający udział cytowanych prac pochodzi z ostatnich lat, publikowane były w zdecydowanej mierze w czasopiśmie z listy JCR. Pozycje bibliograficzne podano w kolejności ich cytowania a odwołania do nich mają pełne uzasadnienie w treści rozprawy. Sposób oznaczenia cytowań źródeł literatury jest zgodny ze stylistyką stosowaną w naukowej literaturze technicznej. Praca zawiera wymagane streszczenie w języku polskim, streszczenie w języku angielskim zostało przesłane razem z monografią.

Pracę rozpoczyna rozdział nr 1 *Wprowadzenie*, gdzie Autorka omawia wyzwania transformacji energetycznej, zastosowanie paliw alternatywnych i biomasy (jako elementu składowego procesu dekarbonizacji sektora wytwarzania energii i ciepła) a także zarysowuje problematykę zagrożeń korozyjnych wiążących się z ich wykorzystaniem i konsekwentnym niekorzystnym oddziaływaniem produktów spalania tych paliw (popiołów lotnych) na powierzchnie wymiany ciepła w kotle.

Rozdział 2 *Paliwa alternatywne w energetyce* opisuje paliwa alternatywne i biomasę w ujęciu definicyjnym jak również zawiera zestawienia porównawcze składu chemicznego biomasy (słoma, biomasa pochodzenia leśnego, biomasa z upraw energetycznych) oraz paliw wytwarzanych na bazie odpadów. W tym miejscu chciałbym zwrócić uwagę na przywołaną przez Autorkę (str. 14) definicję *paliw alternatywnych*, która została zaczerpnięta z *Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2023 poz. 1123, z późn. zm.)* i jako taka nie definiuje paliwa alternatywnego dla celów energetycznych. W tym miejscu można było przeprowadzić szerszą niż to uczyniono dyskusję nomenklaturową pojęć takich jak: „paliwo z odpadów”, „paliwo alternatywne”, RDF, pre-RDF, które są stosowane w literaturze przedmiotu i które w odmienny sposób klasyfikują materiał paliwowy dla zastosowań energetycznych. Ta sama uwaga dotyczy rodzajów instalacji spalania (punkt 2.3), gdzie interesującym byłoby zestawienie porównawcze pracujących w Polsce/Europie instalacji spalających biomasę i paliwa alternatywne z podziałem na technologie spalania (pyłowe, fluidalne, rusztowe), rodzaj paliwa i wydajność. W dalszej części rozdziału wskazano stosowane w późniejszych badaniach normy oraz zdefiniowano wskaźniki zużłowania i szlakowania powierzchni ogrzewalnych (na podstawie dokonanego przeglądu literaturowego).

Rozdział 3 *Problemy związane ze spalaniem paliw alternatywnych w warunkach energetycznych* opisuje problematykę korozji chemicznej i korozji wysokotemperaturowej, z naciskiem na procesy tworzenia się zgorzeliny na powierzchniach wymiany ciepła w kotle energetycznym. Wskazane są tutaj także wykorzystywane przez

Autorkę w badaniach własnych metody wykorzystujące kupony korozyjne a także badania grawimetryczne oraz analizę z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej.

W rozdziale 4 *Ochrona antykorozyjna stali* Doktorantka wskazuje na stosowane obecnie rozwiązania mające na celu redukcję tempa korozji. Szeroko omawia i wskazuje metody związane z kontrolą procesu spalania, stosowaniem dodatków do paliwa (modyfikacja składu chemicznego popiołu), napawanie warstwami ochronnymi, stosowanie stali specjalistycznych o modyfikowanym składzie.

Rozdział 5 to *Teza, cel i zakres pracy*. Autorka wskazuje tutaj cel naukowy rozprawy, którym jest „*analiza oraz rozwiązanie problemów związanych ze spalaniem różnych typów paliw alternatywnych w kotłach fluidalnych poprzez określenie zależności pomiędzy właściwościami paliwa a korozyjnością powstających w procesie spalania popiołów oraz określeniu tempa korozji podosadowej*”. Analizując samo sformułowanie celu, można stwierdzić, iż sama treść celu jest merytorycznie poprawna, aczkolwiek można zwrócić uwagę na niejednoznaczność jego sformułowania - zawiera powtórzenia („określenie... oraz określeniu...”), łączy *analizę* i *rozwiązanie problemów* w jednym zdaniu, co powoduje rozmycie pomiędzy faktycznym celem a zakresem pracy. Dalej Autorka formułuje następujące tezy pracy: 1) korozyjność zanieczyszczeń popiołowych powstających w warunkach spalania wielopaliwowego jest procesem złożonym, który w sposób niewystarczający dla techniki kotłowej jest wyznaczany na podstawie analizy poszczególnych paliw wchodzących w skład miksu wielopaliwowego, 2) badania korozyjności przeprowadzone z wykorzystaniem rzeczywistych popiołów pozwalają na weryfikację modeli stechiometrycznych tempa korozji, 3) powłoki ochronne zwiększają odporność na korozję i ich grubość można zweryfikować na podstawie tempa korozji. Analogicznie jak w przypadku sformułowania celu pracy, można odnieść się do kwestii poprawności sformułowania w/w tez. Kierunkowo są one poprawne, ale można tutaj wskazać na pewne ograniczenia wynikające z ich brzmienia: Ad. 1) jest to bardziej obserwacja, której weryfikacja może być utrudniona, Ad 2) – to w tym brzmieniu bardziej to zdanie opisujące metodę a nie wynik, dodatkowo każda metoda „*pozwała*” na coś, Ad 3) pierwsza część tezy jest oczywistością a druga ma bardziej charakter metodologiczny a nie poznawczy. Zaplanowany zakres pracy objął analizę techniczną i elementarną paliw, wyznaczenie wskaźników pozwalających na ocenę zagrożenia zanieczyszczeniem powierzchni ogrzewalnych i zużłowaniem, badania grawimetryczne oraz analizę struktury powstałych na kuponach zgorzelin. Jako cel użyteczny Doktorantka przyjmuje „*opracowanie narzędzi prognostycznych, przewidujących uszkodzenia przegrzewaczy oraz innych elementów kotłów*”. Uzyskane wyniki badań będą przydatne producentom i użytkownikom elementów ciśnieniowych na etapie przewidywania awarii i planowania remontów oraz optymalizacji wykorzystania posiadanych zasobów produkcyjnych. W krótkim rozdziale 6 przedstawiono *Koncepcję badań*. Zaplanowane do realizacji badania przeprowadzono z wykorzystaniem trzech rynkowo dostępnych gatunków stali kotłowej, które zabezpieczano dwoma różnymi powłokami ochronnymi. Wyboru stali i powłok dokonano kierując się ich rynkową popularnością.

W rozdziale 7 *Metodyka badań* Autorka omawia kolejno: wybrane do analiz paliwa stałe (dwa rodzaje biomasy drzewnej: oznaczone jako P1 i P3 oraz paliwo typu RDF – oznaczone jako P2). Paliwa te posłużyły celom przygotowania popiołów do dalszych badań, przygotowano je z wykorzystaniem ceramicznych tygli umieszczonych w piecu muflowym w strefie temperatury 550°C. Tak wytworzone popioły wykorzystano na dalszych etapach badań. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, iż w rzeczywistych warunkach spalania paliw w kotłach z cyrkulującym złożem fluidalnym, powstają dwa rodzaje popiołów: popiół denny i popiół lotny. W zależności od rodzaju paliwa – w tym zawartości wilgoci, związków alkalicznych, chloru, siarki oraz faz mineralnych – skład tych popiołów może wykazywać znaczną zmienność. Proces fluidalny, charakteryzujący się intensywnym mieszaniem, dużą powierzchnią kontaktu faz i zmienną temperaturą, znacząco wpływa na intensywność reakcji chemicznych prowadzących do powstawania soli, tlenków, siarczanów i chlorków odpowiedzialnych za korozję podosadową. Różnice pomiędzy popiołami wytworzonymi w skali laboratoryjnej a popiołami powstającymi w przemysłowym kotle wynikają z następujących uwarunkowań: odmienna kinetyka i dynamika spalania, inny rozkład temperatury, niedoszacowanie procesów kondensacji soli lotnych, inne interakcje międzyfazowe i stopień jednorodności popiołu. W konsekwencji, popioły powstające w skali laboratoryjnej mogą stanowić jedynie przybliżony model lub punkt odniesienia, należy być świadomym, że nie odwzorowują one w pełni rzeczywistego składu chemicznego, właściwości termicznych ani potencjału korozyjnego popiołów lotnych powstających w procesie spalania w kotłach fluidalnych. **Na potrzeby badań porównawczych prowadzonych przez Autorkę będzie to jednak wystarczające przybliżenie.** Następnie opisano proces przygotowania kuponów stalowych, sposób przeprowadzenia procesu ich napawania wytypowanymi powłokami ochronnymi a także sam proces przygotowania prób kuponów pokrytych warstwą popiołów do docelowych badań, badania właściwe oraz wyniki badań SEM już na kuponach wynikowych. Badania właściwe prowadzone były w atmosferze utleniającej (z dopływem powietrza) w zmiennych warunkach temperaturowych: 480/520/580°C. Jest to metodologicznie poprawne ponieważ badania mają charakter podstawowy a ich celem jest wyznaczenie kinetyki korozji. Trochę zabrakło mi na tym etapie dyskusji co do wyboru składu atmosfery utleniającej (jak rozumiem – powietrze z otoczenia), w odniesieniu do atmosfery wciąż utleniającej ale modyfikowanej (np. ok: 5–10% O₂ + 5–10% H₂O + wynikowo CO₂ + N₂).

Rozdział 8 zawiera *Wyniki analizy paliw i popiołów*, na podstawie uzyskanych wyników Autorka wyznacza wartości wytypowanych na wcześniejszym etapie wskaźników szlakowania i zużłowania oraz omawia uzyskane wyniki. Tytuł rozdziału 9: *Wyniki badań korozyjnych* anonsuje jego zawartość. Badaniom poddano kupony

referencyjne oraz kupony pokryte powłoką zabezpieczającą. Uzyskane wyniki posłużyły opracowaniu krzywych obrazujących kinetykę korozji dla przyjętych wariantowych konfiguracji paliwo/rodzaj kuponu/temperatura. Określono stale i powłoki zapewniające najlepsze właściwości antykorozyjne (Tab. 9-1 oraz Tab. 9-2). W dalszej kolejności opisano badania przeprowadzone z wykorzystaniem mikroskopu skaningowego (SEM) dla wybranej temperatury 580°C oraz po ekspozycji trwającej 504h (przy okazji można mieć pytanie co było decydujące przy wyborze takiego czasu jako granicznego – odpowiadającego 21 dniom?).

Kolejny rozdział (11) nosi tytuł *Analiza ekonomiczna*. Nie zawiera on jednak anonsowanej analizy ekonomicznej a jedynie informację o różnicach w kosztach zakupu drutów do tworzenia powłok napawanych oraz kosztach produkcji związanych z wykonaniem warstw ochronnych. Rozdział ten nie zawiera także żadnych wskaźników ilościowych (liczb) – najprawdopodobniej dane te miały charakter zastrzeżonej informacji handlowej firmy. Należy zwrócić uwagę, że rozdział poświęcony analizie ekonomicznej pełni w rozprawie doktorskiej funkcję integrującą wiedzę techniczną z wymiarem aplikacyjnym i decyzyjnym poprzez dostarczenie odpowiedzi na pytanie, czy przedstawione rozwiązania mają uzasadnienie ekonomiczne oraz w jakich warunkach są/będą opłacalne. W bieżącym ujęciu treści te niepotrzebnie ujęto w osobny (jedynie dwustronicowy) rozdział. Pracę kończy rozdział 12 *Podsumowanie*, zawierający syntezę uzyskanych wyników.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia (także krytyczne), patrząc przez pryzmat celu użytecznego jaki postawiła sobie Doktorantka, nawet przy powyżej wskazanych uwagach redakcyjno – stylistycznych dotyczących sformułowania celu i tez pracy, uważam że przyjęty zakres pracy był właściwy i wystarczający. Określony zakres pracy doprowadził w konsekwencji do zaplanowania eksperymentów i analiz, które zostały przeprowadzone i opisane w pracy.

3.2 Ocena prawidłowości wyboru tematu

Temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Maciejczyk pt. „*Badania kinetyki korozji podosadowej materiałów rur przegrzewaczy w kotłach fluidalnych*” należy ocenić jako trafny, aktualny i w pełni uzasadniony zarówno z perspektywy współczesnej wiedzy o procesach degradacji w instalacjach energetycznych, jak i potrzeb praktyki przemysłowej. Korozja podosadowa stanowi jedno z najbardziej istotnych zagrożeń dla trwałości rur przegrzewaczy w kotłach fluidalnych, szczególnie w warunkach rosnącego udziału paliw alternatywnych i biomasy w instalacjach wielopaliwowych, których spalanie prowadzi do powstawania popiołów o wysokiej zmienności składu chemicznego oraz właściwości korozyjnych. Zagadnienie to znajduje potwierdzenie także w dorobku publikacyjnym Doktorantki, która w swoich dotychczasowych pracach analizowała skład i właściwości popiołów oraz ich oddziaływanie na materiały metaliczne pracujące w wysokich temperaturach. Wybór tematu jest zatem spójny z dotychczasowym kierunkiem badań Doktorantki, obejmujących m.in. ocenę odporności materiałów na korozję w środowiskach powstających podczas spalania paliw konwencjonalnych i alternatywnych, charakterystykę osadów popiołowych oraz analizę mechanizmów żużlowania i degradacji powierzchniowej. Wyniki jej wcześniejszych publikacji wskazują jednoznacznie, że rzeczywiste popioły tworzące się w warunkach fluidalnych mają właściwości odmienne od popiołów modelowych – zarówno pod względem morfologii, topliwości, jak i składu fazowego – co istotnie wpływa na mechanizmy i intensywność degradacji materiałów. Z tego powodu podjęcie badań kinetyki korozji podosadowej w oparciu o rzeczywiste mieszaniny popiołów stanowi naturalną i logiczną kontynuację jej dotychczasowych prac.

Temat rozprawy posiada również wyraźny wymiar praktyczny. Wyniki badań mogą znaleźć zastosowanie w procesach projektowania i eksploatacji kotłów fluidalnych, m.in. w doborze materiałów na rury przegrzewaczy, ocenie przydatności powłok ochronnych, optymalizacji parametrów spalania oraz ograniczaniu ryzyka awarii spowodowanych przyspieszoną korozją. W kontekście dotychczasowych osiągnięć doktorantki, która zajmowała się także analizą oddziaływania chlorków, siarczanów oraz alkaliów na procesy korozji i powstawania osadów, podjęta tematyka stanowi ważny wkład w rozwój narzędzi diagnostycznych i predykcyjnych w energetyce.

Podsumowując, wybór tematu pracy doktorskiej Pani Anny Maciejczyk jest w pełni uzasadniony pod względem naukowym, diagnostycznym oraz praktycznym. Temat ten wynika bezpośrednio z jej wcześniejszych badań, wpisuje się w kluczowe wyzwania związane z eksploatacją kotłów fluidalnych i jednocześnie obejmuje zagadnienie posiadające realny potencjał wdrożeniowy. Praca ma zatem solidne podstawy merytoryczne i odpowiada na istotną potrzebę zarówno nauki, jak i przemysłu energetycznego.

4. Analiza treści rozprawy wraz z uwagami krytycznymi

W poniższym rozdziale recenzji skupię uwagę na zagadnieniach naukowych samodzielnie rozwiązanych przez Doktorantkę oraz dyskusji prawidłowości rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz na uwagach i wątpliwościach, które nasunęły mi się przy pisaniu recenzji. Na końcu zamieszczonej analizy odniosę się do oryginalności i wskażę na główne walory rozprawy.

4.1 Zagadnienia naukowe i uytylitarne rozwiązane samodzielnie przez Doktorantkę

Po przeprowadzeniu analizy treści rozprawy stwierdzam, że postawione przez Doktorantkę cele wdrożeniowe pracy zostały zrealizowane.

Autorka rozprawy doktorskiej, Pani Anna Maciejczyk wykazała się samodzielnością badawczą oraz umiejętnością kompleksowego ujęcia problemu technologicznego w kontekście naukowym i praktycznym.

Do najważniejszych zagadnień naukowych rozwiązanych samodzielnie przez Doktorantkę należy zaliczyć:

- analizę fizykochemiczną paliw oraz popiołów w celu identyfikacji ich właściwości oraz określania potencjału korozyjnego na podstawie wyznaczonych wartości wskaźników,
- dobór warunków procesowych i przeprowadzenie serii eksperymentów badawczych mających na celu ocenę potencjału korozyjnego dla trzech rodzajów paliw oraz dwóch rodzajów materiału na rury przegrzewaczy kotłowych oraz dwie różne powłoki napawane,
- analizę SEM dla produktów korozji, która ujawniła, iż w morfologii i składzie pierwiastkowym warstw zgorzelinowych istnieją różnice, a tempo procesów korozyjnych jest niższe w przypadku stali P235.

W aspekcie uytylitarnym Doktorantka:

- wykazała, iż dla stali nienapawanych, stal P235 wykazała najmniejsze przyrosty masy spośród badanych próbek, co dowodzi jej wyższej odporności na korozję w analizowanych warunkach,
- opracowała zestaw krzywych kinetycznych dla trzech rodzajów paliw w zmiennych warunkach temperaturowych i przy wykorzystaniu dwóch powłok napawanych przy trzech różnych gatunkach stali,
- wykazała, iż zastosowane ochronne warstwy napawane Inconel625 i Alloy310 zapewniają porównywalną ochronę antykorozyjną z nieznaczną przewagą na korzyść tego pierwszego, co jednakże w połączeniu z niższymi kosztami wykonania zabezpieczenia powłoką Alloy310 przemawia na korzyść właśnie tego materiału jako remedium na korozję podosadową.

Samodzielne zaplanowanie i przeprowadzenie serii eksperymentów, a także interpretacja uzyskanych wyników świadczą o wysokim poziomie kompetencji badawczych Doktorantki. Zaproponowane rozwiązania mają charakter wdrożeniowy, a ich efekty mogą zostać wykorzystane w przemyśle kotłowym oraz inżynierii materiałowej (na potrzeby tworzenia nowych powłok). Podsumowując, można stwierdzić, że Doktorantka samodzielnie rozwiązała problem naukowo-techniczny, o dużym znaczeniu dla inżynierii kotłowej i wykazała się zarówno zdolnością do pracy eksperymentalnej jak i umiejętnością praktycznego zastosowania wyników badań.

4.2 Prawdliwość rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz uwagi krytyczne

Treść rozprawy dowodzi, że Doktorantka bardzo dobrze znajduje się w przedmiotowej problematyce. Nie stwierdzam w tym zakresie uchybień i oceniam pozytywnie Jej znajomość przedmiotu zagadnienia - w tym przygotowanie zawodowe i naukowe.

Rozważania przedstawione w rozprawie doktorskiej mgr inż. Anny Maciejczyk cechują się logicznością, poprawnością merytoryczną i spójnością z założonymi celami badawczymi. Autorka w sposób systematyczny przeprowadza tok rozumowania — od analizy problemu korozji podosadowej i jej charakterystyki, poprzez badania wstępne nad doбором i oceną właściwości paliw aż po zaplanowanie i wykonanie eksperymentów zmierzających do określenia najbardziej optymalnej pod względem ekonomicznym pary: rodzaj stali na przegrzewacz kotłowy oraz rodzaj powłoki zabezpieczającej. Taka konstrukcja zapewnia przejrzystość narracji naukowej i umożliwia czytelnego śledzenie procesu dochodzenia do wyników.

Wyniki uzyskane w toku badań są wiarygodne, dobrze udokumentowane i poparte odpowiednimi analizami eksperymentalnymi. Dane liczbowo i graficznie przedstawiono w sposób przejrzysty, a wnioski z poszczególnych etapów badań są prawidłowo interpretowane i logicznie powiązane z rezultatami pomiarów. W szczególności pozytywnie należy ocenić opracowanie charakterystyk kinetycznych dla wariantowych paliw w połączeniu z rodzajami stali i powłok zabezpieczających.

Wnioski końcowe są syntetyczne, jednoznaczne i w pełni wynikają z przeprowadzonych badań. Potwierdzają słuszność postawionych tez i realizację celów pracy, wskazując, że charakterystyki kinetyczne będą miały odmienny przebieg dla różnych paliw i materiałów.

Przyczynę do podjęcia pogłębionej dyskusji naukowej stanowi natomiast kilka zagadnień, które przedstawiam poniżej, z prośbą o odniesienie się do nich w trakcie obrony pracy:

Uwagi i pytania:

1. str. 18 i dalej: proszę o podanie informacji w jakim stanie odniesienia podawane i porównywane są parametry fizykochemiczne badanych paliw P1-P3 (stan roboczy, stan suchy – bezpopiołowy, stan suchy, stan powietrzno -suchy etc.)?

2. str. 24– Tab. 2-5: rozumiem, że chodzi o zawartość wskazanych pierwiastków w popiele? Czy chodziło tutaj o rzeczywisty popiół lotny czy popiół laboratoryjny?
3. str. 25: dolna granica wartości opałowej RDF na poziomie zera jest jedynie teoretyczna. Na jakie najniższe wartości opałowe paliwa RDF projektowane są kotły wielopaliwowe firmy SHI FW Energia Fakop Sp. z o.o. spalające tego rodzaju paliwa?
4. str. 58: odnośnie popularności kotłów fluidalnych w jednostkach spalania wielopaliwowego: z Pani punktu widzenia jaka jest graniczna wartość rocznego wolumenu masowego (tys. t/a) spalanych odpadów RDF zapewniająca efektywność ekonomiczną takiej jednostki (vs. kotły wyposażone w ruszty)?
5. str. 75 – czy na podstawie uzyskanych wyników można przewidywać jak przebiegałyby procesy korozyjne w przypadku, gdy paliwem byłaby mieszanka paliw a wytworzony popiół miałby inny skład? Wiedząc, że parametry popiołu i charakterystyczne temperatury topliwości nie są wartościami wprost addytywnymi, jaka byłaby wiarygodność przybliżonego porównania na drodze analitycznej (wartości wskaźników w Tab. 8-4 dla mieszanek popiołów) dla takiego przypadku?
6. str. 89 i dalej: – czy Pani zdaniem wpływ (a jeżeli tak to jaki) na uzyskane wyniki ma/może mieć brak symulacji odbioru ciepła z nagrzewanego kuponu od jego wewnętrznej strony (tak jak faktycznie ma to miejsce w rzeczywistych warunkach eksploatacji kotła) a także inna niż symulowana atmosfera?
7. Komentarz ogólny: część eksperymentalną pracy istotnie wzbogaciłoby omówienie niepewności pomiarowej i powtarzalności wyników, co zwiększyłoby wiarygodność danych liczbowych.

Podkreślić należy, że wskazane powyżej uwagi i komentarze nie umniejszają wartości naukowej i oraz istotnych aspektów utylitarnych pracy. Zaplanowany zakres pracy został zrealizowany a postawione cele zostały osiągnięte.

4.3 Oryginalność i główne walory rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Anny Maciejczyk charakteryzuje się oryginalnością naukową oraz bardzo wyraźnym ukierunkowaniem aplikacyjnym. Oryginalność rozprawy wynika z połączenia dwóch elementów, które w literaturze są zwykle prowadzone osobno: badań korozji podosadowej z wykorzystaniem popiołów o kontrolowanym składzie, przygotowanych w warunkach laboratoryjnych oraz testów wykonanych na rzeczywistych stalach kotłowych i powłokach ochronnych, stosowanych w przegrzewaczach kotłów fluidalnych.

Takie podejście stanowi istotny wkład poznawczy z kilku powodów:

- popioły wytworzone w laboratorium pozwalają na analizę mechanizmów niemożliwych do wyodrębnienia w popiołach rzeczywistych,
- popioły z instalacji przemysłowych cechują się dużą zmiennością, niejednorodnością chemiczną i składem wynikającym z osadzania się innych frakcji lotnych, przez co trudno jest określić jednoznaczne zależności pomiędzy składem a agresywnością korozyjną,
- popioły laboratoryjne umożliwiają: precyzyjne sterowanie udziałem Na, K, Cl, S, Si i Al w faktycznie osadzającym się popiele oraz analizę kinetyki korozji bez zakłóceń wynikających z przypadkowych zanieczyszczeń,
- badania prowadzone na rzeczywistych stalach i powłokach kotłowych nadają pracy unikatowy wymiar aplikacyjny - duża część badań laboratoryjnych opiera się na próbkach modelowych lub austenicznych stalach referencyjnych (np. 304, 316), które nie występują w kotłach energetycznych. W pracy zastosowano stale typowe dla energetyki zawodowej oraz powłoki napawane w praktyce kotłowej dzięki czemu uzyskane wyniki są łatwo transferowalne do praktyki eksploatacyjnej, co jest rzadkim i cennym elementem w badaniach korozyjnych,
- omawiana praca łączy badania korozji podosadowej w aspekcie modeli i kontrolowanych warunków oraz aplikacyjnym - gdzie ocenia się trwałość realnych materiałów co umożliwia powiązanie składu chemicznego popiołu z rzeczywistą prędkością penetracji,
- powstała nowa wiedza o zależności między składem popiołu a mechanizmem korozji: wyniki pracy wykazały, że różne proporcje Na/K/Cl/S prowadzą do różnych mechanizmów degradacji, zmiana stopnienia popiołu radykalnie modyfikuje tempo penetracji stopionych soli, nawet niewielkie ilości chlorków zasadniczo zmieniają mechanizm uszkodzeń. Mechanizm ten nie był wcześniej w pełni opisany w kontekście kotłów fluidalnych i paliw wieloskładnikowych.

Podsumowując, rozprawa jest oryginalnym osiągnięciem naukowym, o znaczących walorach zarówno poznawczych, jak i aplikacyjnych. Autorka wykazała się twórczym podejściem, samodzielnością koncepcyjną oraz innowacyjnym łączeniem metod badawczych, co w pełni uzasadnia uznanie pracy za wartościowy wkład w rozwój nauki i praktyki inżynierskiej w obszarze badań nad korozją podosadową. Zakres zrealizowanych prac stanowi Jej w pełni oryginalny dorobek a wyniki uzyskane w trakcie realizacji pracy dostarczają oprócz wartościowych

wniosków naukowych także istotnych rekomendacji o charakterze praktycznym, przez co są one cenne z utylitar-
nego punktu widzenia.

Uzyskany w trakcie realizacji pracy materiał jest bardzo interesujący i z pewnością wart dalszej popularyzacji
poprzez np. prezentowanie uzyskanych wyników jako publikacji w czasopismach naukowych a także poprzez
referaty wygłaszane na konferencjach z obszaru techniki kotłowej czy inżynierii materiałowej.

5. Wnioski końcowe

Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej, biorąc pod uwagę przedstawione wcze-
śniej uwagi i spostrzeżenia stwierdzam, że przedstawiona przez Panią mgr inż. Annę Maciejczyk rozprawa
pt. „*Badania kinetyki korozji podosadowej materiałów rur przegrzewaczy w kotłach fluidalnych*” spełnia w
całości określone w Art. 13.1 przywołanej w pkt. 1 Ustawy warunki i wymagania stawiane rozprawom dok-
torskim.

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teore-
tyczną Doktorantki w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka; dowodzi także Jej
umiejętności samodzielnego zaplanowania i przeprowadzenia szerokiego zakresu badań eksperymentalnych.

Praca posiada bardzo wartościowe aspekty użytkowe, warsztat naukowy Doktorantki może być z powodze-
niem rozwijany np. w kierunku dalszych badań korozji podosadowej dla innych paliw, ich mieszanek oraz mate-
riałów a także w innych niż symulowane warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

Wobec powyższych faktów wnioskuję do Wysokiej Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo
i Energetyka Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Anny Maciejczyk do dalszych etapów po-
stępowania o nadanie stopnia doktora.

Podpisał Jarosław Zuwała