

Prof. dr hab. inż. Piotr Krawczyk,  
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa  
Politechnika Warszawska  
Warszawa

Warszawa, 16.03.2026

**Recenzja rozprawy doktorskiej  
Pani mgr inż. Anny Maciejczyk  
„Badania kinetyki korozji podosadowej materiałów rur przegrzewaczy w  
kotłach fluidalnych”**

**Promotor rozprawy dr hab. inż. Bartłomiej Hernik, prof. PŚ  
Opiekun naukowy: dr inż. Szymon Ciukaj**

## **1. Wprowadzenie**

Recenzja została przygotowana w oparciu o uchwałę Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 23.10.2025, pismo znak RIE-BD.512.45.2025 w sprawie powierzenia mi opracowania recenzji przedmiotowej rozprawy. Recenzja została przygotowana w oparciu o następujące akty prawne:

- Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.)

Recenzja opracowana została na podstawie przekazanej wraz z w/w pismem rozprawy doktorskiej stanowiącej opracowanie zwarte.

## 2. Ogólna ocena rozprawy

### 2.1 Zakres rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anny Maciejczyk poświęcona jest zagadnieniom związanym z kinetyką korozji podosadowej materiałów rur przegrzewaczy w kotłach fluidalnych, ze szczególnym uwzględnieniem środowisk powstających podczas spalania paliw alternatywnych, takich jak biomasa oraz paliwo z odpadów RDF. Przedmiotem pracy jest zatem problem o istotnym znaczeniu poznawczym i aplikacyjnym, związany z trwałością eksploatacyjną materiałów stosowanych w energetyce oraz z możliwościami ich ochrony w warunkach oddziaływania agresywnych osadów popiołowych.

Rozprawa została zawarta na 157 stronach tekstu zasadniczego. Pracę podzielono na 12 numerowanych rozdziałów. Układ pracy jest logiczny i odpowiada przyjętemu celowi badawczemu: od przedstawienia uwarunkowań związanych z wykorzystaniem paliw alternatywnych w energetyce, przez omówienie mechanizmów korozji wysokotemperaturowej i metod ochrony materiałów, aż po część badawczą, analizę wyników oraz ich podsumowanie. Dysertacja zawiera również spis literatury, a także spisy rysunków i tabel oraz streszczenie.

Pierwsze rozdziały pracy mają charakter wprowadzający. W rozdziale pierwszym Doktorantka przedstawia tło problemu badawczego, wiążąc go z transformacją energetyczną, rosnącym znaczeniem odnawialnych źródeł energii oraz coraz szerszym wykorzystaniem paliw alternatywnych. Wskazuje przy tym, że spalanie biomasy i RDF, mimo niewątpliwych zalet środowiskowych i gospodarczych, prowadzi do szeregu trudności eksploatacyjnych, w tym do intensyfikacji procesów korozyjnych i odkładania się osadów na powierzchniach ogrzewalnych kotłów. Kolejny rozdział poświęcono charakterystyce paliw alternatywnych w energetyce, ze szczególnym uwzględnieniem biomasy i paliwa RDF, ich właściwości fizykochemicznych, składu popiołów oraz wskaźników zużłowania i szlakowania. W rozdziale trzecim Doktorantka omawia problemy związane ze spalaniem paliw alternatywnych w warunkach energetycznych. Przedstawia podstawy korozji metali, charakterystykę korozji wysokotemperaturowej oraz wybrane metody badań korozyjnych. Rozdział czwarty dotyczy ochrony antykorozyjnej stali i obejmuje zarówno przegląd materiałów stosowanych w energetyce, jak i omówienie wybranych metod zabezpieczania powierzchni, ze szczególnym uwzględnieniem powłok ochronnych oraz napawania. Taki układ części teoretycznej dobrze przygotowuje czytelnika do zrozumienia dalszych etapów pracy badawczej.

Istotne znaczenie dla konstrukcji całej rozprawy ma rozdział piąty, zatytułowany „Teza, cel i zakres pracy”, w którym Doktorantka uzasadnia potrzebę podjęcia badań nad zależnością między właściwościami paliwa, składem powstających popiołów a korozyjnością środowiska oddziałującego na materiały rur przegrzewaczy. Z tej części pracy wynika, że zasadniczym celem badań jest określenie zależności między właściwościami paliw alternatywnych

a korozyjnością popiołów powstających w procesie spalania, a także ocena tempa korozji podosadowej materiałów eksploatowanych w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

Część badawcza rozprawy została zawarta w rozdziałach szóstym i siódmym, gdzie przedstawiono koncepcję badań oraz ich metodykę. Doktorantka opisuje dobór paliw do badań, metody analizy technicznej i elementarnej paliw, analizę chemiczną popiołów i wyznaczanie charakterystycznych temperatur topliwości, a także dobór stali i warstw napawanych. Następnie przedstawia założenia badań korozyjnych i badań SEM. Zastosowany program badawczy obejmuje więc zarówno ocenę właściwości paliw i popiołów, jak i eksperymentalną ocenę zachowania materiałów konstrukcyjnych oraz warstw ochronnych w środowisku korozyjnym.

W kolejnych rozdziałach pracy Doktorantka prezentuje wyniki analiz paliw i popiołów, wyniki badań korozyjnych oraz wyniki badań mikrostrukturalnych SEM. Zakres ten obejmuje zarówno próbki referencyjne, jak i stale ekspozowane w środowisku agresywnym oraz próbki zabezpieczone warstwami napawanymi. Tak zaprojektowany układ pracy pozwala na kompleksową ocenę wpływu rodzaju paliwa i właściwości popiołu na intensywność procesów degradacyjnych oraz na ocenę skuteczności zastosowanych zabezpieczeń antykorozyjnych. Odrębny rozdział poświęcono również analizie ekonomicznej.

Ostatni rozdział rozprawy zawiera podsumowanie najważniejszych wyników i wniosków. W rezultacie należy stwierdzić, że zakres rozprawy został określony szeroko i spójnie: obejmuje on zarówno część teoretyczną i przeglądową, jak i rozbudowaną część eksperymentalną oraz interpretacyjną, podporządkowaną ocenie zjawiska korozji podosadowej materiałów rur przegrzewaczy w kotłach fluidalnych spalających paliwa alternatywne.

## **2.2 Ocena prawidłowości wyboru tematu**

Problematyka poruszona w pracy, tj. zagadnienia związane z korozją wysokotemperaturową materiałów konstrukcyjnych w warunkach spalania paliw alternatywnych, jest istotna i aktualna. Transformacja sektora energetycznego, związana z koniecznością ograniczania emisji gazów cieplarnianych, prowadzi do zauważalnego wykorzystania biomasy oraz paliw odpadowych (RDF) w procesach wytwarzania energii. Wprowadzenie tych paliw do eksploatacji, mimo niewątpliwych korzyści środowiskowych, wiąże się jednak z szeregiem problemów technologicznych, wśród których jednym z najpoważniejszych jest intensyfikacja procesów korozyjnych powierzchni ogrzewalnych kotłów.

Sz szczególnie istotnym zagadnieniem, stanowiącym przedmiot rozprawy, jest korozja podosadowa materiałów rur przegrzewaczy, determinowana składem chemicznym popiołów powstających w wyniku spalania paliw alternatywnych. Zawarte w nich związki chloru, siarki oraz metali alkalicznych prowadzą do powstawania środowisk o wysokiej agresywności korozyjnej, co bezpośrednio wpływa na trwałość i niezawodność urządzeń energetycznych. W tym kontekście podejmowanie badań nad kinetyką tych procesów oraz nad skutecznością

metod ochrony materiałów należy uznać za uzasadnione zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia.

Doktorantka, dostrzegając znaczenie powyższych problemów, podjęła się analizy zależności pomiędzy właściwościami paliw alternatywnych, składem powstających popiołów a intensywnością procesów korozyjnych. W pracy uwzględniono również zagadnienia związane z możliwością ograniczania degradacji materiałów poprzez zastosowanie warstw ochronnych, co dodatkowo podnosi walory aplikacyjne przeprowadzonych badań.

Mając na uwadze powyższe argumenty, należy stwierdzić, że temat rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Anny Maciejczyk został wybrany prawidłowo, jako aktualny i istotny zarówno z punktu widzenia badań naukowych, jak i potrzeb praktyki przemysłowej. Podjęta tematyka wpisuje się w aktualne kierunki rozwoju energetyki i odpowiada na rzeczywiste problemy eksploatacyjne związane ze stosowaniem paliw alternatywnych.

### **3. Analiza treści rozprawy wraz z uwagami krytycznymi**

W niniejszym rozdziale recenzji skupiam się na analizie treści rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Anny Maciejczyk, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień naukowych samodzielnie podjętych i rozwiązanych przez Doktorantkę. Ocenie poddano prawidłowość prowadzonych rozważań, zastosowaną metodykę badawczą, uzyskane wyniki oraz sformułowane na ich podstawie wnioski.

W dalszej części rozdziału przedstawiam również uwagi krytyczne, wątpliwości oraz zagadnienia dyskusyjne, które nasunęły się w trakcie lektury rozprawy. Odnoszę się także do stopnia oryginalności pracy oraz wskazuję jej główne walory naukowe i aplikacyjne.

#### **3.1 Zagadnienia naukowe i utylitarne rozwiązane samodzielnie przez Doktoranta**

Po przeprowadzeniu analizy treści rozprawy stwierdzam, że postawiony przez Doktorantkę cel pracy został zasadniczo zrealizowany.

Do najważniejszych zagadnień naukowych i utylitarnych podjętych oraz opracowanych przez Doktorantkę zaliczam:

- analizę wpływu właściwości paliw alternatywnych, w szczególności biomasy i paliwa RDF, na skład chemiczny powstających popiołów oraz na ich potencjalną agresywność korozyjną;
- ocenę przebiegu korozji podosadowej materiałów przeznaczonych na rury przegrzewaczy w warunkach oddziaływania środowisk powstających podczas spalania paliw alternatywnych;
- przeprowadzenie badań eksperymentalnych obejmujących zarówno materiały bazowe, jak i wybrane warstwy ochronne wykonane metodą napawania;

- wykonanie badań mikrostrukturalnych z wykorzystaniem mikroskopii skaningowej SEM oraz analizy EDS, co pozwoliło na uzupełnienie oceny zmian zachodzących w badanych materiałach;
- określenie zależności pomiędzy składem chemicznym popiołów a intensywnością procesów korozyjnych zachodzących na powierzchni badanych materiałów;

### 3.2 Uwagi krytyczne do pracy

Poniżej zamieszczam uwagi o charakterze merytorycznym, które nasunęły mi się w trakcie lektury pracy.

#### 1. Uwagi dotyczące języka, stylu i redakcji pracy

Język rozprawy w wielu miejscach sprawia wrażenie niestarannego, co utrudnia odbiór treści i obniża jakość redakcyjną pracy. W tekście pojawiają się powtórzenia, nieprecyzyjne sformułowania oraz zdania niejednoznaczne lub niekompletne.

Przykładowo:

- na stronie 9 występują powtórzenia słów w zdaniu: „**Badania** procesu korozji w rzeczywistych warunkach przemysłowych napotykają na istotne ograniczenia i trudności **badawcze**”;
- na stronie 10 zapisano zdanie: „Wyniki eksperymentu w zakresie temperatur od 450°C do 650°C dowiodły, że szybkość korozji była aż **16 wyższa...**”, w którym brakuje doprecyzowania (np. „16 razy” lub „o 16%”);
- na stronie 19 pojawia się niejasna konstrukcja „Zawartość podstawowych pierwiastków jest zbliżona w przypadku dla gatunków liściastych i iglastych”, a także powtórzenia („skład chemiczny” – „składa się”) – „Drewno charakteryzuje się niejednorodnym składem chemicznym i składa się z celulozy....”;
- na stronie 23 występuje powtórzenie w zdaniu: „Paliwo to obejmuje **odpady** po procesie recyklingu **odpadów** komunalnych”;
- na stronie 35 tytuł „Podstawy korozji metali” wydaje się uproszczeniem — bardziej adekwatne byłoby odniesienie do zjawiska korozji.

Wskazane przykłady mają charakter reprezentatywny i świadczą o potrzebie staranniejszej redakcji tekstu.

#### 2. Uwagi dotyczące sposobu wykorzystania literatury

Sposób cytowania literatury w wielu miejscach budzi zastrzeżenia. Doktorantka często przywołuje bardzo liczne zestawy publikacji odnoszące się do jednego stwierdzenia, np. [15–

27] czy [41–47], bez wyraźnego wskazania ich indywidualnego wkładu w omawiane zagadnienie. Taki sposób prezentacji źródeł sprawia wrażenie formalnego zwiększania liczby cytowań, zamiast rzeczywistego wykorzystania literatury do pogłębionej analizy problemu badawczego. Brakuje krytycznego odniesienia do przywoływanych prac, ich porównania oraz wskazania, jakie konkretne ustalenia z tych publikacji są istotne z punktu widzenia rozprawy. Działanie takie w opinii recenzenta należy uznać za nieprawidłowe.

Jednocześnie zauważalny jest niedosyt odniesień do literatury bezpośrednio związanej z głównym problemem badawczym rozprawy, zwłaszcza w części obejmującej definiowanie luki badawczej oraz interpretację wyników badań własnych. W pracy stosunkowo szeroko omówiono informacje ogólne, natomiast w dosyć ograniczonym stopniu wykorzystano piśmiennictwo odnoszące się wprost do zagadnienia korozji, odkładania osadów oraz zachowania materiałów i powłok ochronnych w warunkach spalania biomasy i paliw odpadowych w kotłach fluidalnych.

### **3. Uwagi dotyczące spójności i poprawności merytorycznej**

W pracy występuje szereg stwierdzeń oraz fragmentów wymagających istotnego doprecyzowania, uzupełnienia lub korekty, zarówno na poziomie interpretacji danych, jak i poprawności merytorycznej wyводу. W wielu przypadkach sformułowane wnioski mają charakter zbyt ogólny, nie są dostatecznie uzasadnione lub pozostają w sprzeczności z przedstawionymi danymi. Przykładowo:

- na stronie 15 Doktorantka wskazuje na rosnące znaczenie paliwa RDF w energetyce, podczas gdy przedstawiony wcześniej rysunek 2-1 sugeruje marginalny udział tej grupy paliw w strukturze odnawialnych źródeł energii. W pracy nie przedstawiono argumentów uzasadniających tak sformułowaną tezę. Na jakiej podstawie doktorantka zatem opiera swoje stwierdzenie?
- na stronie 15 Doktorantka pisze: „Emisje dwutlenku węgla korelują z zawartością frakcji organicznej, której z kolei większy udział zwiększa wilgotność paliwa, prowadząc do spadku jego wartości opałowej [48]”. Stwierdzenie to budzi poważne wątpliwości, ponieważ zawartość frakcji organicznej i wilgotność paliwa są parametrami rozłącznymi, a zależność sformułowana w pracy nie została dostatecznie wyjaśniona.
- na stronie 16 Doktorantka pisze: „Biomasa wykorzystywana do produkcji energii...”, nie precyzując, o jaki rodzaj energii chodzi. W pracy naukowej należałoby jednoznacznie wskazać, czy chodzi o energię elektryczną, ciepło czy też energię ogółem;
- na stronie 19 Doktorantka stwierdza, że drewno stanowi drugie co do znaczenia źródło biomasy wykorzystywanej w celach energetycznych w Polsce. Nie wskazano jednak, jakie źródło zajmuje pierwsze miejsce ani na podstawie jakich danych

sformułowano to twierdzenie. Jaki rodzaj biomasy stanowi zatem pierwsze co do znaczenia źródło biomasy zdaniem Doktorantki?

- na stronie 19 podano, że wysuszone drewno zawiera 0,2–2,3% związków mineralnych, a jednocześnie wskazano średnią zawartość popiołu na poziomie 3,5%. Dane te wydają się niespójne i wymagają wyjaśnienia, gdyż zawartość popiołu powinna pozostawać w związku z zawartością składników mineralnych. Proszę o wyjaśnienie tej sprzeczności danych przywołanych w jednym zdaniu.
- na stronie 20 w tabeli 2-3 podano parametr „gęstość”, nie precyzując, czy chodzi o gęstość nasypową, rzeczywistą czy jeszcze inną jej postać. Brak takiego doprecyzowania utrudnia interpretację prezentowanych danych;
- na stronie 23 Doktorantka pisze: „Wartości dla przykładowych rodzajów RDF zgodnie z [75] przedstawiono w tabeli 2-4 oraz w tabeli 2-5”. Zdanie to jest nieprecyzyjne, gdyż nie wiadomo, jakich dokładnie wartości dotyczy;
- na stronie 24 w podpisie tabeli 2-4 użyto sformułowania „Skład pierwiastkowy różnych rodzajów RDF”, podczas gdy w samej tabeli przedstawiono jedynie stężenia wybranych pierwiastków wyrażone w mg/kg. Taki podpis jest mylący, ponieważ nie odnosi się do pełnego składu paliwa. Co zatem Doktorantka miała na myśli?
- na stronie 25 Doktorantka podaje, że RDF charakteryzuje się wartością opałową w przedziale 0–25 MJ/kg. Dolna granica tego zakresu budzi zasadnicze wątpliwości, gdyż paliwo o wartości opałowej 0 MJ/kg nie spełnia w praktyce funkcji paliwa energetycznego. Czy Doktorantka spotkała się z paliwem RDF o wartości opałowej 0 MJ/kg?
- na stronie 26 Doktorantka posługuje się pojęciem „efektywności procesu spalania”. Co doktorantka ma na myśli używając tego pojęcia w kontekście cytowanego fragmentu?
- w rozdziale 2.3 Doktorantka omawia spalanie RDF w kotłach BFB i CFB, pomijając kotły rusztowe, które również stanowią istotną grupę urządzeń wykorzystywanych do spalania odpadów. Brak tego odniesienia ogranicza kompletność przedstawionej analizy rynku technologii spalania. Z jakiego powodu kotły rusztowe zostały pominięte? Jaka jest zatem zdaniem Doktorantki dominująca technologia spalania paliw z odpadów na cele energetyczne?
- na stronie 34 Doktorantka używa sformułowania „powierzchnie ciśnieniowe”, nie wyjaśniając, co dokładnie ma na myśli. Jest to określenie nieprecyzyjne i wymagające doprecyzowania. Co Doktorantka ma na myśli?

- na stronie 34 pojawia się również stwierdzenie, że procesy korozyjne prowadzą do „utrąty produkcji energii i elektryczności”. Co zdaniem doktorantki oznacza sformułowanie „utrata produkcji elektryczności”?

#### **4. Uwagi dotyczące zakresu i struktury pracy**

Struktura rozprawy budzi pewne zastrzeżenia. Rozdział „Teza, cel i zakres pracy” został umieszczony dopiero na stronie 58, co oznacza, że znaczna część pracy (około 40% objętości) ma charakter wprowadzający.

Zdaniem recenzenta zakres rozdziałów 1–4 jest nadmiernie rozbudowany i zawiera liczne informacje o charakterze ogólnym, które bardzo często nie mają bezpośredniego znaczenia dla głównego problemu badawczego.

Ponadto:

- rozdział 2.4 zawiera szczegółowe opisy wskaźników i metod, które mają charakter podręcznikowy;
- rozdział 3.3 prezentuje nadmiernie rozbudowany opis metod badawczych, powszechnie znanych w literaturze.

Jaki jest zdaniem Doktorantki sens umieszczania tego typu podstawowych informacji tak szeroko opisywanych w dysertacji?

#### **5. Uwagi dotyczące części badawczej i interpretacji wyników**

W części badawczej również pojawiają się pewne wątpliwości:

- nie określono jednoznacznie roli Doktorantki w realizacji badań eksperymentalnych (czy były prowadzone samodzielnie, czy zespołowo, jaka była rola Doktorantki?);
- w rozdziale prezentującym wyniki brakuje w opinii recenzenta szerszego odniesienia do badań innych autorów i dyskusji podobieństw i różnic w uzyskanych wynikach. Pojawia się częściowe omówienie w tym zakresie, natomiast zdaniem recenzenta powinno ono być szersze.

Tym samym wątpliwości budzi stwierdzenie Doktorantki o niedostatecznym rozpoznaniu problemu korozji w literaturze, które zdaniem recenzenta nie zostało poparte dostatecznie pogłębioną analizą stanu wiedzy na etapie definiowania luki badawczej.

#### **6. Uwagi dotyczące analizy ekonomicznej**

Rozdział poświęcony analizie ekonomicznej ma bardzo ograniczony zakres (ok. 1,5 strony) i nie zawiera elementów, które można byłoby uznać za pełnoprawną analizę ekonomiczną.

Przedstawione informacje mają charakter ogólny i nie pozwalają na wyciągnięcie jednoznacznych wniosków dotyczących opłacalności analizowanych rozwiązań. Wydaje się, że nazwanie tego rozdziału analiza ekonomiczna jest przesadą.

### **3.3 Oryginalność pracy i jej główne walory**

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anny Maciejczyk podejmuje problematykę aktualną i istotną z punktu widzenia współczesnej energetyki, związaną z oddziaływaniem paliw alternatywnych na trwałość materiałów konstrukcyjnych. Zakres pracy wpisuje się w obszar badań nad korozją wysokotemperaturową, który pozostaje ważny w kontekście rosnącego wykorzystania biomasy i paliw odpadowych.

Na uwagę zasługuje przeprowadzenie badań eksperymentalnych obejmujących ocenę korozji podosadowej materiałów stosowanych na rury przegrzewaczy, w warunkach oddziaływania popiołów o zróżnicowanym składzie chemicznym. W pracy uwzględniono zarówno materiały bazowe, jak i wybrane warstwy ochronne, co pozwoliło na dokonanie ich porównawczej oceny w badanych warunkach.

Istotnym elementem rozprawy jest również wykorzystanie metod analizy mikrostrukturalnej, w tym mikroskopii skaningowej SEM oraz analizy EDS, które umożliwiły identyfikację zmian zachodzących w strukturze materiałów w trakcie oddziaływania środowiska korozyjnego. Uzyskane wyniki pozwalają na sformułowanie wniosków dotyczących zależności pomiędzy właściwościami paliw, składem popiołów a intensywnością procesów degradacyjnych.

Praca posiada także pewien wymiar aplikacyjny, związany z możliwością wykorzystania uzyskanych wyników przy doborze materiałów oraz rozwiązań ochronnych w jednostkach energetycznych wykorzystujących paliwa alternatywne.

Reasumując, mimo wskazanych w recenzji mankamentów, rozprawa stanowi opracowanie zawierające elementy o charakterze poznawczym i aplikacyjnym, wpisujące się w aktualną problematykę badawczą. Wskazane walory pracy wynikają przede wszystkim z przeprowadzonej części eksperymentalnej, która stanowi jej najbardziej wartościowy element.

### **4. Wnioski końcowe**

Zdaniem recenzenta, przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anny Maciejczyk zawiera wyniki badań stanowiące podstawę do sformułowania wniosków o charakterze poznawczym i częściowo aplikacyjnym.

Jednocześnie należy podkreślić, że rozprawa nie jest wolna od niedociągnięć. Dotyczą one zarówno niektórych aspektów merytorycznych, strony redakcyjnej pracy, sposobu wykorzystania literatury.

W ocenie recenzenta wskazane uwagi wpływają na ogólną ocenę jakości rozprawy, nie podważają jednak wartości uzyskanych wyników oraz zasadności podjętej problematyki badawczej. Reasumując, pomimo przedstawionych zastrzeżeń, recenzent stwierdza, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anny Maciejczyk spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w obowiązujących przepisach. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Podpisał Piotr Krawczyk