

Kraków, 18.12.2024r.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

Wydział Energetyki i Paliw

Al. A. Mickiewicza 30

30-059 Kraków

wnowak@agh.edu.pl

Recenzja

rozprawy doktorskie mgr inż. Natalii Pawelec

**„Analiza wpływu rodzaju spalanego paliwa w kotle ze złożem fluidalnym na
parametry pracy filtra workowego”**

Wstęp

Recenzję rozprawy doktorskiej opracowano na podstawie decyzji Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z 21.11.2024 pismo RIE-BD.512.48.2024.

Zasadność tematyki

Stan wiedzy na temat usuwania kwaśnych zanieczyszczeń gazowych, takich jak tlenki siarki (SO_2 , SO_3), chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF), koncentruje się na różnych technologiach oczyszczania gazów spalinowych, które różnią się efektywnością, kosztami i

wymaganiami technologicznymi. Główne metody można podzielić na wewnętrz- i zewnętrzne, przy czym ich wybór zależy od rodzaju paliwa, charakterystyki procesu spalania oraz wymagań emisyjnych.

Wewnętrzne metody oczyszczania obejmują usuwanie tlenków siarki bezpośrednio w komorze paleniskowej, np. przez dozowanie kamienia wapiennego, co jest powszechne w kotłach z Cyrkulacyjnym Złożem Fluidalnym (CFB) podczas spalania węgla. Jednakże w przypadku spalania mieszanek paliwowych zawierających biomasę, zawartość związków wapnia w paliwie może być niewystarczająca do skutecznej redukcji siarki. W takich sytuacjach konieczne staje się zastosowanie zewnętrznych metod odsiarczania.

Zewnętrzne metody oczyszczania wykorzystują sorbenty alkaliczne i są klasyfikowane w zależności od stanu skupienia produktów poreakcyjnych na:

- Metody suche polegające na wtrysku suchego sorbentu (np. wapna hydratyzowanego) bezpośrednio do gazów spalinowych. Są one najprostsze pod względem konstrukcji i stosunkowo tanie, co czyni je szczególnie atrakcyjnymi dla istniejących kotłów.
- Metody półsuche, w których do procesu dodawana jest woda w celu zwiększenia efektywności reakcji chemicznych, ale produkty poreakcyjne pozostają w formie stałej.
- Metody mokre charakteryzujące się wysoką skutecznością odsiarczania, ale również znacznymi kosztami inwestycyjnymi, dużym zużyciem wody i problemami z utylizacją odpadów płynnych.

Metoda DSI (Dry Sorbent Injection), jako najprostsza z metod zewnętrznych, wymaga minimalnej przestrzeni instalacyjnej i obejmuje podstawowe podsystemy, takie jak silos do magazynowania sorbentu, system transportu pneumatycznego i lance dozujące. Proces polega na wtrysku sorbentu do gazów spalinowych, gdzie zachodzą reakcje neutralizacji kwaśnych zanieczyszczeń. Następnie gazy przepływają przez urządzenie odpylające, w którym usuwane są produkty poreakcyjne oraz popiół lotny. Wadą bardziej złożonych metod (półsuchych i mokrych) jest ich kosztowność oraz wymaganie większej liczby podsystemów, co zwiększa ryzyko awarii i obniża dyspozycyjność instalacji.

Podsumowując, obecny stan wiedzy wskazuje na skuteczność różnych technologii w usuwaniu kwaśnych zanieczyszczeń, przy czym wybór odpowiedniej metody zależy od specyficznych uwarunkowań technologicznych, ekonomicznych i środowiskowych danego obiektu.

W obliczu rosnących wymagań środowiskowych oraz coraz bardziej restrykcyjnych regulacji prawnych dotyczących ochrony jakości powietrza, tematyka podjęta w niniejszej rozprawie doktorskiej nabiera szczególnego znaczenia. Zanieczyszczenia gazowe, takie jak

chlorowodór (HCl), fluorowodór (HF) oraz ditlenek siarki (SO₂), stanowią poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi. Ich emisja jest szczególnie problematyczna w sektorze energetycznym, gdzie procesy spalania wytwarzają znaczne ilości tych zanieczyszczeń. W związku z tym opracowanie i wdrożenie efektywnych metod ich redukcji jest nie tylko wyzwaniem naukowym, ale także koniecznością z punktu widzenia gospodarki i polityki ochrony środowiska.

Niniejsza praca doktorska skupia się na badaniu efektywności suchej metody usuwania zanieczyszczeń gazowych, z zastosowaniem wapna hydratyzowanego jako sorbentu, w kontekście kotłów z Cyrkulacyjnym Złożem Fluidalnym (CFB). Metoda ta jest szczególnie obiecująca, ponieważ łączy w sobie prostotę zastosowania, niskie koszty operacyjne oraz wysoką skuteczność w warunkach przemysłowych. W połączeniu z zaawansowanymi systemami filtracji, takimi jak elektrofiltry czy filtry workowe, stanowi ona kompleksowe rozwiązanie dla redukcji emisji szkodliwych substancji.

Celem pracy jest szczegółowa analiza procesów związanych z adsorpcją zanieczyszczeń kwasowych oraz ocena skuteczności filtracji w kontekście współpracy z systemem suchego wtrysku sorbentu. Wypracowane wnioski mogą posłużyć jako podstawa do projektowania i wdrażania nowoczesnych instalacji oczyszczania spalin, które spełniają wymogi środowiskowe oraz są zoptymalizowane pod względem technologicznym i ekonomicznym.

Praca obejmuje trzy kluczowe obszary badawcze:

1. Charakterystyka procesów chemicznej sorpcji.

W tej części przeprowadzono analizę mechanizmów reakcji chemicznych pomiędzy kwasowymi zanieczyszczeniami, a wapnem hydratyzowanym. Badania obejmują wpływ parametrów procesowych, takich jak temperatura, wilgotność oraz skład chemiczny gazów spalinowych, na efektywność sorpcji.

2. Charakterystyka procesu filtracji.

Skupiono się na ocenie parametrów pracy filtrów workowych, takich jak opory przepływu, efektywność separacji cząstek stałych oraz trwałość materiałów filtracyjnych w warunkach współpracy z systemem suchego wtrysku sorbentu.

3. Aspekty projektowe.

Opracowano narzędzia umożliwiające projektowanie instalacji oczyszczania spalin. Uwzględniono w nich parametry pracy zarówno systemu wtrysku sorbentu, jak i filtrów workowych, co pozwala na dobór optymalnych rozwiązań dla konkretnych warunków przemysłowych.

Przedstawione w rozprawie badania odpowiadają na pilną potrzebę rozwijania efektywnych technologii oczyszczania spalin, które wspierają realizację celów zrównoważonego rozwoju w energetyce. Wyniki mogą przyczynić się do:

- Lepszego zrozumienia procesów chemicznej sorpcji i filtracji, co ma kluczowe znaczenie dla optymalizacji tych technologii.
- Rozwoju bardziej efektywnych i ekonomicznych rozwiązań, które mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle energetycznym oraz innych branżach generujących zanieczyszczenia gazowe.
- Spełnienia wymogów środowiskowych, co jest kluczowe dla minimalizacji negatywnego wpływu na zdrowie ludzi i ekosystemy.

W kontekście recenzowanej dysertacji doktorskiej, należy podkreślić, że jej tematyka wpisuje się w globalne dążenia do ograniczania emisji zanieczyszczeń oraz transformacji sektora energetycznego w kierunku bardziej ekologicznych technologii. Tym samym rozprawa doktorska wnosi istotny wkład zarówno w rozwój nauki, jak i w praktykę inżynierską.

Tytuł rozprawy doktorskiej mgr inż. Natalii Pawelec: „Analiza wpływu rodzaju spalanego paliwa w kotle ze złożem fluidalnym na parametry pracy filtra workowego” jest zgodny z treścią pracy. Tematyka rozprawy precyzyjnie odzwierciedla zakres przeprowadzonych badań oraz analiz, które koncentrują się na wpływie rodzaju spalanego paliwa na parametry pracy filtra workowego w warunkach eksploatacyjnych kotła fluidalnego. Zarówno cel pracy, jak i jej wyniki bezpośrednio korespondują z zakresem wskazanym w tytule.

Układ pracy

Praca została podzielona na dziesięć rozdziałów i liczy 258 stron. Bibliografia zawiera 118 pozycji. Każdy z rozdziałów pełni określoną rolę w kontekście realizacji celów badawczych. W rozdziale 1 omówiono tło naukowe i praktyczne problemu redukcji emisji kwasowych gazów ze spalin. Przedstawiono uzasadnienie wyboru tematu oraz sformułowano hipotezy i cele badawcze. W rozdziale 2 dokonano analizy aktualnego stanu wiedzy na temat metod usuwania kwasowych zanieczyszczeń gazowych, takich jak HCl i SO₂. Opisano technologie oczyszczania gazów spalinowych, w tym metody suche, półsuche i mokre,

wskazując ich zalety, wady i obszary zastosowań. W rozdziale 3 przedstawiono szczegółowy opis instalacji energetycznych, na których przeprowadzono badania. Opisano ich budowę, działanie systemów oczyszczania spalin oraz warunki eksploatacyjne. Rozdział 4 zawiera szczegółowe informacje na temat zastosowanych procedur badawczych, urządzeń pomiarowych oraz standardów. Opisano również metody laboratoryjnych analiz materiałów zebranych podczas testów. W rozdziale 5 opisano sposób przeprowadzenia badań na wybranych obiektach, wskazano napotkane wyzwania i obserwacje z okresu testów. Szczególną uwagę poświęcono analizie warunków pracy instalacji w rzeczywistych warunkach. W rozdziale 6 omówiono dane zebrane podczas badań terenowych. Przeanalizowano korelacje między zanieczyszczeniami gazowymi i produktami poreakcyjnymi, wpływ nadmiaru stechiometrycznego na redukcję emisji oraz znaczenie rodzaju sorbentu na efektywność procesu. W rozdziale 7 przedstawiono wzory matematyczne i modele opisujące procesy chemiczne oraz filtrację w układzie DSI. Modele te stanowią podstawę do obliczeń wykorzystywanych w późniejszych etapach pracy. Rozdział 8 poświęcono szczegółowej analizie pracy filtra workowego. Przeanalizowano wpływ głębokości wtrysku sorbentu, geometrii urządzeń odpylających oraz właściwości materiałów filtracyjnych na efektywność filtracji. W rozdziale 9 skupiono się na procesach chemicznych i fizycznych zachodzących po wtrysku sorbentu do gazów spalinowych. Omówiono wpływ lokalizacji wtrysku, wymiany ciepła oraz parametrów pyłowej warstwy filtracyjnej na przebieg reakcji. W ostatnim rozdziale 10 opisano opracowanie programu w języku Python, który umożliwia przeprowadzenie obliczeń dla instalacji oczyszczania spalin. Przedstawiono dane wejściowe, wyniki obliczeń oraz funkcjonalności programu.

Każdy rozdział wnosi kluczowe elementy do całościowej analizy i realizacji celów pracy, stanowiąc spójny układ prowadzący od opisu problemu, poprzez badania eksperymentalne, aż do opracowania narzędzi praktycznych.

Elementy nowości naukowej i aspekty praktyczne rozprawy doktorskiej

W niniejszej rozprawie doktorskiej przedstawiono kompleksowe badania i analizy dotyczące usuwania kwasowych gazów z instalacji spalania wyposażonych w kotły z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym (CFB) oraz z wykorzystaniem technologii wtrysku suchego sorbentu (DSI). W ramach prac doktorskich wyodrębniono szereg nowatorskich

elementów oraz praktycznych aspektów, które mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle energetycznym i wpływać na rozwój technologii oczyszczania spalin.

Elementy nowości naukowej

1. Korelacja redukcji HCl i SO₂

- 1.1. Praca potwierdziła wzajemną zależność między stopniem redukcji chlorowodoru (HCl) i ditlenku siarki (SO₂) w procesach zachodzących w kanale spalinowym oraz na powierzchni filtrów workowych. Wykazano, że znając procentową redukcję jednego zanieczyszczenia, można przewidzieć wartość redukcji drugiego, co stanowi innowacyjne podejście do monitorowania i optymalizacji procesu.
- 1.2. Zależność ta została również szczegółowo zbadana dla reakcji zachodzących w pyłowej warstwie filtracyjnej, gdzie uwzględniono dodatkowe czynniki, takie jak skład pyłu i sekwencja czyszczenia worków filtracyjnych.

2. Wpływ geometrii i parametrów pracy filtra workowego na efektywność procesu

- 2.1. Przeprowadzono analizę wpływu geometrii urządzeń odpylających oraz głębokości wprowadzenia lanc dozujących sorbent na równomierne obciążenie filtra workowego.
- 2.2. Opracowano zależności opisujące spadek ciśnienia w filtrze workowym w kontekście parametrów pyłowej warstwy filtracyjnej, takich jak porowatość, przepuszczalność oraz skład produktów poreakcyjnych.

3. Kinetyka reakcji sorbentu wapniowego z HCl i SO₂

- 3.1. Wyznaczono wartość energii aktywacji dla reakcji wapna hydratyzowanego z HCl, a także zbadano wpływ różnych parametrów operacyjnych, takich jak temperatura i czas kontaktu, na efektywność procesu.
- 3.2. Zidentyfikowano dominujące zjawiska w procesie usuwania HCl w zależności od stężenia sorbentu w układzie, co pozwoliło na rozróżnienie obszarów zdeterminowanych przez reakcje chemiczne i procesy dyfuzyjne.

4. Wpływ rodzaju sorbentu na efektywność redukcji gazów

- 4.1. Wykazano, że zmiana powierzchni właściwej sorbentu ma znaczący wpływ na redukcję SO₂, ale nie wpływa istotnie na redukcję HCl, co stanowi nowy wkład w wiedzę o interakcjach między sorbentem a zanieczyszczeniami.

Aspekty praktyczne rozprawy

1. Weryfikacja technologii w rzeczywistych warunkach przemysłowych

- 1.1. Przeprowadzono badania eksperymentalne na czterech obiektach wyposażonych w kotły CFB i systemy DSI, co pozwoliło na ocenę skuteczności technologii w różnych konfiguracjach. Wyniki testów wskazują na możliwość osiągnięcia wymaganych limitów emisji zgodnych z konkluzjami BAT, przy odpowiednim dostosowaniu parametrów pracy systemu.

2. Opracowanie programu obliczeniowego

- 2.1. Stworzono narzędzie w języku Python, które umożliwia modelowanie i optymalizację procesów oczyszczania spalin. Program pozwala na obliczenie:
 - Wymaganego strumienia sorbentu do osiągnięcia zadanych limitów emisji.
 - Spadku ciśnienia w filtrze workowym w zależności od właściwości pyłowej warstwy filtracyjnej.
- 2.2. Program ten jest praktycznym narzędziem wspierającym projektowanie i eksploatację instalacji oczyszczania spalin.

3. Rekomendacje dla przemysłu energetycznego

- 3.1. Na podstawie wyników badań zaproponowano optymalizację konfiguracji instalacji DSI z filtrami workowymi, wskazując na ich wyższą efektywność w porównaniu do systemów z elektrofiltrami.
- 3.2. Zarekomendowano konkretne rozwiązania projektowe dla filtrów workowych, uwzględniając równomierne obciążenie powierzchni filtracyjnych i efektywne sekwencje czyszczenia.

4. Minimalizacja kosztów eksploatacyjnych

- 4.1. Analiza wykazała, że metoda DSI, mimo niskich kosztów inwestycyjnych, może być nieekonomiczna w przypadku wysokich kosztów materiałowych. Opracowane zależności i program pozwalają jednak na optymalizację dozowania sorbentu, co przekłada się na redukcję kosztów eksploatacyjnych.

Podsumowanie

Rozprawa wnosi istotny wkład zarówno w rozwój nauki, jak i w praktykę inżynierską, dostarczając nowatorskich narzędzi i zależności wspierających optymalizację procesów oczyszczania spalin. Wyniki pracy mogą być bezpośrednio wdrażane w przemyśle energetycznym, przyczyniając się do osiągnięcia lepszej efektywności i zgodności z wymaganiami środowiskowymi.

Poziom warsztatowy

Rozprawa doktorska, będąca przedmiotem recenzji, jest owocem intensywnych prac badawczych, wymagających znacznego wysiłku zarówno w aspekcie obliczeniowym, jak i eksperymentalnym. Kandydatka wykazuje się bardzo dobrym przygotowaniem do przeprowadzenia zaawansowanych eksperymentów, co jest wsparte solidną wiedzą teoretyczną oraz kompetencjami w zakresie samodzielnych badań naukowych. Warto szczególnie podkreślić, że prace badawcze zostały przeprowadzone w warunkach przemysłowych, co stanowiło dodatkowe wyzwanie ze względu na złożoność i trudności związane z rzeczywistymi procesami technologicznymi. Realizacja badań w takich warunkach wymagała nie tylko doskonałego przygotowania merytorycznego, ale także umiejętności adaptacji do dynamicznego środowiska przemysłowego, zdolności rozwiązywania problemów w czasie rzeczywistym oraz współpracy z zespołami technicznymi. Tego rodzaju doświadczenie świadczy o wyjątkowej dojrzałości naukowej kandydatki oraz jej zdolnościach do podejmowania i realizacji ambitnych projektów badawczych o dużym znaczeniu praktycznym.

Imponująca jest biegłość, z jaką kandydatka stosuje metody badawcze i interpretuje uzyskane dane, świadcząca o głębokim zrozumieniu tematu i metodologii. Wybór tematu dysertacji oraz analizowanej literatury naukowej jest trafny i świadczy o rzetelności podejścia badawczego.

Piśmiennictwo zastosowane w rozprawie doktorskiej mgr inż. Natalii Pawelec zostało dobrane w sposób staranny i adekwatny do poruszanej tematyki. Wykorzystane źródła obejmują zarówno aktualne publikacje naukowe, jak i klasyczne pozycje literatury dotyczące kotłów fluidalnych, filtrów workowych oraz procesów spalania różnych rodzajów paliw.

Uwagi krytyczne

Podczas analizy przedstawionej rozprawy doktorskiej zwróciłem uwagę na pewne aspekty, które wymagają uwagi krytycznej. Należy jednak podkreślić, że te uwagi nie umniejszają wartości naukowej pracy, lecz są raczej refleksją nad możliwościami dalszego wzbogacenia dyskursu naukowego. Szczegółowe punkty krytyczne zostaną omówione poniżej.

1. Uwagi do Rozdziału 6.1:

- 1.1. Analiza obiektów D_d_1 i D_d_2 wymaga większej systematyczności. Warto oddzielić wpływ sekwencji czyszczenia worków od wpływu innych czynników (np. popiołu lotnego). Zamiast tego oba efekty są omawiane równolegle, co może prowadzić do dezorientacji czytelnika.
- 1.2. Należy wyraźniej wskazać, jak różnice w sekwencji czyszczenia worków wpływają na możliwość tworzenia optymalnej warstwy filtracyjnej i wynikające z tego efekty redukcji emisji HCl i SO₂.
- 1.3. Różnice w wynikach między obiektami A i D są wspomniane, ale nie w pełni wyjaśnione. Warto bardziej szczegółowo opisać, dlaczego na obiekcie D uzyskano znacznie niższe redukcje SO₂, mimo że osiągnięto bardzo wysoką redukcję HCl.
- 1.4. Choć podano odniesienia literaturowe [34, 35], nie wykorzystano ich do pełniejszego porównania wyników z wcześniejszymi badaniami. Porównanie takie mogłoby podkreślić nowość uzyskanych rezultatów oraz zweryfikować wnioski.
2. Uwagi do Rozdziału 6.2.
 - 2.1. W opisie wyników dla obiektów A, B, i C podano różnice w redukcji emisji, jednak wyjaśnienia tych różnic są niepełne. Na przykład, różnica w efektywności między sorbentami o różnej powierzchni właściwej na obiekcie B jest przypisywana wyłącznie stężeniom wlotowym HCl, co może być zbyt uproszczonym wyjaśnieniem. Warto przeanalizować także inne czynniki, takie jak czas przebywania sorbentu w układzie czy warunki termiczne.
 - 2.2. Zależność pomiędzy czasem przebywania sorbentu a efektywnością usuwania zanieczyszczeń na obiekcie B jest wspomniana, ale brakuje szczegółowych danych liczbowych, które mogłyby potwierdzić tę hipotezę.
 - 2.3. W części dotyczącej korelacji pomiędzy redukcją HCl i SO₂ wspomniano, że dla obiektów z elektrofiltrami wystarczy określić redukcję HCl, aby przewidzieć redukcję SO₂. Natomiast dla obiektów z filtrami workowymi wskazano, że korelacja zależy od lokalnych parametrów. Należy lepiej wyjaśnić, jakie dokładnie parametry (np. grubość warstwy pyłowej, udział sorbentu) mają decydujący wpływ na tę zależność.
 - 2.4. Wspomniane różnice w wynikach literaturowych (np. Yan et al. [78], Chisholm i Rochelle [36], Pakarasi [80]) dotyczące efektu „zatykania porów” są interesujące, ale brakuje ich odniesienia do wyników badań własnych. Czy badania na obiektach A, B, lub C potwierdziły lub zaprzeczyły tym efektom?

Wskazane byłoby podsumowanie, czy zaobserwowano jakiekolwiek ograniczenia wynikające z tego mechanizmu.

3. Uwagi do Rozdziału 6.3.

3.1. Autorka podkreśla brak zależności między efektywnością usuwania chlorowodoru (HCl), a powierzchnią właściwą sorbentu w badanym zakresie (20–40 m²/g). Jednakże, odniesienia do literatury (np. Weinell et al. [26]) sugerują, że bardziej rozwinięta struktura sorbentu powinna poprawiać efektywność usuwania. Autorka powinna precyzyjniej wyjaśnić, dlaczego ich wyniki nie są zgodne z ogólnymi trendami literaturowymi, biorąc pod uwagę specyfikę ich badań (np. różnice w metodologii, warunkach procesowych).

3.2. Stwierdzono, że wapno hydratyzowane o wyższej powierzchni właściwej zwiększa efektywność usuwania ditlenku siarki (SO₂). Jednakże brakuje szczegółowej analizy mechanistycznej, która tłumaczyłaby, dlaczego ten efekt występuje dla SO₂, ale nie dla HCl. Może to sugerować różne mechanizmy reakcji dla tych zanieczyszczeń (np. różnice w kinetyce reakcji czy dostępności aktywnych miejsc sorbentu).

3.3. W przypadku SO₂ autorzy odwołują się do literatury [81], która sugeruje wyższy stopień wykorzystania sorbentu przy wyższej powierzchni właściwej. Brakuje jednak szczegółowego porównania tych wyników z literaturą. Czy inne badania potwierdzają podobne wyniki dla zakresu 20–40 m²/g? Jak wyniki z tej pracy wpisują się w szerszy kontekst badań?

3.4. Kandydatka nie przedstawia ograniczeń swoich badań, takich jak potencjalna niedokładność pomiarów czy specyfika zastosowanej metody (np. tymczasowy system dozowania). Wyraźne zaznaczenie ograniczeń dodałoby wiarygodności przedstawionym wynikom.

4. Uwagi do Rozdziału 8.

4.1. Stwierdzenie, że gazy „wybierają najkrótszą drogę do obszaru o najniższej wartości podciśnienia”, jest zgodne z intuicyjną fizyką przepływów, ale wymaga głębszego uzasadnienia w kontekście systemu odpylania. Warto rozważyć:

- Jakie znaczenie ma geometria filtra i wlotu gazów do przedziału na rozkład pyłu.
- Czy różnice w przepływie gazów między górną, a dolną częścią worka są zgodne z symulacjami numerycznymi (jeśli takie były przeprowadzane) lub wcześniejszymi badaniami.

- 4.2. Wpływ sztywności górnej części worka na efektywność czyszczenia został omówiony, ale nie uwzględniono potencjalnych modyfikacji technologicznych, które mogłyby poprawić ten proces (np. zastosowanie innych metod mocowania worków lub modyfikacja konstrukcji koszy filtracyjnych).
- 4.3. Przywołano dwie pozycje literaturowe [88, 89], ale brakuje szczegółowego porównania wyników z dostępnymi badaniami. Warto wskazać, jak przedstawione obserwacje wpisują się w szerszy kontekst badań nad filtrami workowymi i czy są zgodne z innymi pracami.
- 4.4. Stwierdzenie, że próbki z „obszaru środka przedziału” mają równomierne parametry w górnej i dolnej części, wymaga dodatkowego rozwinięcia. Czy równomierne obciążenie jest spowodowane bardziej stabilnym przepływem gazów w środku przedziału, czy innymi czynnikami, takimi jak lokalizacja wlotu i wylotu gazów w przedziale?

Wnioski końcowe

Podsumowując, rozprawa doktorska inż. Natalii Pawelec zatytułowana „Analiza wpływu rodzaju spalanego paliwa w kotle ze złożem fluidalnym na parametry pracy filtra workowego” bezpośrednio odpowiada na zapotrzebowanie naukowe i praktyczne związane z rozwojem metody usuwania zanieczyszczeń gazowych z gazów spalinowych generowanych podczas procesu spalania w kotłach fluidalnych.

Praca mieści się w dyscyplinie *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*, a kandydatka prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w tej dziedzinie, co świadczy o jej znajomości podstawowych zagadnień i umożliwia rzetelne podejście do realizacji celów badawczych postawionych w pracy. Kandydatka wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych, co jest istotnym elementem jej kompetencji badawczych w zakresie inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki. Dzięki temu potrafi efektywnie realizować postawione cele badawcze oraz rozwijać własne umiejętności analityczne i metodologiczne.

W ramach przedstawionej rozprawy doktorskiej mgr inż. Natalia Pawelec wykazała się znaczącym wkładem naukowym, który został ujęty w następujących punktach nowości naukowej:

1. Rozprawa ta łączy badania eksperymentalne z modelowaniem matematycznym, co umożliwiło uzyskanie nowej wiedzy na temat technologii redukcji zanieczyszczeń gazowych w procesie fluidalnego spalania. Dzięki przeprowadzeniu zarówno badań doświadczalnych, jak i tworzeniu modeli matematycznych, mgr inż. Natalia Pawelec nie tylko pogłębiła wiedzę teoretyczną, ale przede wszystkim zaproponowała praktyczne rozwiązania mogące wpłynąć na optymalizację technologii w warunkach przemysłowych. Wyniki tych badań są unikalne i niedostępne w istniejącej literaturze naukowej, co czyni tę pracę szczególnie cenną zarówno z perspektywy naukowej, jak i praktycznej.
2. Po raz pierwszy udowodniono, że wzajemna zależność pomiędzy stopniem redukcji tych zanieczyszczeń występuje w warunkach rzeczywistych, zarówno w reaktorze przepływowym, jak i na pyłowej warstwie filtracyjnej.
3. Odkryto, że równomierność obciążenia przedziałów filtra i jakość warstwy pyłowej mają decydujący wpływ na skuteczność oczyszczania spalin. Zaproponowane wnioski stanowią istotny wkład w optymalizację projektowania filtrów workowych.
4. Wyznaczenie energii aktywacji dla reakcji HCl i SO₂ z wapnem hydratyzowanym w rzeczywistych warunkach przemysłowych dostarcza nowych danych, które mogą być wykorzystane do lepszego modelowania procesów chemicznych.
5. Dzięki zastosowaniu mobilnej instalacji DSI oraz badań prowadzonych w różnych lokalizacjach na ścieżce spalin, określono najbardziej efektywne konfiguracje systemów oczyszczania spalin, co wcześniej nie było przedmiotem publikacji w literaturze naukowej.

Podsumowując przeprowadzoną recenzję rozprawy doktorskiej, stwierdzam, że przedłożona rozprawa w pełni spełnia kryteria określone w obowiązującym prawie dotyczącym nadawania stopni i tytułów naukowych art. 190 ust.3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn.zm.) Rozprawa ta odzwierciedla zarówno dogłębną wiedzę teoretyczną, jak i umiejętności badawcze kandydatki. W związku z powyższym, rekomenduję, aby Rada Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej przyjęła rozprawę doktorską inż. Natalii Pawelec i dopuściła Ją do kolejnego etapu postępowania kwalifikacyjnego.

Rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Pawelec pt. „Analiza wpływu rodzaju spalanego paliwa w kotle ze złożem fluidalnym na parametry pracy filtra workowego” zasługuje na **wyróżnienie** ze względu na jej unikatowy charakter oraz znaczący wkład w rozwój nauki i praktyki inżynierskiej. W związku z tym wnoszę o wyróżnienie tej rozprawy doktorskiej jako wyjątkowego wkładu w rozwój technologii oczyszczania spalin oraz nauk inżynierskich. Kluczowe argumenty przemawiające za wyróżnieniem tej pracy to:

1. Rozprawa opiera się na badaniach prowadzonych na czterech rzeczywistych jednostkach przemysłowych z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym (CFB). Tak szeroko zakrojone badania terenowe są rzadkością w literaturze naukowej, co czyni uzyskane wyniki wyjątkowo cennymi i praktycznie niezastąpionymi. Dane te wypełniają istotną lukę w dotychczasowych badaniach, które głównie koncentrowały się na skalach laboratoryjnych lub pilotowych.
2. Praca łączy badania eksperymentalne z modelowaniem matematycznym, co pozwoliło na odkrycie nowych zależności procesowych, takich jak wzajemna korelacja pomiędzy redukcją HCl i SO₂, oraz na opracowanie nowatorskich modeli kinetyki reakcji w rzeczywistych warunkach przemysłowych. Wyniki te stanowią istotny wkład w rozwój nauki, szczególnie w obszarze technologii oczyszczania spalin.
3. Opracowanie programu obliczeniowego w języku Python, który umożliwia optymalizację pracy instalacji oczyszczania spalin, stanowi dowód na praktyczne znaczenie uzyskanych wyników. Program ten pozwala na projektowanie i modernizację instalacji przemysłowych, co ma bezpośredni wpływ na poprawę efektywności technologicznej i ekonomicznej.
4. Rozprawa wnosi znaczące rekomendacje dla przemysłu energetycznego, takie jak optymalizacja lokalizacji wtrysku sorbentu, projektowanie filtrów workowych oraz dostosowanie parametrów pracy systemu DSI. Wyniki te mogą być natychmiast wykorzystane w praktyce, co dodatkowo podkreśla ich wartość.

Podpisał Wojciech Nowak