



**AGH**

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

dr hab. inż. Paweł Madejski, prof. AGH

Kraków, 09.03.2023 r.

Akademia Górniczo-Hutnicza

im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Katedra Systemów Energetycznych

i Urzędzeń Ochrony Środowiska

al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

e-mail: [pawel.madejski@agh.edu.pl](mailto:pawel.madejski@agh.edu.pl)

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej autorstwa mgr inż. Jarosława Grochowalskiego  
zatytułowanej **"Optymalizacja pracy kotła fluidalnego uwzględniającego  
zużycie erozyjne, zwiększająca dyspozycyjność jednostki w aspekcie  
ucieplnienia bloku energetycznego"**

wykonanej pod opieką dr hab. inż. Bartłomieja Hernika, prof. PŚ.

### 1. Podstawa opracowania

Recenzja wykonana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej, Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina.

### 2. Zasadność podjęcia tematu

Praca jest poświęcona problematyce zastosowania metod uczenia maszynowego oraz modelowania CFD dla wyznaczenia parametrów pracy energetycznego parowego kotła fluidalnego w celu ograniczenia niekorzystnego zjawiska erozji rur ekranowych w dolnej części komory paleniskowej.

Praca została zrealizowana w ramach doktoratu wdrożeniowego realizowanego ze środków finansowych programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pn. „Doktorat wdrożeniowy” ustanowionego zgodnie z postanowieniami art. 26 ust. 3f i nast. Ustawy

**Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,

tel. +48 12 617 39 59

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)

Regon: 000001577 NIP: 6750001923

z dnia 30 kwietnia 2010 r. o zasadach finansowania nauki (t.j. Dz.U. z 2016 r. poz. 2045 ze zm., zwaną dalej „FNU”) oraz na podstawie Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w sprawie szczegółowych kryteriów i trybu przyznawania, przekazywania oraz rozliczania środków finansowych na naukę, trybu wyznaczania opiekuna pomocniczego i przyznawania stypendium doktoranckiego w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy” z dnia 28 kwietnia 2017 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 873).

Zadanie badawcze podjęte przez Doktoranta wymagało wiedzy i doświadczenia w zakresie eksploatacji, sterowania i monitorowania parametrów pracy kotłów fluidalnych oraz umiejętności zastosowania metod uczenia maszynowego i modelowania CFD w analizach pracy kotłów fluidalnych.

Przedstawiony w rozprawie temat jest aktualny, związany aktualnymi trendami i wyzwaniem energetyki zawodowej oraz jest wypełnieniem luki w dotychczasowych pracach badawczych dotyczących stosowania metod uczenia maszynowego dla poprawy warunków eksploatacji dużych kotłów energetycznych, w szczególności ograniczania negatywnych skutków erozji. Tematyka rozprawy mgr inż. Jarosława Grochowskiego jest trafna, interesująca z naukowego, a przede wszystkim aplikacyjnego punktu widzenia.

### **3. Zakres rozprawy**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pana mgr inż. Jarosława Grochowskiego posiada 130 stron, 4 rozdziały (104 strony), które stanowią główną część pracy, wykaz skrótów, 3 dodatki, streszczenie w języku polskim i angielskim, oraz bibliografię składającą się z 79 pozycji literaturowych.

Rozdział 1 „Wprowadzenie” to 23 stronicowy wstęp wprowadzający do zagadnień poruszanych w rozprawie, takich jak uwarunkowania środowiskowe, opis analizowanego obiektu, wyniki pomiarów diagnostycznych, które pozwoliły Doktorantowi opracować zakres i postawić cel rozprawy. Oprócz koncepcji, Autor w przeglądzie literatury poruszył kwestie dotychczasowych badań i zagadnień z rozprawy. Rozdział zawiera 16 rysunków oraz 1 tabelę. Pod koniec rozdziału Doktorant przedstawia cel pracy jakim jest *„Znalezienie sposobu, który poprzez optymalizację pracy analizowanego kotła fluidalnego (rozkładu dostarczanego paliwa do kotła poprzez poszczególne podajniki) doprowadzi do ograniczenia niekorzystnego zjawiska erozji rur ekranowych w dolnej części komory paleniskowej.”*, a Doktorant potwierdza że realizacja założonego celu przyniesie dodatni efekt ekonomiczny, środowiskowy oraz społeczny.

W rozdziale 2 zatytułowanym „*Model predykcyjny*”, składającym się z 45 stron (21 rysunków, 15 tabel), Doktorant omówił podstawowe informacje o możliwościach zastosowania sieci neuronowych, oraz technikach uczenia maszynowego. Omówił budowę i architekturę modelu, wraz z zasadą działania modelu do predykcji temperatury. Rozdział zawiera także wyniki testów obiektowych oraz wyniki obliczeń w postaci korelacji pomiędzy parametrami pracy kotła.

Rozdział 3 „*Model numeryczny kotła CFB*” składa się z 25 stron, w tym 14 rysunków i 13 tabel. W rozdziale Doktorant skoncentrował się na wprowadzeniu do opisu modelu numerycznego kotła CFB wraz z jego podstawowymi parametrami przyjętymi w celu przeprowadzenia symulacji pracy kotła fluidalnego. Model numeryczny został stworzony w ramach projektu POIR.01.01.01-00-1253/19-00, który był współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Model numeryczny kotła został wykorzystany do przeprowadzenia analiz pracy kotła dla zmiennych warunków brzegowych w postaci ilości podawanego paliwa i powietrza wtórnego. Wyniki w postaci rozkładu temperatury na ruszcie kotła porównywano w celu odniesienia się do wyników z modelu predykcyjnego, obliczając wartość „współczynnika erozji”. Obliczenia zostały przeprowadzone w oprogramowaniu Ansys Fluent.

Ostatni rozdział to „*Podsumowanie*”, składające się z 3 stron, zawiera przegląd zadań zrealizowanych w ramach pracy oraz podsumowanie najważniejszych wyników i wniosków z rozprawy doktorskiej.

Opracowany powyżej podział rozprawy na poszczególne rozdziały jest właściwy, wprowadza do tematyki oraz omawia prowadzone przez Doktoranta badania. Przedstawiony cel pracy jest zgodny z tematem rozprawy, a wymieniony zakres wyczerpuje tematykę przedstawioną w tytule rozprawy.

#### **4. Uwagi krytyczne i redakcyjne**

Poniżej przedstawiam uwagi krytyczne:

- Wyniki zaprezentowane na rysunku 1.13, wyrażone w procentach, nie pozwalają porównać poziomu ubytku dla różnych analizowanych poziomów diagnostycznych (A1, B1, B2, B3), jeżeli wartość procentowa w odniesieniu do obliczonej wartości maksymalnej nie jest wartością wspólną dla wszystkich poziomów diagnostycznych. Na rysunku 1.13 (dla lewej ściany kotła) można zaobserwować trend występowania niskich wartości w środku i występowanie „pików” w podobnej lokalizacji, podczas

gdy Doktorant wskazuje na wyraźne rozbieżności w lokalizacji maksymalnych ubytków.

- Na stronie 29 Doktorant przedstawia tezę, że „Realizacja założonego celu przyniesie dodatni efekt ekonomiczny, środowiskowy oraz społeczny w postaci: ...- obniżenia emisji zanieczyszczeń...”. Oczywiście wszelkie prace na ograniczeniu awaryjności, wydłużeniem czasu pracy i „życia” wybranych elementów kotła i elektrowni wpływa pozytywnie na kwestie ekonomiczne, środowiskowe i społeczne. W tym punkcie należy jednak wskazać jak dokładnie można te dodatnie efekty uzyskać i jak je ocenić. Przede wszystkim proszę o dodatkowe wskazanie w jaki sposób Doktorant chciałby udowodnić wpływ realizacji założonego celu na obniżenie emisji zanieczyszczeń.
- Doktorant, na stronie 29, nie wskazując dokładnych przyczyn zbyt ogólnie potraktował grupę awarii „Kocioł (bez awarii ekranów)”, która stanowi dominującą grupę przyczyn awarii – 60%. Należy co najmniej wskazać i rozwinąć te kwestie, biorąc pod uwagę istniejący i dostępny dorobek badawczy oraz naukowy ośrodków krajowych, poświęcony problematyce awarii występujących w kotłach energetycznych, w kotłowych wymiennikach ciepła, w tym w kotłach fluidalnych.
- Co dokładnie jest celem pracy (celami pracy), na stronach 29, 38, 81 można znaleźć różne sformułowania: „...znalezienie sposobu...”, „...wyrównanie rozkładu temperatur...”, „...stworzenie modelu umożliwiającego optymalizację pracy analizowanego kotła...” a może optymalizacja parametrów pracy kotła? Ta kwestia wymaga podsumowania w celu uporządkowania poruszanych w rozprawie zagadnień i celów pracy.
- Na stronie 38, w opinii recenzenta, brakuje jasnego wskazania (jakie fakty lub jakie liczby przemawiają za) do wyboru nadzorowanego uczenia maszynowego. Dlaczego Doktorant wybrał właśnie do podejście? Czy były podejmowane próby dla porównania i wyboru tego podejścia z pośród przedstawionego uczenia nadzorowanego, bez nadzoru i wzmacnianego?
- Brakuje ogólnej informacji, na jakiej podstawie wytypowane zostały dane do modelu predykcji (strona 42). Czy są to wszystkie dostępne dane, czy tylko wybrane, jeżeli tak to w jaki sposób?
- Przy opisie Architektury Modelu Predykcyjnego (strona 48) wskazane jest przedstawienie definicji, rozwinięcie skrótów oraz wytłumaczenie sensu użytych parametrów takich funkcja aktywacji, bias initializer, batch size itd.

- Doktorant wskazuje, że w trakcie testów wyłączenie jednego z podajników (strona 75) wymusiło konieczność procesu powtórzenia uczenia sieci neuronowych, czyli wpłynęło na działanie modelu. Czy nowe dane ruchowe uwzględniające możliwość postępu poszczególnych podajników węgla są na tyle uniwersalne, że nie będzie konieczności powtarzania procesu uczenia w przyszłości? Czy takie sytuacje będą mieć miejsce w przyszłości w trakcie eksploatacji kotła? Jeżeli tak, to wskazane jest aby Doktorant zaproponował rozwiązanie oraz sposób reakcji gdy taka sytuacja nastąpi w trakcie wdrażania modelu predykcyjnego.

Ponadto, można zwrócić uwagę na kwestie modelu CFD oraz procesu optymalizacji, który jest przedstawiany jako jeden z celów. Kwestie te w rozprawie zostały omówione w sposób uproszczony i mniej szczegółowy niż np. model predykcyjny, pomimo iż złożoność tych zagadnień jest nie koniecznie mniejsza. Wszystkie wymienione uwagi mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na pozytywną ocenę przedstawionej rozprawy.

Poniżej uwagi o charakterze redakcyjnym:

- s.12: wartości temperatury i ciśnienia („...273.15 K, ciśnienie 101.3 kPa...”) podane z kropką „.” zamiast z przecinkiem „,”
- s.17: „Powietrza pierwotne dostarczane jest do kotła...”
- s.29: Pomyłka w opisie rysunku 1.16, jest „...Po prawej porównanie awaryjności bloku (a), po lewej porównanie awaryjności analizowanego kotła (b)” a powinno być Po lewej porównanie awaryjności bloku (a), po prawej porównanie awaryjności analizowanego kotła (b)
- s.31: „...w w kotle...”
- s.36: „...nauczyć się...”
- s.38: „...zmiana optymalizacja...”
- s.43: Co oznacza pik na wykresie (rys. 2.5), skoro zrezygnowano z przedstawienia okresów postojów.
- s.44: „Lokalizacja fizycznej zabudowy fizycznego pomiarów...”
- s.48: „MSE (ang. Mean Squared Error) [?].”
- s.49: „Zielone punkty na wykresach to rozkład temperatur dla danych testowych, niebieskie punkty to rozkład temperatur dla danych testowych”
- s.60: „Niebieskie punkty reprezentuje obliczoną...”, „...cehuje się dużą dokładności predykcji...”

## 5. Ocena rozprawy i wnioski końcowe

Jako osiągnięcia Doktoranta w przedstawionej do recenzji rozprawie należy, moim zdaniem, wskazać przede wszystkim:

1. Budowę modelu do wyznaczania temperatur na ruszcie wraz z przeprowadzeniem testów jego działania w warunkach eksploatacji kotła fluidalnego.
2. Przeprowadzenie obliczeń i symulacji CFD pracy paleniska fluidalnego dla uzyskania odpowiedzi na temat erozji w trakcie pracy kotła.
3. Możliwość implementacji opracowanej koncepcji i wykorzystanie rozwiązania w trakcie eksploatacji pracy kotła.

W podsumowaniu opinii informuję, że przedstawione uwagi krytyczne nie podważają pozytywnej oceny całej rozprawy, a Doktorant zrealizował postawione sobie podstawowe cele. Przedstawił oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dla założonych celów.

Rozprawa doktorska mgr inż. Jarosława Grochowalskiego pt. *„Optymalizacja pracy kotła fluidalnego uwzględniającego zużycie erozyjne, zwiększająca dyspozycyjność jednostki w aspekcie uciepłownienia bloku energetycznego”* będąca przedmiotem recenzji i oceny, **stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną kandydata w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka wraz z umiejętnościami samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.** Praca spełnia w całości warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w Art. 13 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.).

W oparciu o powyższe stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Doktoranta do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

Podpisał Paweł Madejski