

Wrocław, 15.09.2023r.

Dr hab. inż. Tomasz Hardy, prof. Uczelni  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Mechaniczno-Energetyczny  
Katedra Inżynierii Konwersji Energii  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

## **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej pana mgr inż. Przemysława Garbacza  
pod tytułem**

**„Optymalizacja wtórnych metod odazotowania spalin w kotłach rusztowych”**

Recenzja wykonana zgodnie z pismem RIE-BD.512.55.2023 z dnia 20.07.2023 na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 13.07.2023r.

### **Charakterystyka ogólna rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska pana mgr inż. Przemysława Garbacza powstała pod opieką naukową dr hab. inż. Roberta Wejkowskiego, prof. Pol. Śl.

Rozprawa składa się z 8 rozdziałów, obejmuje 143 strony maszynopisu włączając w to spis ilustracji i spis literatury. Wykaz literatury zawiera 92 pozycje, w dużej mierze dotyczących publikacji naukowych w uznanych czasopismach naukowych. Dobór i wykorzystanie w pracy źródeł literaturowych nie budzi zastrzeżeń.

Celem recenzowanej pracy była optymalizacja warunków pracy instalacji niekatalitycznej redukcji NO<sub>x</sub> w kotle rusztowym, wykorzystującej system strumienic wewnątrzkomorowych FJBS (Furnace Jet Boiler System).

O ile polityka UE i Polityka Energetyczna Polski zakłada odchodzenie od węgla jako źródła energii, o tyle w najbliższych latach wykorzystanie węgla nadal jeszcze pozostanie istotne pomimo konieczności dalszego obniżania emisji zanieczyszczeń gazowych. Podjęta przez Doktoranta tematyka badawcza jest więc aktualna i ważna w aspekcie wydłużenia pracy kotłów rusztowych przy sprostaniu limitom emisyjnym, także w perspektywie szerszego wykorzystania biomasy w ciepłownictwie, a zdefiniowany zakres tematyczny i cel pracy nie budzi zastrzeżeń.

## Ocena merytoryczna rozprawy

W rozdziale pierwszym autor zwięźle przedstawia mechanizmy powstawania oraz metody obniżania emisji  $\text{NO}_x$  w odniesieniu do kotłów energetycznych. Szczególną uwagę autor poświęca metodzie SNCR, co ma swoje uzasadnienie ze względu na prezentowaną tematykę badań.

W rozdziale drugim autor sformułował problematykę badawczą, cel pracy oraz tezy naukowe. Rozdział trzeci zawiera krótki opis obiektu badawczego, którym był kocioł rusztowy WR-25. Autor zwraca uwagę na fakt, że zmienne warunki spalania dla zmiennych obciążeń kotła wpływają na tzw. okno temperaturowe metody SNCR i dlatego system wtrysku reagenta do kotła powinien być „elastyczny” tj. dostosowywany do zmiennych warunków w komorze paleniskowej. Wyniki pomiarów temperatury w przekroju poprzecznym komory paleniskowej wykorzystano do wyboru miejsc wtrysku reagenta do kotła. Przedstawiono także ideę systemu FJBS (Furnace Jet Boiler System), pozwalającego na wykorzystanie sprężonego powietrza do wtrysku reagenta celem redukcji  $\text{NO}_x$ .

Rozdział czwarty zawiera opis modelu numerycznego wykorzystanego do odwzorowania procesu spalania w kotle rusztowym oraz procesu odazotowania spalin oraz wyniki symulacji pracy systemu FJBS. Jako osobny model wykorzystano model numeryczny przepływu przez eżektor systemu FJBS. Model ten walidowano w oparciu o pomiary rozprywu powietrza za eżektorem wykonane na stanowisku laboratoryjnym. Badania te dają pogląd na zasięg strugi wylatującej z eżektora co ma usprawnić lokalizację poszczególnych elementów wtryskowych systemu odazotowanie spalin. Symulację odazotowania spalin z wykorzystaniem systemu FJBS wykonano tylko dla iniekcji reagenta na 4 poziomie dysz, co ma związek ze wskazanym wcześniej problemem z rozkładem temperatur i osiąganą skutecznością metody przy wysokich obciążeniach kotła.

W rozdziale piątym Autor prezentuje wyniki obiektowe potwierdzające skuteczność systemu FJBS przy zmiennej mocy kotła od 25 do 29,5  $\text{MW}_t$  i osiągnięcie emisji  $\text{NO}_x$  poniżej poziomu  $180 \text{ mg/nm}^3$ . Jest to istotna część pracy gdyż prezentuje weryfikację skuteczności metody w warunkach rzeczywistych. Potwierdzono przy tym problemy eksploatacyjne jakie mogą występować przy wyższych obciążeniach kotła, czego konsekwencją jest propozycja rozbudowy instalacji o dodatkowe punkty wtrysku reagenta, a także rozbudowy o moduły katalityczne (metoda hybrydowa FJBS+). Metoda hybrydowa niesie ze sobą bardzo wysoki potencjał obniżania emisji  $\text{NO}_x$  (powyżej 90%) i jednocześnie redukcji emisji  $\text{NH}_3$  choć wiąże się jednak ze znacznie wyższymi kosztami.

Analizę możliwości optymalizacji instalacji poprzez zabudowę dodatkowych punktów iniekcji reagenta na najwyższym poziomie dysz przeprowadzono w rozdziale 6. Celem modyfikacji sposobu doprowadzenia reagenta ma być poprawa wymieszania reagenta ze spalinami, wpłynięcie na temperaturę i zmniejszenie przeslizgu amoniaku w spalinach. Autor wykazał potencjał takiej modyfikacji choć fizycznie nie została ona wykonana.

Rozpatrując punktowy wtrysk reagenta z dużą prędkością do komory paleniskowej zawsze może zachodzić ryzyko, że produkty rozkładu termicznego mocznika mogą znaleźć się w warstwie przyściennej oraz reagować z warstwą osadu na powierzchni rur ekranowych. Może to przyczyniać się do powstawania związków przyspieszających proces korozyjny. W rozdziale

siódmym poruszono problematykę zagrożenia korozyjnego w kotłach, w których zastosowano wtrysk mocznika do redukcji emisji NO<sub>x</sub>. Analizę wpływu systemu SNCR na zwiększone zagrożenie korozyjne wykonano dla innego kotła – WP-70. Przeanalizowano m. in. wpływ dozowania mocznika na obecność amoniaku w warstwie przyściennej i skład chemiczny osadów popiołowych. Przy pomocy obliczeń CFD przeanalizowano możliwość zmniejszenia zagrożenia korozyjnego przez zmniejszenie rozmiaru kropeł reagenta i ograniczenie w ten sposób jego docierania do warstwy przyściennej.

### **Uwagi redakcyjne i pytania szczegółowe dotyczące pracy**

Rozprawa została napisana starannie z dużą dbałością o jakość ilustracji prezentujących wyniki pomiarów i obliczeń. W treści pracy znaleźć można pewne drobne błędy pisarskie, jak np. powietrzy sprężonym zamiast powietrza (str. 12<sub>2</sub>), reagenta zamiast reagenta (str. 41<sub>6</sub>). To jednak nie pomniejsza ogólnego pozytywnego odbioru pracy i nie obniża jej wartości merytorycznej.

#### Uwagi szczegółowe:

- w punkcie 2.2. Autor mógł nieco bardziej precyzyjnie określić cel pracy. Ponadto bardziej precyzyjnym określeniem w pierwszym zdaniu tego będzie wtórna metoda odazotowania spalin niż odazotowanie wtórne;
- co autor miał na myśli pisząc na str. 39, że w kotle rusztowym warunki odbiegają od typowego przepływu tłokowego w kotłach pyłowych? Podobne sformułowanie Autor użył na str. 114, gdzie odnosi się do nieistniejącego Rys.4.5;
- str.43<sub>2</sub> Autor stwierdził, że w miarę wzrostu obciążenia obszar okna temperaturowego SNCR przemieszcza się wzwyż komory oraz bliżej festonu, jednak zamieszczone wyniki dotyczą jedynie jednego obciążenia 29 MW<sub>t</sub>;
- str. 43, rys. 3.3 – z czego wynika odmienny przebieg temperatury w przekroju komory paleniskowej na poziomie 2,48m, wskazujący na wysokie wartości temperatury w pobliżu ścian?
- na str. 58<sub>3</sub> Autor stwierdza, że poziom poniżej 8,5m stanowi dogodne miejsce na ulokowanie dysz reagenta, co oznaczono czarnym prostokątem na rys. 4.5. Jak ma się to do prostokątów pokazanych na rys. 4.5? W dalszej części wskazano na lokalizację punktów wtryskowych na poziomie 7,7m;
- Rys. 4.6 – opisy rysunku nie są czytelne;
- str. 117 – niefortunnie stwierdzono, że metody wtórne nie pozostają bez wpływu na ryzyko eksploatacji. Co Autor miał na myśli?
- str. 122, Rys. 7.2 – próbka A charakteryzuje się innym uziarnieniem niż pozostałe próbki, jednocześnie wskazano inny obszar analizy EDS niż dla pozostałych. Czy był to celowy zabieg aby wskazać wysoki udział chloru?
- str. 124<sub>4</sub> – w opisie zawierającym analizę wyników kontrolnego pomiaru udziału NH<sub>3</sub> w warstwie przyściennej pojawiło się urwane zdanie: Potencjalnym powodem może być również wprowadzenie... Co Autor miał na myśli?
- str. 127 – w tabeli 7.8 zawarto opis średniej średnicy jednak nie podano żadnej wartości;

- str. 129 – w przypadku testów na kotle WP-70 jest mowa o atomizacji strugi, co w oczywisty sposób wpływa na rozkład kropel w strudze i szybkość ich odparowania. Czy wyniki dotyczące wielkości kropel (rys. 7.7) dotyczą badań dyszy rozpylającej, czy są to dane producenta dyszy albo jedynie założenie przyjęte na potrzeby obliczeń? Jak problematyka rozpylania wyglądałaby w przypadku systemu FJBS (w pracy o tym nie wspomniano)?
- s.129 – do czego odnosi się zawarty w tekście opis a) i b);

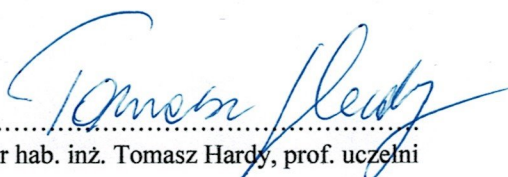
### **Wniosek końcowy**

Temat rozprawy doktorskiej oraz jej wybór nie budzi zastrzeżeń zarówno merytorycznych jak i formalnych, a tematykę pracy należy uznać za odpowiednią dla dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka i może być dopuszczona do publicznej obrony.

Praca ma kompleksowy charakter i znaczenie praktyczne. Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemu badawczego, zaproponował właściwe metody jego rozwiązania przy wykorzystaniu metod numerycznych i badań obiektowych w skali rzeczywistej, co istotnie podnosi znaczenie praktyczne rozprawy. Doktorant poprawnie przedstawił i zinterpretował uzyskane wyniki badań, potwierdzając w ten sposób umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Garbacza pt. „Optymalizacja wtórnych metod odazotowania spalin w kotłach rusztowych” spełnia wymagania wynikające z Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki.

Wnioskuje do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o dopuszczenie mgr inż. Przemysława Garbacza do publicznej obrony swojej rozprawy.

  
.....  
dr hab. inż. Tomasz Hardy, prof. uczelni