

Prof. dr hab. inż. Robert Sekret

Politechnika Częstochowska

Wydział Infrastruktury i Środowiska

Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych

42 – 201 Częstochowa, ul. J.H. Dąbrowskiego 69

E-mail: robert.sekret@pcz.pl

Częstochowa, dn. 08.12.2025 r.

Szanowny Pan

Prof. dr hab. Krzysztof Labus

Przewodniczący Rady Naukowej Dyscypliny

Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka

Politechniki Śląskiej

ul. Akademicka 2, pok. 518

44-100 Gliwice

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Pawła Boreckiego

pt. „Modyfikacja obiegu materiału cyrkulującego w wymiennikach Intrex w celu poprawy warunków pracy i umożliwienia współspalania paliw alternatywnych”

1. Wprowadzenie

Recenzja została napisana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 31 października 2025 roku nr RIE-BD.512.44.2025. Dokumentację odebrałem w dniu 05 listopada 2025 roku.

2. Ocena rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Pawła Boreckiego pt. „Modyfikacja obiegu materiału cyrkulującego w wymiennikach Intrex w celu poprawy warunków pracy i umożliwienia współspalania paliw alternatywnych” zawiera

łącznie 118 stron. Rozprawa została podzielona na 11 głównych rozdziałów i uzupełniona: zestawieniem oznaczeń, spisem rysunków, spisem tabel, bibliografią, streszczeniem w języku polskim i angielskim. We wstępie do rozprawy doktorskiej Doktorant przedstawił istotę podjętego problemu naukowego wskazując wpływ wprowadzenia paliw o znacznej zawartości chloru na korozję wysokotemperaturową powierzchni przegrzewaczy pary pracujących w środowisku o temperaturze powyżej 400°C oraz konieczność reorganizacji procesu wewnętrznej cyrkulacji pomiędzy komorą spalania a komorami wymienników Intrex. Rozdział drugi pracy to zakres, cel i teza pracy. Doktorant jako cel pracy przyjął wykonanie badań wpływu modyfikacji obiegu materiału cyrkulującego w wymiennikach Intrex na efektywność wymiany ciepła oraz możliwość zapewnienia niezmiennych parametrów przegrzewu pary w kotle CFB. Badania koncentrują się na wyeliminowaniu wewnętrznej cyrkulacji materiału warstwy fluidalnej z komory spalania do komory wymiennika Intrex. Jak założył Doktorant zmiana ta jest konieczna do realizacji procesu współspalania paliw alternatywnych w kotle CFB. Z drugiej strony zmiana organizacji procesu przepływu ziaren materiału warstwy będzie skutkować powstaniem nowych warunków cieplno-przepływowych i koniecznością dostosowania pracy kotła do nowych stanów pracy. Doktorant założył, że w tym konkretnym przypadku eliminacja wewnętrznej cyrkulacji może prowadzić do usprawnienia pracy kotła, zmniejszenia ryzyka lokalnych awarii, zmniejszenia zapotrzebowania energii na potrzeby własne oraz poprawy warunków eksploatacyjnych, przy niezmienności wymiany ciepła. W rozdziale 3 Doktorant przedstawił opis technologii fluidalnego spalania paliw w kotłach CFB podkreślając jej projektową elastyczność paliwową oraz elastyczność w zakresie generowanej mocy cieplnej. Rozdział 4 to opis obiektu badawczego, tj. kotła CFB-1300 należącego do Tauron Wytwarzanie S.A. Jest to kocioł w technologii CFB produkcji Foster Wheeler (obecnie Sumitomo SHI FW). W opisie obiektu badawczego Doktorant zawarł opis konstrukcji wymiennika Intrex oraz charakterystyczne środowisko i parametry pracy wymiennika Intrex. W rozdziale 5 Doktorant przedstawił mechanizm wymiany ciepła między warstwą fluidalną a zanurzonym w niej horyzontalnym rurowym wymiennikiem ciepła. Doktorant scharakteryzował wpływ średnicy cząstek materiału warstwy na współczynnik wymiany ciepła czy wpływ prędkości fluidyzacji na wartość współczynnika wymiany ciepła. W rozdziale 6 rozprawy doktorskiej Doktorant przedstawił stanowisko do badań w skali laboratoryjnej. Jest to model kotła CF-1300 w skali 1/10 znajdujący się w laboratorium firmy Sumitomo SHI FW w Sosnowcu.

W tej części pracy Doktorant odniósł się również do skalowania warunków przepływowych w kotle CFB, przedstawił opis zbudowanego na cele pracy doktorskiej modelu wymiennika Intrex pozwalającego na symulacje wymiany ciepła między medium przepływającym w rurkach wymiennika a materiałem złoża w pętli cyrkulacyjnej modelu kotła. W dalszej części rozdziału 6 przedstawił opis: reorganizacji procesu wewnętrznej cyrkulacji, systemu opomiarowania i rejestracji danych pomiarowych oraz metodykę pomiarów. Rozdział 7 rozprawy to opis aparatury pomiarowej, tj. charakterystyka czujników pomiarowych: temperatury, przepływu, ciśnienia, pomiaru masy próbek materiału cyrkulującego oraz określenie niepewności pomiarowej. W rozdziale 8 rozprawy doktorskiej Doktorant przedstawił model matematyczny bilansu materiału cyrkulującego z wykorzystaniem bilansu cieplnego wymiennika Intrex dla obiektu przemysłowego oraz model matematyczny bilansu materiału cyrkulującego dla stanowiska badawczego w skali laboratoryjnej. Rozdział 9 rozprawy doktorskiej to opis badań eksperymentalnych. Rozdział ten obejmuje badania zmian przepływu materiału cyrkulującego w warunkach 40% MCR, 60% MCR, 80% MCR i 100% MCR. W drugiej części rozdziału przedstawiono badania przemysłowe na obiekcie CFB-1300 pod kątem wpływu zmian prędkości fluidyzacji na zmniejszenie zapotrzebowania powietrza na potrzeby własne oceniając moc cieplną wymiennika oraz współczynnik wymiany ciepła dla wymiennika Intrex. W rozdziale 10 Doktorant przedstawił wpływ zmian obiegu materiału cyrkulującego na pracę wymiennika Intrex w kotle CFB-1300 w warunkach: 40% MCR, 60% MCR, 80% MCR, i 100% MCR. Ostatni rozdział rozprawy, rozdział 11 to podsumowanie i wnioski.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską nie wnoszę uwag do jej układu. Biorąc pod uwagę charakter rozprawy doktorskiej, tj. doktorat wdrożeniowy uważam, że struktura jest czytelna, kolejność poszczególnych jej rozdziałów jest logiczna. Praca została poprawnie przygotowana pod kątem edycyjnym. Odniesienia do informacji przedstawionych w formie graficznej i tabelarycznej zostały poprawnie ujęte w treści rozprawy. Język rozprawy, pomimo stosowania bardziej terminologii technicznej a nie naukowej, jest w pełni zrozumiały dla szerokiego grona odbiorców, tj. zarówno środowiska akademickiego, jak i branżowego. Uważam, że Doktorant nabył umiejętność poprawnej organizacji i edycji rozprawy doktorskiej.

Doktorant w tekście rozprawy wykorzystał 67 pozycji bibliograficznych, z czego 50% to publikacje z ostatnich 10 lat. Wybór źródeł literaturowych jest zgodny z podjętym do rozwiązania problemem naukowym. Cytowania źródeł literaturowych są

trafne. Bezpośrednio odnoszą się specyfiki pracy, jak również potwierdzają wyzwania dotyczące stanów ciepłno-przepływowych kotła typu CFB przy zastosowaniu paliw alternatywnych w stosunku do paliwa bazowego (projektowego), w tym biomasy. Uważam, że Doktorant wykazał się umiejętnością wykonania krytycznego przeglądu istniejącego stanu wiedzy.

W rozprawie przedstawiono badania modelowe oraz badania na obiekcie przemysłowym mające na celu ustalenie wpływu zmiany obiegu materiału cyrkulującego zasilającego komorę wymiennika Intrex na stany pracy kotła CFB na potrzeby wdrożenia na obiekcie przemysłowym zamknięcia połączenia między komorą Intrex a komorą spalania dla zastosowania miksu paliwowego biomas i paliw alternatywnych. Pomimo, iż kotły fluidalne charakteryzują się dużą elastycznością spalania różnych typów paliw, w tym paliw niskojakościowych, to dostosowanie istniejącego już kotła fluidalnego do spalania nowego paliwa wymaga jego optymalizacji celem spełnienia wymagań efektywności energetycznej, środowiskowej, ekonomicznej, w tym utrzymania wymaganej dyspozycyjności i bezawaryjnej pracy. Czasami wymaga to również korekty konstrukcyjnej komory paleniskowej, układu recyrkulacji, czy II ciągu konwekcyjnego. Uważam, że idea dostosowania istniejącego kotła fluidalnego do spalania paliw alternatywnych wychodzi naprzeciw obecnym potrzebom energetyczno-klimatycznym gospodarki i rynku energii. Świadczy to trafności wybranego problemu badawczego zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i utylitarnego. Przedstawiony cel, zakres pracy informują jednoznacznie o przyjętym kierunku pracy. Co prawda postawienie hipotezy badawczej, która jednoznacznie wskazuje rozwiązanie jest bardzo odważne bez wstępnych badań lub obserwacji. Biorąc jednak pod uwagę, że praca doktorska jest pracą wdrożeniową na istniejącej już instalacji energetycznej należy przypuszczać, że hipoteza została sformułowana w oparciu o dotychczasowe już doświadczenia z eksploatacji wybranego obiektu badawczego. Uważam, że Doktorant wykazał się umiejętnością poprawnego formułowania celu, zakresu i tezy rozprawy doktorskiej.

Doktorant w sposób czytelny scharakteryzował technologię fluidalnego spalania paliw w kotłach CFB. Opis obiektu badawczego w skali technicznej jako docelowego do wdrożenia zaproponowanego rozwiązania, jak również opis i charakterystyka modelowego stanowiska badawczego w skali laboratoryjnej są w pełni wystarczające. Doktorant dokładnie przedstawił metodykę badań, opis infrastruktury pomiarowej oraz

wykorzystane modele matematyczne. Założenia do badań są poprawne. Nie budzą one zastrzeżeń. Analizy wyników badań uzyskanych zarówno na obiekcie w skali technicznej, jak również na stanowisku laboratoryjnym są wystarczające. Pozytywnie oceniam umiejętności Doktoranta w zakresie poprawnego wyboru obiektu i metodyki badawczej dla przyjętego celu naukowego.

Należy podkreślić wymaganą staranność Doktoranta w realizacji badań eksperymentalnych. Prezentacja uzyskanych wyników jest poprawna. Nie wnoszę uwag do uzyskanych wyników badań oraz sformułowanych wniosków szczegółowych. Stopień ich szczegółowości jest wystarczający. Przedstawione przez Doktorantka podsumowanie i wnioski końcowe mogą pozostawiać mały niedosyt, gdyż są bardzo skompensowane. Z drugiej jednak strony, biorąc pod uwagę specyfikę przyjętego celu naukowego oraz profil rozprawy doktorskiej jako pracy wdrożeniowej, szersza dyskusja uzyskanych wyników badań rozmyślałaby jedynie sens naukowy i użyteczny zrealizowanych badań. Ostatecznie uzyskane wyniki oraz sformułowane wnioski udowadniają postawioną tezę pracy a postawiony cel badań został osiągnięty. Oceniając tę część pracy doktorskiej uważam, że Doktorant wykazał się umiejętnością realizacji badań zarówno w skali technicznej i laboratoryjnej, prezentacji uzyskanych wyników badań, ich analizy oraz formułowania wniosków.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską uważam, że uzyskane wyniki badań stanowią nowy stan wiedzy we wdrażaniu niskoemisyjnego spalania z wykorzystaniem pracujących już kotłów fluidalnych, tj. ich paliwowej modernizacji na potrzeby obecnych standardów energetyczno-środowiskowych. Uzyskane wyniki są wystarczające do kontynuacji dalszych prac badawczo-rozwojowych.

Uwagi dyskusyjne

1. Jak zmiana warunków pracy wymiennika Intrex będzie wpływać na wydajność cieplną kotła – wyniki wskazują, że tylko przy 100% MCR osiągnięto wzrost mocy cieplnej wymiennika Intrex a w pozostałych przypadkach (niższych MCR) uzyskano spadek?
2. Jak zmiana warunków pracy wymiennika Intrex będzie wpływać na sprawność kotła i emisje normowanych zanieczyszczeń gazowych?
3. Czy wyeliminowanie wewnętrznej cyrkulacji materiału warstwy będzie wpływać na stany ciepłno-przepływowe w dolnej części komory paleniskowej i właściwości popiołu dennego?

4. Czy zaproponowane usprawnienie jest elastyczne z punktu widzenia operacyjnego, tj. spalanie paliwa bazowego – praca kotła z wewnętrzną cyrkulacją a w przypadku spalania paliw niskojakościowych (alternatywnych) – praca kotła bez wewnętrznej cyrkulacji?
5. Doktorant wskazuje, że zaproponowane usprawnienie skutkuje oszczędnością potrzeb własnych instalacji kotłowej oraz zmniejszeniem awaryjności. Są to istotne efekty. Czy na tym etapie prac można wskazać potencjalne problemy eksploatacyjne jakie mogą wystąpić po reorganizacji pracy komory wymiennika Intrex i dolnej części komory paleniskowej?

3. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Pawła Boreckiego pt. „Modyfikacja obiegu materiału cyrkulującego w wymiennikach Intrex w celu poprawy warunków pracy i umożliwienia współspalania paliw alternatywnych” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z obszaru rozwoju niskoemisyjnych technologii energetycznych, w tym energetycznego wykorzystania paliw alternatywnych w energetyce. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska wnosi nowy stan wiedzy do dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Jako element nowości należy uznać określenie i weryfikację w skali przemysłowej cieplno-przepływowych warunków pracy wymiennika Intrex kotła CFB na potrzeby spalania paliw alternatywnych, w tym biomasy. Uważam, że rozprawa doktorska potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną mgr. inż. Pawła Boreckiego w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Jej poziom merytoryczny spełnia wymagania obecnych przepisów w tym zakresie.

Moja końcowa opinia jest pozytywna. Wobec powyższego wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Podpisał Robert Sekret