

Wrocław, 02.06.2023

Prof. dr hab. inż. Piotr Kolasiński  
Katedra Termodynamiki  
i Odnawialnych Źródeł Energii  
Politechnika Wrocławska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

**Recenzja poprawionej i uzupełnionej  
rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Arkadiusza Musiała  
pt.: „Optymalizacja parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych siłowni ORC  
zasilanej ciepłem odpadowym z procesów przemysłowych”**

Podstawą opracowania recenzji jest pismo nr RIE-BD.512.31.2023 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej, Pana prof. dr. hab. inż. Andrzeja Rusina, z dnia 24.04.2023 informujące o potrzebie przeprowadzenia ponownej recenzji uzupełnionej i poprawionej pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Arkadiusza Musiała.

Praca doktorska pt.: „Optymalizacja parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych siłowni ORC zasilanej ciepłem odpadowym z procesów przemysłowych” wykonana została przez Pana mgr. inż. Arkadiusza Musiała pod kierunkiem promotora Pana dr. hab. inż. Jacka Kaliny i promotora pomocniczego Pana dr. inż. Łukasza Antczaka w ramach programu Ministerstwa Edukacji i Nauki „Doktorat wdrożeniowy II edycja”.

Poprawiona i uzupełniona rozprawa doktorska przedstawiona została na 124 stronach. Rozprawę podzielono na spis treści, wykaz najważniejszych oznaczeń, 9 rozdziałów, wykaz cytowanej literatury i załącznik zawierający najistotniejsze fragmenty kodu opracowanego przez Doktoranta oprogramowania obliczeniowego. W pracy zamieszczono 84 rysunki, 21 tabel, i 90 pozycji literatury.

W opinii z dnia 16.01.2023 nie wskazywałem na potrzebę poprawy rozprawy i biorąc pod uwagę, że jest to ponowna recenzja dysertacji nie będę powtarzał w całości uwag, które zawarłem w recenzji poprzedniej. Analizując tekst poprawionej i uzupełnionej rozprawy oraz załączony przez Doktoranta wykaz zmian zauważyć można, że wyeliminowano część wskazanych w mojej poprzedniej recenzji błędów o charakterze merytorycznym i redakcyjnym. Wprowadzone zmiany przyczyniły się do poprawy czytelności rozprawy i ułatwienia śledzenia prowadzonego przez Doktoranta wywodu. W tekście wciąż jednak można napotkać potknięcia o charakterze redakcyjnym (błędy literowe i in.) p. np. Rozdział 8.

W rozdziale 2 Doktorant przedstawił cel i zakres pracy oraz przededefiniował, w porównaniu do wersji pierwotnej rozprawy, tezy badawcze. W obecnym brzmieniu tezy te wskazują na wdrożeniowy charakter prowadzonych prac i dotyczą opracowania konstrukcji prototypowych siłowni ORC zasilanych przemysłowym ciepłem odpadowym, kryteriów prowadzenia analizy optymalizacyjnej takich układów i opracowania narzędzia obliczeniowego przeznaczonego do wykorzystania w działaniach komercyjnych firmy Marani Sp. z o.o.

Dodano rozdział 5.4, w którym Doktorant omawia swój wkład własny w prace nad prototypami ORC. Z treści rozdziału wynika, że prace doktoranta dotyczyły m.in. prowadzenia przetargów, prac montażowych, udziału w rozruchu instalacji, analizy dokumentacji technicznej, itd. Doktorant wskazał, że głównym obszarem jego działalności było

opracowanie narzędzi obliczeniowych wspomagających rozwój projektów aplikacyjnych. Oprócz omówienia wkładu własnego w prace nad prototypami, wskazane byłoby też doprecyzowanie przez Doktoranta wkładu własnego w formułowanie modeli matematycznych, które zostały wykorzystane w opracowanym przez niego narzędziu obliczeniowym.

W treści poprawionej rozprawy zamieszczono nie ujęte w wersji wcześniejszej fragmenty kodu opracowanego przed Doktoranta oprogramowania obliczeniowego.

W rozdziale 8 Doktorant przedstawia wnioski z przeprowadzonych analiz w odniesieniu do przedstawionych w rozdziale 2 tez badawczych. Wskazuje, że w oparciu o uzyskane wyniki analizy ekonomicznej potwierdzić należy tezę 1 rozprawy dotyczącą możliwości opracowania w polskich warunkach siłowni ORC zasilanych ciepłem odpadowym, które spełniać będą kryterium opłacalności. Teza 2 rozprawy, dotycząca wyboru maksymalnej mocy elektrycznej netto układu ORC jako funkcji celu dla prowadzonej analizy optymalizacyjnej nie znalazła potwierdzenia na podstawie uzyskanych wyników. Doktorant wskazuje, że stosowanie tej funkcji celu jest zasadne jedynie w przypadku porównywania między sobą takich samych konfiguracji układów ORC. W wyniku przeprowadzonych prac Doktorant opracował narzędzie obliczeniowe w postaci oprogramowania umożliwiającego prowadzenie porównawczych analiz techniczno-ekonomicznych układów ORC o różnych konfiguracjach. Oprogramowanie to wykorzystał następnie do przeprowadzenia omawianych w pracy analiz. Udało się więc doktorantowi potwierdzić tezę 3 rozprawy dotyczącą możliwości opracowania narzędzia obliczeniowego przeznaczonego do wykorzystania w działaniach komercyjnych firmy Marani Sp. z o.o.

W recenzji z dnia 16.01.2023 wystosowałem uwagi dyskusyjne. Na część z nich znalazłem odpowiedź w poprawionej i uzupełnionej treści rozprawy. Mam jednak prośbę do Doktoranta o dodatkowe wyjaśnienia w zakresie następujących kwestii:

1. Na str. 45 w Tab. 4.7 zestawiono wyniki szacowania potencjału generowania energii elektrycznej w układach ORC przy wykorzystaniu źródeł ciepła odpadowego o różnym potencjale. Szacowanie zostało przeprowadzone dla wybranych czynników roboczych (R1234zeE, Izopentan, Cyklopentan i Toluen). Jakimi kryteriami podyktowany był wybór właśnie tych substancji? Czy wg. Autora inne czynniki robocze mogłyby również znaleźć zastosowanie w przedstawionym zakresie temperatur źródeł ciepła odpadowego?
2. Z treści pracy nie wynika w sposób czytelny jaki jest wkład autorski Doktoranta w przedstawione w pracy modele matematyczne.
3. Równanie 6.1.85 na str. 67 przedstawia wielomian opisujący moc wieży chłodzącej. Z jakiego źródła pozyskano współczynniki i stałe występujące w tym równaniu?
4. Na str. 69 w rozdziale 6.3 Autor wskazuje, że „Zakłada się płaszczowo-rurowe wymienniki ciepła pracujące w przeciwprądzie”. Czy były brane też pod uwagę inne typy wymienników ciepła o innym charakterze przepływu?
5. W rozdziale 7 przedstawiono wyniki przeprowadzonych przez Autora analiz obliczeniowych. Wyniki przedstawiono w postaci wykresów kolumnowych na rys. 7.4-7.10. W tekście rozdziału 7 brak jest jednak szczegółowego opisu i krytycznej dyskusji wyników tych analiz.
6. Na rys. 7.18-7.20 przedstawionych na str. 106 i 107 Autor prezentuje wybrane wyniki badań przeprowadzonych na prototypowym układzie Marani ORC30. Na niektórych charakterystykach pomiarowych widoczne są fluktuacje wartości mierzonych. Czym były one spowodowane?
7. W rozdziale 8 Autor przedstawia wnioski z przeprowadzonej przez siebie analizy. Jaki jest wg. Autora najważniejszy wniosek z przeprowadzonych badań?

8. Często stosowanym i przydatnym narzędziem oceny układów energetycznych jest analiza egzergetyczna. Na str. 33 Autor stwierdza, że „... sprawność egzergetyczna wydaje się być lepszym kryterium optymalizacji układów ORC.” Czy Autor próbował wykorzystywać w swoim modelu i oprogramowaniu obliczeniowym analizę egzergetyczną?

Analizując poprawioną i uzupełnioną rozprawę doktorską stwierdzam, podobnie jak w recenzji z dnia 16.01.2023, że Doktorant wykazał, że potrafi sformułować problem badawczy oraz znaleźć stosowne narzędzia do jego rozwiązania jak i przeprowadzić analizę modelową oraz optymalizację problemu.

W związku z powyższym podtrzymuję konkluzję zawartą w recenzji z dnia 16.01.2023, w której stwierdziłem, że: Na podstawie przedstawionej rozprawy doktorskiej Pan mgr inż. Arkadiusz Musiał wykazał, że potrafi wykorzystać dostępne w literaturze dane naukowe, sformułować model matematyczny i optymalizacyjny układu ORC, przeprowadzić modelowanie i analizę optymalizacyjną a następnie dyskusję i interpretację uzyskanych wyników i na ich podstawie sformułować wnioski. Przeprowadzone przez Doktoranta badania wnoszą wkład w rozwój narzędzi służących modelowaniu i optymalizacji układów ORC wykorzystujących ciepło odpadowe. Doktorant osiągnął wyniki o charakterze aplikacyjnym i wdrożeniowym.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Arkadiusza Musiała ma charakter odpowiadający wymogom tzw. doktoratów wdrożeniowych i spełnia w stopniu wystarczającym warunki określone w ustawie o stopniach i tytułach naukowych – Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – Dz. U. 2022 r., poz. 574. Na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o przyjęcie pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Arkadiusza Musiała i dopuszczenie go do publicznej obrony.

Piotr Koleniński