

Dr hab. inż. Rafał KOBYŁECKI, prof. PCz  
Politechnika Częstochowska  
Wydział Infrastruktury i Środowiska  
Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych  
42–201 Częstochowa, ul. Dąbrowskiego 73  
E-mail: [rafal.kobylecki@pcz.pl](mailto:rafal.kobylecki@pcz.pl)

Częstochowa, 2023.07.14

## Recenzja Rozprawy Doktorskiej mgr inż. Grzegorza OJCZYKA

### WPROWADZENIE

Recenzja niniejsza została napisana w odpowiedzi na pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej Dr hab. inż. Stanisława M. RYBICKIEGO, prof. PK, nr Ś0.520-509/2023/SMR z dnia 26.04.2023 oraz stosowną do niego umowę o dzieło.

### ZAKRES ROZPRAWY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza OJCZYKA nosi tytuł „Badania i modelowanie pracy kotła wielopaliwowego opalanego biomasą w postaci peletu drzewnego”. Praca jest obszerna, zawiera łącznie 170 stron formatu A4, na których rozmieszczono 23 tabele i 83 rysunki. Manuskrypt oparty jest na 229 pozycjach bibliograficznych, zarówno polsko-, jak i anglojęzycznych. Rozprawa została podzielona na 13 głównych rozdziałów, nie zawiera wykazu ważniejszych oznaczeń, jak również spisów tabel i rysunków oraz streszczeń.

Zakres rozprawy dotyczy ważnego problemu, związanego z badaniami oraz obliczeniami kotła wielopaliwowego małej mocy opalanego wstępnie przygotowaną biomasą. Badania w tym zakresie, ukierunkowane m.in. na zastąpienie paliw kopalnych tzw. odnawialnymi źródłami energii, są aktualnie szeroko rozwijane na świecie, a uwzględniając fakt, iż zużycie energii pierwotnej na cele ogrzewania stanowi w Europie około 30% strumienia energii pierwotnej, zaproponowana w pracy tematyka jest niewątpliwie aktualna, stanowiąc jeden z perspektywicznych kierunków dla realnego zastąpienia węgla.

W krótkim, niespełna półtorastronicowym wstępie do pracy Autor odniósł się do ogólnych perspektyw dla zasilania budynków w ciepło, gdzie wciąż znaczący udział mają różnego rodzaju kotły na paliwo stałe. W obszarze tym w ostatnich latach widoczny jest wzrost wymagań w zakresie efektywności energetycznej oraz redukcji emisji zanieczyszczeń do środowiska (zwłaszcza w odniesieniu do polityki energetycznej Unii Europejskiej), czego przejawem są liczne strategie i akty prawne dotyczące m.in. kotłów opalanych paliwami stałymi, które spełniać muszą coraz ostrzejsze wymogi formalne.

W rozdziale 2 Autor omówił dotychczasowy stan zagadnień związanych z kotłami małej mocy na paliwa stałe, uwzględniając aspekty prawne oraz normy.

Kolejny rozdział (trzeci) stanowi przedstawienie celu i tezy rozprawy, sformułowanej następująco: „Możliwe jest opracowanie empirycznych zależności pozwalających na

stworzenie algorytmu sterowania pracą kotła wielopaliwowego, dedykowanego do spalania ekogroszku, podczas spalania w nim peletu drzewnego”.

Rozdział 4 traktuje o paliwach stałych, ich głównych wybranych rodzajach, parametrach oraz właściwościach, jak również metodyce oznaczania parametrów istotnych z punktu widzenia spalania – podstawowego procesu dla termicznej konwersji energii chemicznej paliw tego rodzaju.

Główne techniki spalania realizowane w kotłach na paliwa stałe przedstawione i omówione zostały w rozdziale 5.

Rozdział 6 pracy poświęcony jest zagadnieniom technicznym rozwiązań konstrukcyjnych palników dla kotłów małej mocy na paliwa stałe – omówiono m.in. sposoby dostarczania powietrza do paleniska oraz palniki retortowe różnego rodzaju, w tym zastosowane przez Autora w swoich badaniach.

W kolejnym rozdziale, siódmym, przedstawiono główne problemy eksploatacyjne, które mogą objawiać się podczas spalania peletów z biomasy, takie jak szlakowanie, żużlowanie oraz zanieczyszczanie powierzchni.

Obliczenia cieplne komory paleniskowej kotła, z wykorzystaniem zaadaptowanej do tego celu metodologii CKTI, zawarto w rozdziale 8. Przedstawione zależności pozwoliły Autorowi m.in. na określenie miejsca występowania maksymalnej temperatury płomienia w komorze, a także na napisanie algorytmu obliczeniowego, pozwalającego obliczać temperaturę spalin na wylocie z komory paleniskowej badanego kotła wielopaliwowego.

Rozdział 9 rozprawy poświęcony jest przedstawieniu wykorzystanego przez Autora stanowiska badawczego. W rozdziale tym omówiono także charakterystyki pracy dwóch kotłów małej mocy oraz parametry mierzone przez Autora podczas prac eksperymentalnych. Scharakteryzowano także wykorzystany system akwizycji i archiwizacji danych.

Rozdział 10 pracy dotyczy omówienia zakresu badań eksperymentalnych, w tym wybranych aspektów pracy kotła podczas badań spalania węgla i biomasy w postaci peletu drzewnego. W tej części przedstawiono także przyjętą procedurę pomiarową (podrozdział 10.2). Końcowa część tego rozdziału (nr 10), podobnie jak cały rozdział 11 poświęcone są analizie i omówieniu uzyskanych wyników.

Wnioski z pracy zawarto w rozdziale 12, zaś rozdział 13 – ostatni – stanowi spis pozycji literaturowych wykorzystanych w recenzowanej rozprawie.

## **OCENA ROZPRAWY**

Zdaniem recenzenta tematyka pracy jest interesująca i ważna – tak z naukowego, jak i z praktycznego punktu widzenia. Obecnie niewiele jest bowiem prac poświęconych analizie przemian zachodzących podczas współprądowego spalania biomasy w kotłach z palnikami retortowymi. Wiedza ta jest istotna z punktu widzenia pilnej konieczności ograniczenia tzw. „niskiej” emisji substancji niepożądanych do środowiska z palenisk starego typu (np. zasypowych), co można osiągnąć m.in. poprzez unowocześnienie techniki spalania (z prostego układu zasypowego na retortowy) oraz zmianę paliwa z węglowego na odnawialną biomasę.

Biorąc powyższe pod uwagę, zakres badań cieplnych kotła wielopaliwowego małej mocy z automatycznym, śrubowym podajnikiem paliwa, wykonanych w ramach realizacji recenzowanej rozprawy doktorskiej, jest niewątpliwie interesujący, a wyniki uzyskane w

efekcie spalania peletu drzewnego w kotle, dla którego podstawowe paliwo stanowi ekogroszek lub miał węglowy stanowią istotne uzupełnienie dotychczasowej wiedzy praktycznej w tym zakresie, zaś opracowane przez Autora i zestawione oraz omówione w rozprawie charakterystyki cieplne dla różnych wydajności kotła stanowią cenny materiał dla poprawy eksploatacji i przyszłych modernizacji tego typu urządzeń, tak aby finalnie zapewnić realizację spalania w sposób stabilny i kontrolowalny i przy niskiej uciążliwości dla środowiska.

W oparciu o zrealizowane przez Autora ciągłe pomiary temperatury na wylocie z komory spalania oraz analizę składu spalin na wylocie z kotła opracowano odpowiedni algorytm sterowania kotłem, pozwalający na zredukowanie ładunku wyprowadzanych zanieczyszczeń z zachowaniem wysokiej sprawności kotła. Poczynione w ramach badań i omówione przez Autora wyniki pomiarów oraz obserwacje własne stanowią tym samym istotny wkład merytoryczny dla ewentualnego zaproponowania przez wytwórcę zakresu zmian konstrukcyjnych oraz propozycji modyfikacji innych kotłów – nie tylko z typoszeregu EKO PLUS.

Innowacyjnym elementem naukowym rozprawy jest niewątpliwie próba transpozycji metody CKTI – stosowanej powszechnie do obliczania cieplnego komór paleniskowych dużych kotłów energetycznych – i jej wykorzystania do obliczeń komory paleniskowej kotła małej mocy. Wynikiem obliczeń jest m.in. wartość temperatury spalin na wylocie z komory paleniskowej. Eksperymentalna weryfikacja opracowanego modelu dokonana została przez Doktoranta bezpośrednio – poprzez pomiar temperatury spalin wylotowych. Z kolei innowacyjnym elementem praktycznym jest modyfikacja konstrukcja palnika retortowego (rys. 6.8 pracy), eliminująca lub znacząco ograniczająca ryzyko obstrukcji podczas podawania paliwa przez automatyczny podajnik śrubowy. Należy podkreślić, że zarówno wnioski, opracowane w oparciu o wyniki badań, jak i zaproponowany przez Autora model matematyczny, mogą być w przyszłości uogólnione na inne jednostki kotłowe spalające biopaliwa stałe. Zarówno zaproponowana w pracy instalacja eksperymentalna, jak i zawarte w rozprawie obliczenia nie budzą zastrzeżeń i są właściwe dla realizacji podjętego celu pracy.

Na podkreślenie zasługuje, że praca wykonana jest z dużą starannością i jest bardzo ładna graficznie – szczególne uznanie budzi jakość i forma rysunków. Rozprawa napisana jest przejrzysto i podzielona na logiczne, wynikające z układu, rozdziały, a zauważone tzw. literówki w tekście nie wpływają na ogólną ocenę. Zebrane wyniki wskazują na znaczny nakład pracy poniesiony przez autora podczas badań eksperymentalnych. Lista publikacji bibliograficznych jest ponadprzeciętna i liczy aż 229 pozycji.

## **UWAGI KRYTYCZNE**

Mimo niewątpliwie dobrej jakości recenzowanej rozprawy, podczas lektury nasuwa się kilka pytań i uwag. Najważniejsze z nich to:

1. Przyjęty układ prezentacji spisu treści jest słabo czytelny, zwłaszcza w odniesieniu do głównych rozdziałów. Ponadto, w treści pracy główne rozdziały (1-13) powinny rozpoczynać się na nowych stronach. Część obejmująca wstęp i wprowadzenie Autora są również moim zdaniem za długie i szczegółowe – spokojnie można by się ograniczyć do str. 25, gdzie jasno przedstawiono cel i tezę pracy.
2. Na str. 12 autor pisze o wyselekcjonowaniu w efekcie badań własnych 19 typów różnych kotłów wielopaliwowych – szkoda, że ich nie pokazano albo chociaż krótko nie skomentowano podstawowych różnic. Ponadto tamże: nie wyjaśniono co oznacza użyte pojęcie „statystyka energii”?

3. Str. 27: mówiąc o wartościach liczbowych udziałów poszczególnych elementów analizy technicznej bądź elementarnej paliwa trzeba dodać jakiego stanu paliwa dotyczą wyniki – tej informacji niestety brak.
4. Str. 29: co Autor rozumie pod pojęciem „pirolizy konwencjonalnej”? Określenie (str. 30), że węgle posiadają „strukturę wewnętrzną typu ciecz” jest chyba nieprecyzyjne?
5. Na rys. 4.13 brak jest podania w legendzie informacji o typie węgla oraz np. czasie i temperaturze obróbki termicznej.
6. Str. 42: dlaczego przyjmuje się wilgoć higroskopijną jako 15%? Od czego ona zależy?
7. Zgazowanie zdecydowanie może być realizowane przy niższych temperaturach niż przywołane przez Autora (str. 55) 1600°C?
8. Dla rys. 5.5 brak jest pokazania schematu stanowiska, a w szczególności umieszczenia termopary T2, co moim zdaniem utrudnia analizę.
9. Rys. 5.5 i 5.7 dobrze byłoby zestawić razem co niewątpliwie ułatwiłoby analizę. Niejasny jest dla mnie też opis pod rys. 5.7 – proszę o wyjaśnienie, gdzie pokazano 10x większą prędkość spalania wiórów w porównaniu do węgla?
10. Tekst ponad równ. 8.3: chyba powinno być „od paleniska do ścian komory”?
11. Brak pokazania termicznego przepływomierza spalin na rys. 9.2.
12. Str. 119 i w innych miejscach (np. Tabela 10.2): termin ‘ppm’ piszemy małymi literami.
13. Na str. 120 (rozdz. 10.1) nie podano parametrów paliwa do spalania w kotłach.
14. Str. 125: Czy nie wygodniej byłoby zmierzyć strumień spalanego paliwa zamiast go obliczać? Brak też informacji o tym, jaka była obliczona wartość strumienia paliwa (Tabela 10.1).
15. Z czego wynikał wzrost zawartości CO w spalinach dla wyższych wydajności wentylatora (np. rys. 10.4.a)?
16. Na rys. 11.8 i w odpowiednim tekście poniżej nie wyjaśniono dlaczego zdecydowano się na ekstrapolację dla niskich i wysokich wydajności kotła.
17. Nie pokazano wyników pomiarów emisji NO<sub>x</sub>, o których pisze autor na str. 159.

Ponadto podczas lektury widoczne są także pewne niedoskonałości natury edycyjno-stylistycznej – w znakomitej większości mają one jednak charakter jedynie porządkowy i nie wpływają na ogólną pozytywną ocenę pracy. Mój komentarz w aspekcie edycji pracy to głównie:

- Pojęcie „kocioł stałopalny” użyte w wielu miejscach (np. jako tytuł rozdziału 5) jest chyba niezbyt fortunate – lepiej stosować termin: „kocioł na paliwo stałe”,
- Brak cytowania literatury w kilku miejscach, np. str. 6, 7, 12, 19, 20, 21, 22, 24, 26,
- Zamiast terminu „część lotna” w odniesieniu do wyników analizy technicznej (str. 26) – zwykle używa się pojęcia „części lotne”,
- Opis procesu suszenia (tekst pod rys. 4.10) powinien raczej się znaleźć przed opisem procesu odgazowania części lotnych,
- Str. 37: zamiast pojęcia „kinematyczny” lepiej używać „kinetyczny”,
- Wzór 4.6 nie jest tożsamy z zależnością podaną 3 linijki wyżej – czy to tzw. literówka?
- Str. 59: brak podania jednostki (linia przedostatnia),
- Str. 103: zamiast „kryształów węgla” lepiej mówić „ziaren węgla”. Zwrot „znacznie większa” jest nieprecyzyjny – należy podać konkretnie ile?
- Podpis pod rys. 6.11 jest nieprecyzyjny,
- Użyty na str. 104 termin „Roga Index” to po polsku „liczba Rogi”.

## WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza OJCZYKA p.t. „Badania i modelowanie pracy kotła wielopaliwowego opalanego biomasą w postaci peletu drzewnego” stanowi niewątpliwie oryginalny i ważny wkład w rozwiązanie problemu naukowego i praktycznego, ukierunkowanego na optymalizację procesu transportu, nagrzewania, suszenia

oraz efektywnego i niskoemisyjnego spalania biomasy w kotłach małej mocy, pierwotnie spalających węgiel. Uzyskane w efekcie realizacji recenzowanej rozprawy wyniki mogą zostać wykorzystane w praktyce przez szeroko rozumianą branżę kotłową – ich wartość użytkowa dotyczy przede wszystkim zagadnień technicznych i technologicznych przystosowania (bądź konwersji) kotłów opalanych paliwami stałymi na tzw. kotły wielopaliwowe, w których możliwe jest zastępowanie węgla różnego rodzaju biomasą wprowadzaną do kotła w formie szeroko rozumianych peletów.

W opinii końcowej chcę podkreślić złożoność i interdyscyplinarność przedstawionych w rozprawie zagadnień teoretycznych oraz złożoność i trudności techniczne badanych przez doktoranta zjawisk, spowodowaną zwłaszcza anizotropową strukturą drewna i peletów oraz możliwościami technicznymi osiągnięć badanego kotła, co niewątpliwie miało wpływ na zakres zrealizowanych badań eksperymentalnych. Mgr inż. Grzegorz OJCZYK wykazał się w powyższym zakresie dobrą wiedzą oraz umiejętnościami zarówno teoretycznymi, jak i praktycznymi. Satysfakcjonujący jest dla mnie również sposób dokonania opracowania i interpretacji wyników oraz ich dyskusji. Kompozycja rozprawy tworzy logicznie przemyślaną i spójną całość, potwierdzającą dojrzałość autora do prowadzenia badań naukowych, a jej poziom merytoryczny spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w odpowiednich przepisach i **wobec powyższego wnioskuje o jej dopuszczenie do publicznej obrony.**

Częstochowa, 2023.07.14

