



Zachodniopomorski  
Uniwersytet  
Technologiczny  
w Szczecinie

ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE

WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I MECHATRONIKI

*Kierownik Katedry Technologii Energetycznych*

*prof. dr hab. inż. Jacek ELIASZ*

*PL 70-310 Szczecin, Al. Piastów 19*

Tel. kom.: [REDAKCYJNY]

Tel: (004891) 449 42 70,

e-mail: Jacek.Eliasz@zut.edu.pl

Szczecin, dnia 02.05.2022r.

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

### nt. "BILANSOWANIE ENERGETYCZNE KOMÓR PALENISKOWYCH KOTŁÓW RUSZTOWYCH ŚREDNIEJ MOCY – EKSPERYMENTALNA WERYFIKACJA METOD OBLICZENIOWYCH"

autorstwa:

mgr inż. Łukasza RUTKOWSKIEGO

#### 1. PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA RECENZJI

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 17.02.2022 r. (patrz pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina z dnia 04.03.2022r., sygn.: RIE-BD.512.7.2022), w nawiązaniu do art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz.U. z 2020 r. poz. 85, z późn. zm.).

#### 2. PODSTAWOWE DANE O KANDYDACIE

Pan mgr inż. Łukasz Rutkowski w latach 2002 ÷ 2007 studiował na Politechnice Śląskiej na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn, gdzie w 2007 r. obronił pracę magisterską pt. „Studium możliwości przebudowy kotła OP-380 w elektrowni Siersza na kocioł z cyrkulacyjną warstwą fluidalną”. Po ukończeniu studiów magisterskich w latach 2007 ÷ 2010 pracował w firmie RAFAKO na stanowisku projektanta. Od stycznia 2011 roku do chwili obecnej pracuje w Fabryce Kotłów SEFAKO S.A., także na stanowisku projektanta.

Z przesłanej recenzentowi dokumentacji nie wynika, aby Pan mgr inż. Łukasz Rutkowski ubiegał się wcześniej o nadanie stopnia naukowego doktora na jakiegokolwiek innej uczelni lub jednostce naukowo-badawczej, posiadającej uprawnienia do nadawania stopnia naukowego doktora.

#### 3. OCENA STRUKTURY I ZAWARTOŚCI ROZPRAWY

Rozprawa liczy 163 strony, w tym 16 stron spisu literatury (229 pozycji), zawiera 72 rysunki i 29 tabel. Rozprawa składa się z 9 rozdziałów głównych, podzielonych na podrozdziały i zawiera streszczenie w języku polski i angielskim.

Rozdział 1 zawiera krótką charakterystykę stanu wiedzy oraz sformułowanie problemu badawczego.

W rozdziale 2 autor przedstawił cele i tezy pracy wraz z odniesieniem się do występujących elementów nowości naukowej.

Rozdział 3 zawiera krótką informację o normach i dyrektywach unijnych, których wymagania są obowiązujące w fazach projektowania i eksploatacji kotłów energetycznych w Polsce.

W rozdziale 4 autor dokonał przeglądu literatury odniesionego do sformułowanego problemu badawczego. Liczba i dobór zastosowanego piśmiennictwa są odpowiednie w stosunku do rozpatrywanych zagadnień naukowo-badawczych oraz przyjętego zakresu tematycznego rozprawy.

Rozdział 5 zawiera podstawowe informacje o budowie kotłów rusztowych.

Rozdział 6 to krótki opis techniczny wraz opisem danych eksploatacyjno-pomiarowych i uproszczonym bilansem cieplnym dla kotłów WR 10 i WR 40, będących podstawą analiz w ramach rozprawy doktorskiej.

Rozdział 7 jest objętościowo największy (liczy 84 strony) i poświęcony jest przyjętej przez autora metodyce analityczno-eksperymentalnej w zakresie obliczania parametrów komory paleniskowej kotłów rusztowych, poprzez określenie temperatury na jej wylocie. Rozdział ten zawiera także opis aparatu obliczeniowego oraz analizę i ocenę następujących metod obliczeniowych:

- metoda teoretyczna, wykorzystująca podstawowe prawa fizyczne,
- metoda Orroka i Hudsona,
- metoda Wohlenberg'a,
- metoda Zinzen'a,
- metoda Ledinegg'a,
- metoda Konakowa i jej pochodne,
- metoda normatywna (tzw. CKTI) wraz z jej rozwinięciami opracowanymi odpowiednio przez A. G. Blokh'a i I.E. Dubovsky'ego oraz Y. Zhang'a.

W ostatnim podrozdziale (7.4) autor opisał zastosowane w analizie numerycznej modele (CFD) oraz przedstawił uzyskane przy ich wykorzystaniu wyniki analizy numerycznej dla kotłów WR 10 i WR 40.

Rozdział 8 zawiera interpretację uzyskanych wyników obliczeń oraz analizę porównawczą wyników symulacji dla dwóch wariantów pracy kotła WR 40 i czterech wariantów pracy kotła WR 10. Analiza uzyskanych wyników uwzględnia wpływ poziomu obciążenia kotła oraz przyjętej metody obliczeniowej na wyznaczoną wartość temperatury na wylocie z komory paleniskowej.

Rozdział 9 to podsumowanie pracy, zawierające wnioski końcowe oraz perspektywy prowadzenia dalszych prac.

Na końcu opracowania (strony 157 ÷ 163) umieszczony został załącznik nr 1 zawierający opis metody służącej do określenia obciążenia cieplnego ścian komory paleniskowej.

Struktura pracy jest generalnie właściwa w stosunku do założonego celu opracowania. Kolejność przedstawianych rozdziałów nie budzi większych zastrzeżeń. Aczkolwiek pozycje spisu treści „Literatura” i „Załącznik 1.” nie powinny być traktowane jako numerowane rozdziały pracy doktorskiej.

Brak istotnych zastrzeżeń co do formy językowej i stylistycznej opracowania. Zastosowana terminologia jest w większości poprawna i zgodna z przyjętymi standardami w zakresie energetyki oraz teorii kotłów ciepłych. Uwagi o charakterze leksykalnym umieszczono w rozdziale 6 recenzji.

Zamieszczone w opracowaniu tabele, rysunki oraz wykresy są przejrzyste, i odzwierciedlają w sposób poprawny przedstawione treści merytoryczne.

Objętość rozprawy jest właściwa w odniesieniu do przyjętego zakresu tematycznego oraz formy prezentacji rozpatrywanych zagadnień.

#### **4. OCENA WYBORU PROBLEMATYKI BADAWCZEJ I CELU PRACY**

Problematyka rozprawy związana jest z nadal aktualnymi zagadnieniami dotyczącymi modelowania procesów zachodzących w kotłach energetycznych oraz ich projektowania ze szczególnym uwzględnieniem ciągle wzrastających wymagań emisyjnych dla obszaru energetyki zawodowej. Podjęta w opracowaniu tematyka jest również niezwykle ważna z punktu widzenia dostosowania konstrukcji eksploatowanych od wielu dziesięcioleci kotłów energetycznych do aktualnie obowiązujących wymagań z zakresie efektywności energetycznej oraz poziomu emisyjności, a także opracowania zaawansowanych metod oceny i nadzoru procesów projektowych w obszarze kotłów wodnych.

Zakres tematyczny opracowania ujmuje istotne zagadnienia naukowo-badawcze zmierzające do oceny możliwości zastosowania eksperymentalnej weryfikacji metod obliczeniowych stosowanych w projektowaniu i bilansie energetycznym dużych kotłów energetycznych dla obszaru mniejszych kotłów rusztowych średniej mocy.

Z punktu widzenia poznawczego i aplikacyjnego, oceniany materiał stanowi oryginalny i kompleksowy zbiór zasad i wytycznych w procesie projektowania komór paleniskowych kotłów rusztowych średniej mocy. Opracowanie jest również aktualne z punktu widzenia dokonania przeglądu oraz identyfikacji istotnych założeń normatywnych, modelowo-projektowych i narzędzi symulacyjnych, a także opisów metodologicznych i wyników analiz dla różnych metod służących wyznaczaniu temperatury spalin na wylocie z komory paleniskowej.

W rozdziale 2 na stronach 11 i 12 Doktorant sformułował następujące tezy badawcze:

- *Metody obliczeniowe komór paleniskowych dużych kotłów energetycznych mogą być z sukcesem stosowane dla mniejszych jednostek rusztowych pomimo różnic konstrukcyjnych. Zasadne jest dokonanie ich porównania oraz oceny wyników obliczeń;*

- *Opracowana w przeciągu ostatniego stulecia metodologia wyznaczania temperatury na wylocie z kotła jest w dalszym stopniu użyteczna dla nowoczesnych jednostek kotłowych wodnych, które z powodów ochrony środowiska są często wyposażane w dodatkowe instalacje, nieznanne w czasie opracowywania poszczególnych metod;*
- *Nowoczesne konstrukcje kotłów wodnych w technologii ścian szczelnych cechują się podobnymi własnościami geometrycznymi jak kotły parowe i tym samym metody obliczeniowe są tożsame;*
- *Kotły wodne rusztowe mogą być obliczane z wykorzystaniem tych samych metod i zależności co kotły parowe.*

Dla uzasadnienia ww. tez autor opracowania zdefiniował i zrealizował następujące cele:

- *przeprowadzenie przeglądu literatury dotyczącej obliczeń cieplnych komór paleniskowych kotłów i wyznaczania temperatury na ich wylocie,*
- *opracowanie wyników z badań gwarancyjnych wybranych kotłów oraz stworzenie bazy do weryfikacji metod obliczeniowych,*
- *przeprowadzenie obliczeń wybranych kotłów w oparciu o analizowane metodologie,*
- *przeprowadzenie symulacji numerycznej procesu wymiany ciepła w wybranych kotłach oraz opracowanie wyników,*
- *weryfikacja modeli analitycznych w oparciu o wyniki badań gwarancyjnych kotłów rzeczywistych oraz analizę numeryczną,*
- *sformułowanie wniosków ogólnych i szczegółowych.*

**Podsumowując stwierdzam, że podjęta przez Doktoranta tematyka badawcza jest aktualna i ważna w aspekcie możliwości znalezienia optymalnych rozwiązań dla ujednoczenia i optymalizacji procesów modelowania wymiany ciepła oraz projektowania kotłów rusztowych średniej mocy przy uwzględnieniu aktualnych wymagań emisyjnych, a także weryfikacji możliwości zastosowania metod obliczeniowych stosowanych w obszarze komór paleniskowych dużych kotłów energetycznych dla mniejszych kotłów wodnych. Przyjęty zakres tematyczny pracy, zdefiniowane tezy oraz przyjęte cele nie budzą większych zastrzeżeń.**

## **5. ANALIZA I OCENA ROZPRAWY**

Poddana ocenie rozprawa doktorska ma charakter teoretyczno-empiryczny. Cechuje ją wystarczający poziom merytoryczny zarówno w odniesieniu do zastosowanego warsztatu naukowego, jak i do aktualnego stanu wiedzy oraz techniki w rozpatrywanym obszarze zagadnień naukowo-badawczych. Przyjęte i zastosowane analityczno-symulacyjne metody

badawcze są wystarczające zarówno w aspekcie rozpatrywanego problemu badawczego, jak i charakteru opracowania jakim jest rozprawa doktorska.

Z punktu widzenia praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań praca ta wychodzi naprzeciw potrzebom zarówno pracowników akademickich, jak również specjalistów z zakresu projektowania kotłów energetycznych. Treści w niej zawarte stanowią uniwersalny zbiór wytycznych i zasad postępowania przy projektowaniu kotłów średniej mocy opartych o metody obliczeniowe stosowane w obszarze kotłów dużej mocy. Praca zawiera szereg istotnych przykładów zastosowania różnych metod obliczeniowych komór paleniskowych. Na szczególne podkreślenie zasługuje tutaj nowatorskie podejście Autora, polegające na zastosowaniu wieloparametrowej analizy porównawczej wpływu rodzaju przyjętej metody obliczeniowej na wartość wyznaczanej temperatury spalin na wylocie z komory paleniskowej, przy uwzględnieniu różnych typów pracy poddanych analizie kotłów WR 10 i WR 40. Jest to niezwykle ważne zarówno w aspekcie standaryzacji działań projektowych, jak i możliwości weryfikacji i walidacji uzyskanych wyników działań projektowych.

Do najważniejszych osiągnięć recenzowanej rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Łukasza Rutkowskiego zaliczyć należy:

- kompleksową analizę i ocenę szeregu metod służących do wyznaczania temperatury spalin na wylocie z komory paleniskowej wraz z obszernym opisem stosowanego aparatu matematyczno-analitycznego,
- opracowanie autorskiego algorytmu obliczeń cieplnych dla kotła wodnego,
- autorskie, innowacyjne opracowanie i praktyczne zastosowanie modelu obliczeniowego służącego do określenia obciążenia cieplnego ścian komory paleniskowej,
- autorskie zastosowanie analizy numerycznej i uzyskanie przy jej pomocy oryginalnych wyników symulacji pól temperatur oraz obciążenia cieplnego ścian komory paleniskowej dla dwóch trybów pracy kotła WR 40 i 6 trybów pracy kotła WR 10,
- przeprowadzenie kompleksowej, wieloparametrowej analizy porównawczej wyznaczonych temperatur spalin na wylocie z komory paleniskowej dla dwóch trybów pracy kotła WR 40 i 6 trybów pracy kotła WR 10,
- uzyskanie unikatowych wyników obliczeń pozwalających na określenie wpływu obciążenia (trybu pracy) kotła na wartość temperatur spalin na wylocie z komory paleniskowej dla kotła WR 40 i kotła WR 10,
- uzyskanie unikatowych wyników obliczeń pozwalających na określenie wpływu przyjętej metody obliczeniowej (analizowano wpływ 14 metod obliczeniowych) na wartość temperatur spalin na wylocie z komory paleniskowej dla kotła WR 40 i kotła WR 10, wraz z porównaniem wartości temperatury wynikającej z bilansu cieplnego oraz z pomiaru.

Wyniki badań przeprowadzonych przez Doktoranta i zamieszczonych w rozprawie w sposób jednoznaczny wskazują na udowodnienie wszystkich przyjętych tez.

Przeprowadzona przez Doktoranta teoretyczno-eksperymentalna weryfikacja metod obliczeniowych w zakresie bilansowania energetycznego komór paleniskowych kotłów rusztowych średniej mocy, wraz z potwierdzeniem możliwości zastosowania w ich obszarze metod obliczeniowych stosowanych w obszarze komór paleniskowych dużych kotłów energetycznych stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Doktorant potrafi formułować problemy naukowe, planować i oceniać wyniki badań oraz stosować autorskie narzędzia symulacyjne i metody analityczne. Tym samym Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Przyjęte cele naukowe rozprawy zostały osiągnięte. W mojej ocenie rozprawa doktorska Pana mgr inż. Łukasza Rutkowskiego spełnia wymagania stawiane pracy doktorskiej.

## 6. UWAGI O CHARAKTERZE KRYTYCZNYM ORAZ DYSKUSYJNYM

- a). Rozdział 1.1 „Sformułowanie problemu”: W rozdziale tym jest mowa o dużych kotłach energetycznych parowych. Jakie kryterium przyjęto tutaj, aby dany kocioł był traktowany jako tzw. „duży”?
- b). Rozdział 3 „Normy i dyrektywy dotyczące projektowania i eksploatacji kotłów obowiązujące w Polsce”: Rozdział ten ma bardzo ogólnikowy charakter i nie uwzględnia wymagań takich norm europejskich jak np. EN 14222, czy też EN 45510 (-1, -3). Cennym uzupełnieniem tego rozdziału byłoby też przeanalizowanie norm i standardów obowiązujących np. w Niemczech i Rosji.
- c). Rozdział 4 „Przegląd literatury”: Na końcu tego rozdziału brak jest podsumowujących wniosków końcowych z przeglądu literatury, w tym w szczególności odnoszących się do istnienia tzw. „luki badawczej”, uzasadniającej konieczność podjęcia prac naukowo-badawczych, będących przedmiotem rozprawy;
- d). Rozdział 5 „Kotły rusztowe. Budowa i podstawowe informacje”: Rozdział ten nie wnosi nic nowego do rozpatrywanego przedmiotu badań. Stanowi on powielenie ogólnie znanych informacji o kotłach rusztowych.
- e). Rozdział 6.2 „Dane pomiarowe”: Zarówno w przypadku kotła WR 10, jak i WR 40 mowa jest o tym, że pomiary dla każdego z tych kotłów wykonano w dwóch dniach. Z punktu widzenia uproszczonej analizy statystycznej wymagane byłoby posiadanie wyników pomiarów z przynajmniej 3 dni.
- f). Rozdział 6.2.1.3 „Analiza wyników pomiarów kotła WR 40”: Rozdział ten ma bardzo ogólnikowy i lakoniczny charakter (1/4 strony). Brak jest jednoznacznego opisu wykorzystywanych środków / systemów kontrolno-pomiarowych. Brak jest jakiegokolwiek

oceny metrologicznej uzyskanych wyników pomiarów, w szczególności informacji o dokładności i niepewności uzyskanych wartości pomiarowych. Brak jakiegokolwiek analizy jakościowej i ilościowej prezentowanych danych pomiarowych.

g). Rozdział 6.2.2.3 „Analiza wyników pomiarów kotła WR 10”: Uwagi jak powyżej.

h). Rozdział 6.3 „Badanie modeli”: Rozdział ten składa się z 4 wierszy tekstu i dwóch rysunków. Brak jakiegokolwiek szerszego opisu dotyczącego wyznaczania składowych bilansu, czy też odniesienia się do ich wartości. Brak jakiegokolwiek informacji przy pomocy jakiego narzędzia wyznaczono składowe bilansu.

i). Rozdział 8 „Analiza i interpretacja wyników obliczeniowych”: Cennym uzupełnieniem tego rozdziału byłoby przeprowadzenie uproszczonej analizy statystycznej uzyskanych wyników obliczeniowych wraz z analizą wrażliwości odniesioną do wpływu obciążenia kotła oraz wpływu doboru danej metody obliczeniowej na wartość temperatury spalin na wylocie z komory paleniskowej.

j). Rozdział 9 „Podsumowanie i wnioski końcowe”: Zawarte w tym rozdziale wnioski końcowe powinny mieć bardziej jednoznaczną formę z podziałem na wnioski szczegółowe i ogólne, wraz z odniesieniem do postawionych tez i celów zdefiniowanych w rozdziale 2 pracy;

k). Strona 13: jest „zapisy normowe”, powinno być „wymagania norm”;

l). Strona 13: jest „a także deklarację zgodności”, powinno być „wymagania w zakresie sporządzania deklaracji zgodności”.

## 7. WNIOSEK KOŃCOWY

**W wyniku dokonanej analizy i pozytywnej oceny stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Łukasza Rutkowskiego pt. „*Bilansowanie energetyczne komór paleniskowych kotłów rusztowych średniej mocy – eksperymentalna weryfikacja metod obliczeniowych*” spełnia aktualne wymagania ustawowe stawiane pracom doktorskim.**

**Tematyka jest zgodna z dyscypliną naukową „Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka”. Może być zatem dopuszczona do publicznej obrony.**

WIECZNIK  
Katedry Techniki Energetycznych  
  
prof. dr hab. inż. Jacek Eliaz

.....  
prof. dr hab. inż. Jacek ELIASZ