

WPLYNĘŁO DNIA	
10.03.2022	data
Kierownik administracyjny	
nr pisma	Wydział Podpis

Kraków, 01.03.2022 r.

*mgr Kamila Czerniak*

Dr hab. inż. Paweł Ocoń, prof. PK  
Katedra Energetyki,  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Politechnika Krakowska

### **Recenzja pracy doktorskiej**

*Analiza możliwości poprawy procesu spalania paliw stałych w kotłach małej mocy  
przy wykorzystaniu pary wodnej*

autorstwa mgr inż. Bartosza Ciupka

Promotor pracy: dr hab. inż. Rafał Urbaniak

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Damian Joachimiak

#### **1. Podstawa prawna**

- a) Pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej z dnia 20 grudnia 2021 roku
- b) Umowa o dzieło nr 0600/2021/332 polegająca na opracowaniu opinii rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartosza Ciupka pt. „Analiza możliwości poprawy procesu spalania paliw stałych w kotłach małej mocy przy wykorzystaniu pary wodnej”

#### **2. Charakterystyka rozprawy doktorskiej**

Praca liczy 230 stron oraz 12 rozdziałów. Przygotowana została w formie autoreferatu zatytułowanego: *Analiza możliwości poprawy procesu spalania paliw stałych w kotłach małej mocy przy wykorzystaniu pary wodnej*

W rozdziale 1 doktorant zaprezentował podstawowe dane o sobie, aktualnym zatrudnieniu pełnione stanowisko oraz obszar zainteresowań naukowych. W obszarze zainteresowań naukowych doktorant wskazał zainteresowanie projektowaniem urządzeń energetycznych w szczególności kotłów grzewczych niskotemperaturowych. Ponadto wskazał zainteresowanie realizacją badań eksperymentalnych w obszarze budowy i eksploatacji maszyn. Również zainteresowaniem doktoranta jest modelowanie i badanie procesu spalania paliw stałych.

Dodatkowo zainteresowaniem doktoranta jest analiza zanieczyszczenia powietrza w aspekcie spalania paliw stałych co było przedmiotem zrealizowanej pracy doktorskiej.

W rozdziale 2 doktorant przedstawił posiadane dyplomy oraz tytuły zawodowe i wskazał odbyte szkolenia. Potwierdzeniem posiadanych dotychczas tytułów zawodowych są dyplomy zamieszczone w załączniku nr 1 pracy doktorskiej, natomiast potwierdzeniem odbytych szkoleń są certyfikaty i zaświadczenia zamieszczone w załączniku nr 5 pracy doktorskiej.

W rozdziale 3 doktorant przedstawił informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych. Doktorant od roku 2018 zatrudniony był w Politechnice Poznańskiej, na początku na stanowisku starszego referenta naukowo – technicznego zatrudnionego do realizacji grantu naukowego finansowanego przez NCBR zatytułowanego: „Niskoemisyjny kocioł grzewczy na paliwa stałe z możliwością wykorzystania energii odpadowej” doktorant był głównym wykonawcą tego grantu. Od roku 2019 doktorant zatrudniony jest na stanowisku Asystenta w Instytucie Energetyki Ciepłej ponadto pełni funkcję opiekuna Laboratorium Procesów Konwersji Energii

W rozdziale 4 podrozdziale 4.1 doktorant wskazał osiągnięcie naukowe zatytułowane: Analiza możliwości poprawy procesu spalania paliw stałych w kotłach małej mocy przy wykorzystaniu pary wodnej na która składa się 12 wybranych publikacji z czego 7 z nich wyróżnionych jest w Journal Citation Reports indeksowane w Web of Science, jedna z publikacji opublikowana została w recenzowanych materiałach konferencyjnych indeksowane w Web of Science oraz 4 publikacje w recenzowanych czasopismach naukowych wyszczególnione na liście B wykazu czasopism opublikowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (obecnie Ministerstwo Edukacji i Nauki) zaprezentowane w podrozdziale 4.2. W większości przedstawionych do oceny publikacji doktorant ma wysoki udział własny w ich powstaniu, w przypadku 4 publikacji doktorant jest jedynym autorem. Publikacje wraz z oświadczeniami o wkładzie w powstaniu poszczególnej publikacji zamieszczono w załączniku nr 2 pracy doktorskiej. Ponadto zamieszczono informację o zamieszczeniu w załączniku nr 3 spisu literatury wykorzystanej do przygotowania pracy doktorskiej. W podrozdziale 4.3 doktorant przedstawił streszczenie pracy doktorskiej w języku polskim i angielskim.

W rozdziale 5 doktorant przedstawił uzasadnienie podjętej tematyki pracy doktorskiej oraz wprowadzenie do pracy doktorskiej. Główną ideą podjętej pracy doktorskiej była chęć zbadania wpływu pary wodnej doprowadzonej do procesu spalania na skład chemiczny spalin i określenie poprzez badania eksperymentalne tego czy doprowadzenie pary wodnej do procesu

spalania paliwa stałego wpływa na ograniczenie ilości emitowanych substancji szkodliwych. We wprowadzeniu doktorant zaprezentował podział poszczególnych zagadnień badawczych które zostały zrealizowane na udział danego zagadnienia w przedstawionych do oceny w podrozdziale 4.2 publikacji naukowych. W sposób syntetyczny doktorant przedstawił w prowadzeniu przekrój zrealizowanych badań, podstawy teoretyczne zrealizowanych badań, metod badawczych oraz opisu stanowiska badawczego wraz z użytą aparaturą badawczą oraz efektów zrealizowanych badań. Głównym efektem zrealizowanych badań było zmniejszenie ilości emitowanych tlenków azotu oraz pyłów z procesu spalania paliwa stałego przy jednoczesnym doprowadzeniu pary wodnej do procesu spalania.

W rozdziale 6 doktorant przedstawił w podrozdziale 6.1 główny problem badawczy który określono jako: „Głównym problemem badawczym jest zbadanie wpływu doprowadzonej pary wodnej do procesu spalania kotła grzewczego zasilanego paliwem stałym na poziom emitowanych substancji szkodliwych”. W podrozdziale 6.2 doktorant postawił tezę badawczą która brzmi: Doprowadzenie pary wodnej do procesu spalania zachodzącego w kotle grzewczym na paliwo stałe może prowadzić do jego zmiany, a przez to do redukcji powstających w trakcie spalania substancji szkodliwych, szczególnie pyłów”. W podrozdziale 6.3 doktorant przedstawił zadania badawcze które zostały zrealizowane w pracy doktorskiej, w celu udowodnienia tezy doktorant wykonał pięć zadań badawczych: 1. Opracowanie metody badawczej oraz metody wytwarzania i dostarczania pary wodnej do komory spalania i dopalania kotła grzewczego, 2. Opracowanie stanowiska i układu badawczego, 3. Zbadanie wpływu doprowadzenia pary wodnej do komory spalania i komory dopalania kotłów grzewczych na paliwa stałe na jakość procesu spalania, 4. Określenie parametrów granicznych, dla których zasadne jest zastosowanie układu doprowadzania pary wodnej do procesu spalania paliwa stałego w kotle grzewczym, 5. Opracowanie algorytmu postępowania dla układu: kocioł grzewczy na paliwa stałe wraz z doprowadzeniem pary wodnej do procesu spalania.

W rozdziale 7 doktorant scharakteryzował metody badawcze wykorzystane do realizacji rozprawy doktorskiej, zaprezentowano w podrozdziale 7.1 obiekty badawcze na których doktorant wykonał badania oraz scharakteryzowano ich parametry techniczne, ponadto pokazano obszerny program zrealizowanych badań który składał się z 16 cykli pomiarowych. W podrozdziale 7.2 zaprezentowano opis stanowiska badawczego i użytej w badaniach aparatury pomiarowej. W podrozdziale 7.3 pokazano parametry techniczne paliwa użytego do badań na podstawie zrealizowanych przez doktoranta badań laboratoryjnych. W podrozdziale 7.4 doktorant przedstawił obszerną metodę obliczania naczynia ciśnieniowego użytego w

badaniach zaprojektowanego i wykonanego przez doktoranta obiektu w postaci wytwornicy pary wodnej ponadto dołączono pełną metodę obliczeniową z wynikami obliczeń oraz rysunek wykonawczy naczynia ciśnieniowego.

W rozdziale 8 doktorant przedstawił w sposób obszerny wyniki badań zrealizowanych w ramach pracy doktorskiej. Prezentacja wyników została podzielona na dwa etapy: badania na kotle grzewczym małej mocy na paliwa stałe o standardowej budowie oraz kotle z dodatkową parową komorą dopalania. Wyniki badań zostały przedstawione tabelarycznie i graficznie dla cykli badawczych podanych w podrozdziale 7.1 pracy doktorskiej. Efektem zrealizowanych badań i innowacyjnością otrzymaną z pracy doktorskiej było udowodnienie, że doprowadzenia pary wodnej do procesu spalania paliwa stałego w kotle niskotemperaturowym wpływa na obniżenie emisji tlenków azotu i pyłu do poziomu wymaganego przez aktualnie obowiązujące w Polsce i Europie przepisy prawne. Ponadto doktorant przygotował jako główny efekt pracy algorytm postępowania dla układu kocioł grzewczy i wytwornica pary do celu poprawy parametrów emisyjnych kotła w czasie pracy w warunkach rzeczywistej eksploatacji kotła. Algorytm ten może mieć zastosowanie w dedykowanych i precyzyjnych układach sterowania pracy kotła grzewczego.

W rozdziale 9 doktorant przedstawił wnioski końcowe płynące z zrealizowanej pracy doktorskiej. Doktorant pokrótce odniósł się do podstaw teoretycznych zrealizowanych analiz i badań, następnie scharakteryzowano otrzymane w badaniach wyniki, w kolejnym kroku doktorant przedstawił dalsze przesłanki do realizacji badań naukowych w zaprezentowanym w pracy doktorskiej zakresie badawczym oraz w ostatnim kroku doktorant przedstawił finalne podsumowanie pracy doktorskiej o treści: „Prezentowane w ramach rozprawy doktorskiej wyniki analizy możliwości poprawy procesu spalania paliw stałych w kotłach małej mocy przy wykorzystaniu pary wodnej pozwoliły na opracowanie algorytmu, który pozwala na zaprojektowanie efektywnego systemu doprowadzenia dodatkowego czynnika termodynamicznego (pary wodnej) do procesu spalania, do celu jego poprawy, co udowadnia postawioną tezę naukową”. Efektem zrealizowanych badań eksperymentalnych w pracy doktorskiej było potwierdzenie postawionej przez doktoranta tezy badawczej.

W rozdziale 10 doktorant przedstawił syntetyczne ujęcie wkładu w rozwój dyscypliny naukowej: budowa i eksploatacja maszyn – inżynieria mechaniczna. Syntezując doktorant pokazał, że realizacja pracy doktorskiej umożliwiła: 1. zaprojektowanie maszyny do wytwarzania pary wodnej zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa, 2. zbudowanie stanowiska badawczego wraz z modelem wytwornicy pary wodnej dostosowanej do użytku

domowego, do celu realizacji badań eksperymentalnych, 3. wykonanie badań eksperymentalnych dla kotła o standardowej budowie (najczęściej stosowany w gospodarstwach domowych) dla pracy bez i z dostarczoną parą wodną, 4. wykonanie badań eksperymentalnych dla kotła o nowoczesnej budowie (z zaimplementowaną dodatkową komorą dopalania) dla pracy bez i z dostarczoną parą wodną, 5. wykonanie analizy otrzymanych wyników pod kątem znalezienia optymalnej konfiguracji pracy oraz konstrukcji kotła grzewczego z doprowadzeniem pary wodnej pod kątem obniżenia ilości emitowanych substancji szkodliwych, 6. opracowanie modelu (algorytmu postępowania) do celu ograniczenia ilości emitowanych substancji szkodliwych z wykorzystaniem dostępnych urządzeń pomiarowych oraz pary wodnej dodanej do procesu spalania.

W rozdziale 11 doktorant omówił pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze. W podrozdziale 11.1 przedstawił współpracę z dwoma przedsiębiorstwami w realizacji badań naukowych z zakresu kotłów grzewczych na paliwa stałe w ramach zleceń zewnętrznych, czego efektem było opublikowanie dwóch artykułów naukowych opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych. Ponadto zasygnalizowano, że w załączniku nr 4 zaprezentowano publikacje naukowe doktoranta nie wchodzące w skład pracy doktorskiej. W podrozdziale 11.2 doktorant zaprezentował zgłoszenia patentowe których jest autorem bądź współautorem. Zamieszczono informacje o 4 zgłoszeniach patentowych, kopie potwierdzające zgłoszenia zamieszczono z załączniku nr 5. W podrozdziale doktorant przedstawił spis projektów naukowych w których brał udział. Doktorant pełnił w nich funkcję kierownika bądź głównego wykonawcy. W skład zrealizowanych projektów badawczych wchodzi: 12 projektów badawczych finansowanych z źródeł zewnętrznych, 4 projekty finansowane z środków statutowych Politechniki Poznańskiej oraz jeden grant naukowy finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Kopie kart tematów prac badawczych i zaświadczenia o udziale doktoranta w projektach zamieszczono w załączniku nr 5. W podrozdziale 11.4 doktorant przedstawił otrzymane nagrody i wyróżnienia oraz pełnione funkcje. W roku 2021 doktorant otrzymał List Gratulacyjny dla wyróżniającego się nauczyciela akademickiego z rąk Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki. W roku 2021 otrzymał Nagrodę Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia dydaktyczne uzyskane w roku poprzedzającym. Od 2020 r. jest opiekunem Laboratorium Procesów Konwersji Energii. Ponadto doktorant zaznaczył swój duży wkład w rozwój realizowanych prac badawczych w Instytucie energetyki Ciepłej poprzez stałą współpracę z obszarem gospodarczym. Kopie potwierdzające otrzymane wyróżnienia zamieszczono w załączniku nr 5

pracy doktorskiej. W podrozdziale 11.5 doktorant przedstawił swoje osiągnięcia dydaktyczne i organizacyjne w pracy zawodowej w Instytucie energetyki Ciepłej, Politechniki Poznańskiej.

W rozdziale 12 doktorant przedstawił zbiorcze zestawienie osiągnięć naukowych. Do oceny przyjęto model wykorzystywany podczas ewaluacji jednostek naukowych. Dorobek podzielono na dwa okresy związane z obowiązywaniem aktualnych list czasopism punktowanych przez MNiSW, ponadto dorobek podzielono na główne dokonanie naukowe oraz dodatkowe osiągnięcia naukowe. Sumaryczny Impact Factor uzyskany przez doktoranta w okresie realizacji pracy doktorskiej to 18,521 pkt. Index Hirscha według bazy Web of Science doktoranta to 4, dla bazy naukowej Scopus to 3 a bazy Google Scholar to 4. Sumaryczna liczba punktów MNiSW uzyskana przez doktoranta to 1043 pkt. Z udziałem własnym doktoranta to: 585,48 pkt.

Po rozdziale 12 przedstawiono syntetyczną wersję pracy doktorskiej w języku angielskim. Następnie zamieszczono załącznik 1 z kopią dyplomu uzyskania tytułu zawodowego magistra inżyniera. W załączniku 2 zamieszczono kopie publikacji naukowych wraz z oświadczeniami autorów stanowiące osiągnięcie naukowe. W załączniku nr 3 zamieszczono spis głównej literatury wykorzystanej w przygotowaniu pracy doktorskiej. W załączniku 4 przedstawiono spis publikacji niewchodzących w skład rozprawy doktorskiej. W załączniku nr 5 zamieszczono kopie certyfikatów, zgłoszeń patentowych kopie kart prac badawczych i zaświadczenia otrzymanych nagród i dokonań.

### **3. Ocena dorobku naukowego doktoranta**

Doktorant wykonał dwanaście prac badawczo-rozwojowych zrealizowanych ze zleceń zewnętrznych, w których pełnił funkcję głównego wykonawcy bądź kierownika projektu. Zakres zrealizowanych prac obejmował głównie badania cieplno-emisyjne kotłów grzewczych na paliwa stałe. Ponadto Doktorant wykonał dwie opinie o innowacyjności i dwie ekspertyzy techniczne dla przemysłu. Dwie z zrealizowanych prac badawczo-rozwojowych oparte były o umowy z przemysłem, których wyniki były publikowane w recenzowanych czasopismach naukowych z listy MNiSW. Doktorant jest autorem bądź współautorem 13 artykułów naukowych opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych z listy MNiSW. Zakres tematyczny opublikowanych artykułów obejmuje zagadnienia budowy i eksploatacji maszyn cieplnych głównie kotłów grzewczych, w których doktorant prezentuje swoje autorskie wyniki badań eksperymentalnych z zakresu emisji substancji szkodliwych ze spalania paliw stałych. Doktorant uczestniczył też w czterech projektach finansowanych z dotacji statutowej.

W jednym z projektów pełnił funkcję kierownika projektu w pozostałych głównego wykonawcy. Projekty tematycznie obejmowały zakres zagadnień termodynamicznych w maszynach i urządzeniach energetycznych. Ponadto doktorant brał udział w realizacji projektu POIR poddziałanie 4.1.4 pt „Niskoemisyjny kocioł grzewczy na paliwo stałe z możliwością wykorzystania energii odpadowej” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pełniąc funkcję głównego wykonawcy. Zagadnienia badawcze opracowane w ramach grantu wykorzystano w opracowaniu metod badawczych używanych w realizacji badań doktorskich.

Doktorant ma 4 zgłoszenia patentowe. Wszystkie zgłoszenia patentowe obejmują swoim zakresem zagadnienia budowy i eksploatacji maszyn szczególnie kotłów grzewczych na paliwa stałe. Doktorant w trakcie realizacji pracy doktorskiej brał udział w realizacji prac naukowych nad czterema rozwiązaniami technicznymi, które zakończyły się zgłoszeniami patentowymi. W trzech z nich doktorant jest autorem wiodącym, a jedno całościowo jest autorstwa doktoranta. Zakres tematyczny zgłoszeń patentowych obejmuje rozwiązania techniczne pozwalające zoptymalizować proces spalania zachodzący w kotłach grzewczych małej mocy, czego efektem ma być obniżenie emisji substancji szkodliwych głównie pyłów, co wiąże się z zainteresowaniami badawczymi doktoranta.

Doktorant opublikował wyniki swoich prac badawczych w takich czasopismach jak Energy (Elsevier) czy Energies (MDPI) które mają odpowiednio 200 pkt i 140 pkt. wg punktacji MEiN. Dorobek naukowych doktoranta oceniam bardzo wysoko jak na obecny etap kariery naukowej.

#### **4. Uwagi do rozprawy**

1. Dlaczego w przypadku badań analizowano tylko dwa poziomy mocy kotła 30% i 100%?
2. Proszę o określenie niepewności pomiaru dla parametrów toru wykonawczo-pomiarowego (temperatura spalin, strumień objętości wody przepływającej przez kocioł, strumień masy spalanego paliwa)
3. Na jakiej podstawie dobrano współczynnik bezpieczeństwa 1.35 (równanie nr 5, rozdział 7)
4. Proszę wyjaśnić w jaki sposób uzyskano równanie (6) opisujące moment gnący  $M_x$
5. W Tabeli 4 powinno być napisane ‘maksymalna masa naczynia z wodą’, ‘maksymalna masa wody’, ‘minimalny poziom wody’
6. Opis tabeli 5 jest niejasny (powinno być ‘objętość dla min. 1 litra pary na godzinę’).

7. Tabela 6 moim zdaniem powinna być inaczej przedstawiona (dwie kolumny, w jednej podane temperatura i ciśnienie dla maksymalnego strumienia pary a w drugiej dla minimalnego strumienia pary)
8. Przy opisach rysunków 7-15 zalecane jest odniesienie się do Tabeli 1 (podanie parametrów badań w opisie rysunków)
9. Brakuje opisu tekstowego rysunku 10 który prezentuje zmianę parametrów emisyjnych i sprawności procesu spalania uzyskane pierwszego etapu badań
10. Proszę wyjaśnić kiedy należy zastosować zaproponowane rozwiązanie z wtryskiwaniem pary wodnej do komory spalania kotła grzewczego
11. Proszę wyjaśnić jakie są największe zalety proponowanego rozwiązania (badania wykazały wzrost emisji CO, natomiast spadek emisji PM i NOx)? Emisja tlenku węgla również przyczynia się do efektu cieplarnianego.

## **5. Ocena rozprawy doktorskiej**

Uwagi do rozprawy nie wpływają na moją pozytywną ocenę. Rozprawę doktorską oceniam bardzo wysoko. Doktorant opracował oryginalne rozwiązanie konstrukcyjne do wytwarzania i dostarczania pary wodnej do komory spalania i dopalania kotła grzewczego mające charakter aplikacyjny. Wykonał szereg badań które pozwoliły określić wpływ tego procesu na emisję tlenku węgla, tlenków azotu i pyłów podczas procesów spalania paliwa stałego w kotle niskotemperaturowym. Za najważniejsze osiągnięcia rozprawy doktorskiej uważam:

1. Opracowanie metody badawczej oraz metody wytwarzania i dostarczania pary wodnej do komory spalania i dopalania kotła grzewczego
2. Opracowanie stanowiska i układu badawczego do wytwarzania i dostarczania pary wodnej do komory spalania i dopalania kotła grzewczego
3. Zbadanie wpływu doprowadzenia pary wodnej do komory spalania i komory dopalania kotłów grzewczych na paliwa stałe na jakość procesu spalania
4. Określenie parametrów granicznych, dla których zasadne jest zastosowanie układu doprowadzania pary wodnej do procesu spalania paliwa stałego w kotle grzewczym,
5. Opracowanie algorytmu postępowania dla układu: kocioł grzewczy na paliwa stałe wraz z doprowadzeniem pary wodnej do procesu spalania.



Doktorant osiągnął wszystkie cele stawiane w swojej pracy. Wykonał obszerne badania. Wyniki prac badawczych zostały opublikowane w renomowanych czasopismach ze współczynnikiem Impact Factor. Praca ma bardzo duży potencjał wdrożeniowy. Doktorant udanie współpracuje z partnerami przemysłowymi w ramach projektów naukowych.

## **6. Wniosek końcowy**

Praca wnosi nowe aspekty do zagadnień badań eksperymentalnych kotłów grzewczych. Proponowane przez doktoranta rozwiązanie technologiczne z dostarczeniem pary wodnej do komory spalania i dopalania kotła pozwala zmniejszyć emisję tlenków azotu i pyłu do poziomu wymaganego przez aktualnie obowiązujące w Polsce i Europie przepisy prawne. Praca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone Ustawą o Stopniach i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki zatem wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Bartosza Ciupka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

