

Wrocław, 02.09.2019

dr hab. inż. Wojciech Moroń, prof. PWR

Wydział Mechaniczno-Energetyczny

Politechnika Wrocławska

Wyb. Wyspiańskiego 27

50-370 Wrocław

e-mail: wojciech.moron@pwr.edu.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pana mgra inż. Sławomira Kakiętka

pt.: „Ocena zachowania się paliw stałych w czasie spalania na podstawie badań laboratoryjnych i sieci neuronowych”

Promotor: prof. dr hab. inż. Wiesław Rybak

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania niniejszej recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Mechaniczno-Energetycznego prof. dra hab. inż. Zbigniewa Gnutka z dnia 21 czerwca 2019 roku, do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej mgra inż. Sławomira Kakiętka pt.: „Ocena zachowania się paliw stałych podczas spalania na podstawie sieci neuronowych i badań laboratoryjnych” stwierdzam, że może być ona zakwalifikowana do dyscypliny naukowej: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

2. Charakterystyka i ocena ogólna rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgra inż. Sławomira Kakiętka pt.: „Ocena zachowania się paliw stałych w czasie spalania na podstawie badań laboratoryjnych i sieci neuronowych” przygotowana na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Wiesław Rybak.

Rozprawa ma charakter eksperymentalno-modelowy i liczy wraz z bibliografią i załącznikami 188 stron. Praca składa się z 9 rozdziałów, włączając wstęp, wnioski i bibliografię pracy. Rozprawa zawiera 147 rysunków, 45 tabel, 139 pozycji bibliograficznych oraz 4 załączniki w postaci tabelarycznych danych eksperymentalnych i danych wejściowych sztucznych sieci neuronowych (SSN). Rozważania poprzedzone są spisem ważniejszych skrótów i oznaczeń oraz indeksów wykorzystanych w dysertacji. Praca napisana została poprawnym językiem, sformatowana w sposób czytelny i zrozumiały, niemniej jednak w pewnych fragmentach pojawia się mocno

Wydział Mechaniczno-Energetyczny

49/1292/2019

Wpłynęło dnia 03.09.19r.

potoczny żargon techniczny, co może utrudniać poprawną interpretację prezentowanych informacji i danych.

Rozdział 1 to wstęp rozprawy, który pełni funkcję wprowadzenia do tematyki podjętej w pracy, nakreśla problematykę charakteryzowania paliw i ocenę ich przydatności do procesu spalania.

Rozdział 2 to rozważania dotyczące wpływu parametrów spalnego paliwa na pracę elektrowni. W rozdziale tym Doktorant syntetycznie przedstawia problemy i kryteria oceny paliw, wraz z identyfikacją obszarów w elektrowni, na których pracę ma wpływ zmienność paliwa. Ważnym elementem rozdziału jest analiza zagadnień projektowych elektrowni i wskazanie obszarów zależnych od typu i zmienności paliwa, na które należy zwrócić uwagę w czasie projektowania kotła.

Rozdział 3 rozprawy obejmuje zagadnienia związane z obszarem spalania paliwa. W rozdziale tym Doktorant identyfikuje poszczególne etapy procesu spalania paliwa stałego, wskazuje na narzędzia badawcze, które mogą służyć ocenie paliwa w danym etapie procesu spalania. Krytycznie analizowane są podstawowe techniki badań laboratoryjnych służące ocenie jakości i parametrów paliwa. Rozdział ten zawiera również ważną z punktu widzenia pracy doktorskiej analizę literatury w zakresie wykorzystania SSN do oceny procesów spalania.

Rozdział 4 to przedstawienie celu, zakresu oraz tezy dysertacji. Doktorant robi to poprawnie, w sposób czytelny i precyzyjny stawia sobie cele badawcze, które w konsekwencji pozwalają mu na sformułowanie tezy pracy. Formuluje 3 tezy oraz określa zakres prac badawczych, obliczeniowych i modelowych, które pozwolą mu obronić przyjęte w rozprawie tezy. Sformułowane w pracy cele oraz tezy są konsekwencją przeprowadzonego przeglądu literatury, zdefiniowane zostały poprawnie i precyzyjnie.

Rozdział 5 to obszerne omówienie wykorzystanych w pracy stanowisk badawczych wraz z opisem metodologii pomiarowej, wykorzystanych urządzeń pomiarowych i algorytmów obliczeniowych. W mojej ocenie w rozdziale tym niepoprawnie umieszczono podrozdział: *5.5 Badane paliwa*. Zagadnienia te powinny być osobnym rozdziałem, bowiem są to kluczowe informacje, na podstawie których Doktorant wytypował paliwa do badań.

Rozdział 6 to obszerny rozdział zawierający analizę uzyskanych wyników eksperymentów laboratoryjnych prowadzonych na stanowiskach badawczych. Przedstawiane wyniki dotyczą oceny parametrów procesu spalania paliwa tj. zapłonu, stopnia wypalenia paliwa, emisji zanieczyszczeń gazowych NO_x , SO_2 . Rozdział ten przedstawia również analizę powtarzalności uzyskanych wyników eksperymentalnych. Prezentowane wyniki są poprawne, sposób ich przedstawienia jest czytelny, a wielowariantowa ocena wpływu parametrów pracy stanowisk na jakość uzyskanych wyników jest przekonująca i świadczy o dużych umiejętnościach Doktoranta w zakresie planowania i prowadzenia eksperymentu naukowego. Podkreślić należy również obszerny zakres prac laboratoryjnych wykonanych przez Doktoranta, w tym budowę i kalibrację stanowiska badawczego.

Rozdział 7 to obszerne rozważania dotyczące SSN. Doktorant przedstawia i uzasadnia wybór struktur SSN, proces uczenia i weryfikacji uzyskanych rezultatów. Dużym atutem tych rozważań jest właściwy wybór danych uczących SSN oraz właściwa weryfikacja przyjętych modeli wraz z analizą błędów. Badania modelowe przeprowadzone w oparciu o SSN są obszerne i wielowątkowe, Doktorant wykazuje się dużymi umiejętnościami w operowaniu przyjętymi w pracy narzędziami matematycznymi.

Rozdział 8 to wnioski ze zrealizowanych prac badawczych. Wnioski są sformułowane poprawnie i odzwierciedlają najważniejsze rezultaty uzyskane w dysertacji. W mojej ocenie uzyskane rezultaty pracy, jak i wnioski Doktoranta udowadniają przyjęte w dysertacji tezy pracy.

Rozdział 9 to spis literatury wykorzystanej w dysertacji. Dobór źródeł jest poprawny, Doktorant korzysta z publikacji krajowych, jak i zagranicznych. Forma cytowań jest poprawna.

Podsumowując, przyjęty układ rozprawy oceniam jako logiczny i czytelny. Strona edytorska pracy nie budzi większych zastrzeżeń. Strona graficzna rozprawy jest bardzo staranna, a rysunki i wykresy w większości przypadków są przygotowane poprawnie i czytelnie. Dobór pozycji bibliograficznych jest odpowiedni i obszerny.

3. Ocena wyboru tematu, celu i tezy rozprawy

Poruszana w dysertacji problematyka oceny zachowania się paliw w czasie procesu spalania jest zagadnieniem bardzo ważnym z punktu widzenia eksploatacji operatorów kotłów węglowych. Jak wiadomo układy te są projektowane dla tzw. paliwa projektowego i jakiegokolwiek odstępstwa ponad dozwolone mogą skutkować niepoprawną pracą kotła, powodować nadmierne zużycie armatury okołokotłowej, czy też nadmierne obciążenia układów oczyszczania spalin. Takie skutki w pracy kotła mogą być spowodowane wieloma czynnikami m.in.: zmiennością dostaw paliwa, zmianą dostawcy paliwa, poszukiwaniem paliw o obniżonej zawartości siarki, obniżaniem kosztów zakupu paliwa, czy też prowadzeniem procesu współspalania paliw. Dlatego stwierdzam, że podjęta w pracy tematyka jest ważna i wpisuje się w aktualne trendy prowadzonych prac badawczych i rozwojowych.

Ocena parametrów spalania paliw może być prowadzona z wykorzystaniem wielu narzędzi badawczych bazujących na pomiarach laboratoryjnych, półtechnicznych, w skali rzeczywistej, ale również na obliczeniach modelowych. Jednak techniki te są albo niewystarczające (niedające zadawalających rezultatów) albo bardzo drogie. W ocenianej rozprawie Doktorant skupia się na nowym kierunku, jakim są sztuczne sieci neuronowe (SSN). Pierwsze opisy sieci neuronowych to lata 40. XX wieku, niemniej jednak ich wykorzystanie w obszarze oceny paliw rozpoczęło się w latach 90. XX wieku. Zainteresowanie to wynika z szybkiego rozwoju opisu aparatu matematycznego SSN, ale również z rozwoju technik cyfrowych. Jednak głównych powodów zastosowania SSN w energetyce upatrywać należy w ich własnościach podstawowych tj.:

- Predykcji sieci – przewidywanie danych wyjściowych na podstawie danych wejściowych w oparciu o proces uczenia bez konieczności znajomości związków i zależności matematycznych pomiędzy danymi wejściowymi a wyjściowymi. A jak wiemy proces spalania jest zagadnieniem bardzo złożonym, a stosowane obecnie aparaty matematyczne stosują pewne uproszczenia do jego opisu.
- Kojarzeniu danych – sieci neuronowe dzięki procesowi uczenia, adaptacji i uogólnianiu doświadczeń pozwalają na wnioskowanie na podstawie zgromadzonych danych, ułatwiając wykrywanie istotnych powiązań i aspektów pomiędzy danymi wejściowymi a wyjściowymi.

Mając powyższe na uwadze stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się niewątpliwie w istotny nurt badań z zakresu energetyki, a temat i zakres pracy został poprawnie wybrany. Podjętą tematykę należy uznać za trafną i dającą możliwość wpisania się w interesujący obszar badawczy oraz wypracowania własnych nowatorskich koncepcji opartych na wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych (SSN).

Doktorant postawił sobie w rozdziale 4 pracy ambitny cel stworzenia modelu oceny zachowania się paliwa w procesie zapłonu, odgazowania części lotnych i spalania pozostałości koksowej bazującego na sztucznych sieciach neuronowych. Jako element uczący sieć oraz weryfikujący jej przewidywania wykorzystano obszerne badania laboratoryjne. Zarówno cel

główny, jak i cele szczegółowe pracy osadzone są dobrze w aktualnej problematyce naukowej metod oceny zachowania się paliw w procesach energetycznych. Udowodnieniu postawionych przez Doktoranta też posłużyły zarówno badania eksperymentalne, jak i predykcja własności paliw na podstawie stworzonych sztucznych sieci neuronowych.

Na podkreślenie zasługuje konsekwentne dążenie Doktoranta do zrealizowania postawionych celów, co niewątpliwie świadczy o bardzo dobrym rozpoznaniu tematyki rozprawy i solidnym przygotowaniu do prowadzenia rozważań teoretycznych i badań eksperymentalnych. Szczególnie wyróżnić należy dwa obszary tj. bardzo bogaty warsztat badawczy Doktoranta jeśli chodzi o wykonane w pracy analizy laboratoryjne podstawowe, stanowiskowe oraz dogłębne poznanie i właściwe wykorzystanie wiedzy z zakresu sztucznych sieci neuronowych (ich opisu matematycznego) do budowy własnych modeli sieci. Doktorant wykazał się także bardzo wnikliwą interpretacją uzyskanych wyników badań eksperymentalnych i modelowych.

Istotnymi walorami recenzowanej rozprawy jest:

- Poprawne zdefiniowanie cząstkowych celów badawczych, co pozwoliło na właściwe zaplanowanie eksperymentu, jego przeprowadzenie oraz weryfikację uzyskanych danych eksperymentalnych.
- Obszerny materiał badawczy uzyskany z pomiarów na trzech odrębnych stanowiskach badawczych przy różnej konfiguracji układów pomiarowych i różnych typach paliw.
- Weryfikacja i ocena uzyskanych parametrów procesu spalania paliwa oraz ocena wpływu parametrów pomiaru na wyniki badawcze.
- Duże umiejętności Doktoranta w zakresie planowania i prowadzenia eksperymentu naukowego.
- Właściwy wybór struktur SSN, procesu ich uczenia i weryfikacji uzyskanych rezultatów symulacji.
- Dogłębne poznanie idei SSN, sposobów ich konfigurowania, uczenia i weryfikacji, co pozwoliło na osiągnięcie zaplanowanych rezultatów pracy.

Podsumowując, podjęty przez Doktoranta temat rozprawy oraz sformułowane cele i tezy pracy są zasadne i ważne z naukowego i aplikacyjnego punktu oceny dysertacji.

4. Uwagi merytoryczne i dyskusyjne

Ze względu na poruszone ważne zagadnienia z zakresu sztucznych sieci neuronowych przedstawiona rozprawa jest niezwykle wartościowa merytorycznie. W mojej opinii największa wartość prac naukowo-badawczych przedstawionych w recenzowanej rozprawie dotyczy:

- Opracowania i budowy stanowiska badawczego (reaktor A) do badania przebiegu procesu spalania.
- Wykonania obszernych badań i symulacji procesów spalania dla dużej liczby prób paliw o szerokim spektrum stopnia uwęglenia (FR 0,7-20).
- Właściwego doboru zakresu współczynnika powietrza dla badań laboratoryjnych odwzorowującego wartości rzeczywiste stosowane w kotłach energetycznych.
- Uzyskania właściwych relacji np. stopnia wypalenia, zapłonu, emisji względem parametrów spalania dla zrealizowanych badań laboratoryjnych.
- Przeprowadzenia rzetelnego procesu weryfikacji badań uzyskanych z reaktora A.
- Bardzo starannego i trafnego przedstawienia uzyskanych wyników pomiarowych i własności paliw w formie graficznej.
- Właściwego doboru i weryfikacji zestawów danych uczących dla SSN.
- Poprawnego wyboru struktury i typu sieci SSN dla oceny parametrów procesu spalania paliwa.

- Przeprowadzenia analizy i weryfikacji procesu uczenia ze względu na strukturę sieci, jak i na typ danych uczących.
- Sformułowania wniosków i podania wytycznych, umożliwiających podjęcie prac aplikacyjnych.

Podczas lektury dysertacji pojawiają się drobne uwagi, pytania i wątpliwości wymagające wyjaśnienia, a czasami i szerszej dyskusji:

- 1) Kwestią dyskusyjną jest użycie symboli oznaczeń niestosowanych w Polskich Normach w oznaczaniu np. kaloryczności paliw. Na str. 58 Doktorant wprowadza oznaczenie Q *spalania* zamiast Q_s , czy stosuje oznaczenie $C.spalania$ zamiast Q_i , które to oznaczenia są stosowane w aktualnych polskich normach. W mojej ocenie nie powinno się tworzyć nowych oznaczeń ponad te standardowe, bo utrudnia to czytelność pracy. Również stosowanie oznaczeń stanu paliwa innych niż standardowe np.: „*dost*” zamiast τ lub analityczny $(^a)$ nie powinno być stosowane w pracy doktorskiej. Podobnie w przypadku symboli matematycznych stosowanie *del* zamiast Δ (np. wzór 7.51) nie powinno mieć miejsca.
- 2) Str. 50 Rys. 5.3.3 – przedstawia raczej konfigurację stanowiska do prowadzenia procesu odgazowania (podłączona tylko butla z azotem, brak tlenu do spalania), a nie prowadzenia pomiaru emisji NO_x , SO_2 .
- 3) Str. 52 (górze) – zaproponowana przez Doktoranta definicja temperatury zapłonu T_k paliwa jest mało intuicyjna, lepiej posługiwać się temperaturą zapłonu definiowaną jako minimalna temperatura pieca, w której następuje zapłon.
- 4) Str. 56 wzory 5.16-5.17 – w opisie tekstowym do wzorów Doktorant używa do oznaczania strumienia ciepła literą Q , a tak oznacza się ciepło, natomiast strumień ciepła (wielkość zależna od czasu) powinna być oznaczona \dot{Q} jak podają podręczniki termodynamiki np. E. Kalinowski, Termodynamika, PWR 1994. Dodatkowo na str. 54 Doktorant przez literę Q oznaczył multiplikator części lotnych. Należałoby starannie dobierać oznaczenia, aby te same symbole nie oznaczały różnych parametrów w pracy. Również w przypadku strumieni różnych mediów (powietrza, spalin) dla reaktora A (str. 72-75) Doktorant nie stosuje symbolu danego strumienia oznaczonego kropką.
- 5) Rozdział 5.4.4 – w porównaniu do wcześniej prezentowanych rozdziałów (np. 5.4.1-5.4.3) opisujących metodykę badań jest niezrozumiały, rozdział ten składa się tylko z 2 zdań. Należałoby poszerzyć opis do porównywalnego ze wcześniejszymi rozdziałami (co do zakresu) lub jeżeli pomiar jest ustandaryzowany odnieść się do tego standardu. W obecnej formie rozdział ten jest zbędny i niezrozumiały.
- 6) Str. 57 (dół) – jest napisane, że wykorzystano monofrakcję pyłu około $80 \mu m$ (uzyskaną na drodze siania), co jest niemożliwe do uzyskania tą metodą. Jest to niepoprawny zapis, powinno się operować zakresem średnic np. $70-80 \mu m$.
- 7) Str. 58 Tab. 5.5.1 – w mojej ocenie prezentowane dane paliw analizy technicznej, elementarnej powinny być oznaczone przypisem normy (standardu) wg którego dokonano oznaczenia.

W konwencji zapisu prezentowanych danych wykorzystana jest kropka jako miejsce dziesiętne, w polskiej notacji powinien to być przecinek. Niemniej Doktorant jest konsekwentny w stosowaniu takiej formy zapisu i prawdopodobnie wynika ona z implementacji tych danych do algorytmów SSN.

Dyskusyjne jest oznaczenie wilgoci analitycznej symbolem W_c – to sugeruje wilgoć całkowitą a analiza prezentowanych wartości wilgoci wskazuje na wilgoć analityczną oznaczaną wg. PN symbolem W .

Zastrzeżenia co do zawartości wilgoci w stanie analitycznym budzą próbki **T6** oraz **BGW**, zawartość wilgoci analitycznej na poziomie 13,10 oraz 16,00 wskazuje, że próbki nie osiągnęły stanu powietrzno-suchego (zazwyczaj zawartość wilgoci analitycznej dla węgla brunatnych są niższe).

Brak jest informacji jaki sposób oznaczono zawartość tlenu w próbkach, jednocześnie przeliczone dane analizy elementarnej na inne stany są błędne. Nie zgadza się bilans pierwiastków paliwa stanu analitycznego (^a) tj.: $100 = W + A + C + H + N + S + O$ dla próbek: **DO, SW, RPA, BGW**.

Str. 58 Tab. 5.5.2 – Jeżeli tabela prezentuje stan ^{daf} paliwa (tak wynika z podpisu tabeli) to dane wilgoci analitycznej i popiołu w stanie suchym są zbędne. Wielkości te nie występują w tym stanie paliwa, utrudnia to sprawną analizę prezentowanych w tabeli danych.

Błędne przeliczenie V^{daf} dla próbki: **T6**.

Błędne przeliczenie C^{daf} dla próbek: **DO, SW, ANTR**.

Str. 58 Tab. 5.5.3 – podawanie wartości procentowych do trzeciego miejsca po przecinku jest dyskusyjne, wystarczającą dokładnością oznaczenia jest dziesiąta część procenta.

Str. 58 Tab. 5.5.3 – Nie zgadza się bilans pierwiastków paliwa stanu analitycznego (^a) tj.: $100 = W + A + C + H + N + S + O$ dla próbek: **SW, T6**.

Str. 59 Tab. 5.5.5 – Nie zgadza się bilans pierwiastków paliwa stanu suchego bezpopiołowego (^{daf}) tj.: $100 = C + H + N + S + O$ dla wszystkich próbek.

Str. 60 Tab. 5.5.6 – Jeżeli Tab. 5.5.7 jest przeliczeniem wartości danych Tab. 5.5.6 na stan suchy bezpopiołowy (^{daf}) to przeliczenia te są wykonane niepoprawnie. Nie zgadza się bilans pierwiastków paliwa stanu suchego bezpopiołowego (^{daf}) tj.: $100 = C + H + N + S + O$ dla wszystkich próbek.

- 8) Str. 62-64 Rys. 6.1.1-6.1.6 – dla części paliw prezentowane badania różnych parametrów zapłonu w reaktorze A nie są przedstawiane w całym zakresie pracy sondy płomieniowej tj. 40-280 mm. Czy te pomiary nie były wykonywane?

Część mierzonych parametrów przyjmuje wartości ujemne (np. O_{2r} , N_{Or} , Tr), co oznacza, że tło pomiarów było większe niż pomiar. Jeżeli dla wartości współczynnika powietrza < 1 stężenie O_{2r} jest poprawne (bo spalamy z niedomiarem utleniacza) to co to oznacza w przypadku: N_{Or} – dodatkową redukcję, a dla temperatury Tr – niedotrzymanie założonych warunków cieplnych reaktora A w czasie pomiaru oraz współczynnika powietrza > 1 ? Podobne trendy przedstawione są również w rozdziale 6.2.4 str. 79. Wymagałoby to dodatkowego komentarza.

Str. 72 Rys. 6.2.1 – w pracy Doktorant nie wskazał w jakim celu wykonano te testy, czy zwiększano temperaturę za schładzaczem wodnym spalin w celu polepszenia stopnia wypalenia. Wymagałoby to dodatkowego komentarza.

- 9) Str. 74. Rozdział 6.2.2 – w mojej ocenie poczynione założenie pominięcia ilości podanej wody w celu schłodzenia spalin powoduje powstanie błędu w oszacowaniu ilości spalin V_{spite} co przekłada się na błąd izokinetycznego zassania próbki popiołu z przekroju kanału spalin. Czy nie lepszym rozwiązaniem byłoby przeprowadzenie tego oszacowania bez podawania wody w celu gaszenia spalin?

- 10) Str. 109. Rys. 7.4.5 (oraz inne prezentujące parametr czułości U_s) – nie wiem jak Doktorant zdefiniował parametr czułości U_s , w treści rozprawy nie udało się mi tego odnaleźć, bez tej wiedzy trudno odnieść się do prezentowanych wyników.
- 11) Jak Doktorant ocenia możliwości praktycznej aplikacji proponowanego modelu przewidywania własności paliw (na bazie SSN) w obiektach rzeczywistych?

5. Uwagi edytorskie

Poniżej przedstawiam główne uwagi edytorskie dostrzeżone w czasie czytania pracy:

- Doktorant korzysta ze skrótów bez wcześniejszego ich wyjaśnienia w tekście lub w spisie użytych oznaczeń. Z jednej strony są to skróty powszechnie używane lub branżowe, jednak z punktu wymagań formalnych rozprawy doktorskiej powinny one mieć swoje wyjaśnienie np.:
 - str. 3 – KE,
 - str. 11 – CFD,
 - str. 36 – TGA, CFD CINAR.
- Znaczącym ułatwieniem w czasie czytania pracy byłoby oznaczenie prezentowanych w rozprawie parametrów pomiarowych poprzez wyróżnik w formatowaniu np. *Italic*. W szczególności trudno odnaleźć się w przypadku parametrów opisanych jednoliterowo np. a, b itp.
- Forma prezentowanych przez Doktoranta informacji jest miejscami mocno skrótowa i hasłowa, zastosowanie wypunktowania znacząco ułatwiłoby zrozumienie prezentowanych informacji np.:
 - str. 12 (dół) – opis wpływu parametrów analizy technicznej na pracę kotła i urządzeń kotłowych,
 - str. 13 (górze) i inne podobne miejsca – opis wpływu parametrów analizy elementarnej na pracę kotła i urządzeń kotłowych.
- Nieoprawne stosowanie indeksów stanów paliwa, szczególnie ^d, ^{daf} tj. zamiast stosować indeks górny, Doktorant umieszcza je w indeksie dolnym. Brakuje również symbolu oznaczenia stanu analitycznego paliwa ^a, jak również niezrozumiałe i zbędne jest stosowanie ‘’ dla zapisu niektórych parametrów (tj. *dost*, *daf*) np.:
 - str. 37 – Tab. 3.2.2 i tekst pod tabelą,
 - str. 53-54 – procedura oznaczania kinetyki procesu odgazowania,
 - str. 58-60 – Tab. 5.5.5-5.57,
 - str. 102 – Tab. 7.2.2.,
 - str. 109 Rys. 7.4.5 i inne podobne oznaczenia,
 - str. 106 – ‘dost’, ‘daf’ i inne podobne oznaczenia.
- Podwójne nazewnictwo tych samych zjawisk, utrudniające zrozumienie tekstu i jego poprawną interpretację np.:
 - odgazowanie – proces odgazowania części lotnych,
 - czas zapłonu – czas indukcji zapłonu – zapłon – czas inicjacji zapłonu,
 - pozostałość koksowa – stała pozostałość po odgazowaniu – pozostałość koksowa po odgazowaniu – koks.
- Łączenie punktów na wykresach prezentujących dane eksperymentalne – w prezentowanych danych nie znamy funkcji reprezentującej wyniki eksperymentu, punkty nie powinny być

łączone. Rozumiem, że Doktorant łącząc punkty chciał w lepszy sposób zobrazować ich przebieg dla większej liczby danych na jednym rysunku. Jednak informacja taka powinna znaleźć się we wstępie tych rozdziałów np.:

- str. 61 Rozdział 6,
- str. 91 Rozdział 7.
- Brak jednostek np.:
 - str. 72 Rys. 6.2.1 – % dla parametru DM^A_{daf} ,
 - str. 114 Stosowanie dla temperatury zapisu *st. C* zamiast °C.
- Brak spacji lub zbędne spacje np.:
 - str. 104 (dół) – (...) *iteracji, to jest 550*,
 - str. 112 Rys. 7.4.8 – (...) *bez S, N, W (...)*,
 - str. 120 (dół) – (...) *bez N, S, W, A* i inne podobne oznaczenia.
- Brak indeksów dolnych np.:
 - str. 47 dla H_2O w Tab. 5.2.4,
 - str. 90 dla SO_2 w tytule rozdziału 6.3.5,
 - str. 103 dla k_1 w opisie Rys. 7.3.1.
- Błędy stylistyczne, literowe np.:
 - str. 15 góra jest *kotów* a ma być *kotłów*,
 - str. 14 Rys. 2.2.1 niepoprawny opis zjawiska tj.: jest *Kinetyka spalania* a ma być *Kinetyka spalania pozostałości koksowej*,
 - str. 57 (dół) zbędna duża litera w środku zdania dla wyrazu *także*,
 - str. 100 (górze) brak litery *ń* w wyrazie *badan*,
 - str. 101 (dół) brak litery *ó* w wyrazie *neuronów*,
 - str. 103 zbędny nawias w opisie Rys. 7.3.1,
 - str. 117 (środek) sens zdania, użyte skróty,
 - str. 141 (środek) poprawnie jest napisać, że cząstki *spalają się* a nie *palą*.
- Błędne opisy i odwołania np.:
 - str. 43 (dół) jest Rys. 5.3 a ma być Rys. 5.2.3,
 - str. 44 (środek) w mojej ocenie odwołanie powinno być zrobione do Rys. 5.2.1 a nie do Rys. 5.2.4,
 - str. 102 Rys. 7.2.2 (prawy) – nieczytelny parametr na osi rzędnych,
 - str. 113 Tab. 7.4.1 oraz str. 115 Tab. 7.4.3 – brak opisu parametrów (nazw), tabela podaje tylko wartości. Który wiersz dotyczy jakiego parametru należy się domyślać,
 - str. 61-90 Błędny nagłówek rozdziału jest *Rozdział 7* a ma być *Rozdział 6*.

6. Wnioski końcowe

Do szczególnie cennych osiągnięć Doktoranta w przedstawionej do recenzji rozprawie należy, w mojej ocenie, zaliczyć:

- Przeprowadzenie w szerokim zakresie unikalnych pomiarów paliw;
- Opracowanie koncepcji SSN i weryfikacja zaproponowanych struktur;
- Przeprowadzenie obszernych analiz zachowania się paliwa w czasie spalania z wykorzystaniem SSN;
- Weryfikację eksperymentalną uzyskanych wyników SSN.

Przedstawione w opinii uwagi i zastrzeżenia nie podważają pozytywnej oceny całości rozprawy, uważam, że należy podkreślić wysoką pracowitość przeprowadzonych prac badawczych, szeroki zakres przeprowadzonych analiz laboratoryjnych oraz bardzo dobrą znajomość procedur wyboru, nauki i weryfikowania sztucznych sieci neuronowych.

Uwagi krytyczne, które wymienione zostały w punkcie 4 recenzji nie obniżają jej pozytywnej wartości merytorycznej i pozytywnej ogólnej oceny dysertacji. Uwagi mają charakter dyskusyjny i być może wykorzystane zostaną przez Doktoranta w dalszej pracy naukowej. W mojej opinii recenzowana rozprawa doktorska jest oryginalna i stanowi wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Ma również istotne znaczenie praktyczne.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku. Wobec powyższego, stawiam wniosek o dopuszczenie Pana mgr inż. Sławomira Kakietka do dalszych etapów postępowania doktorskiego i publicznej obrony pracy.

