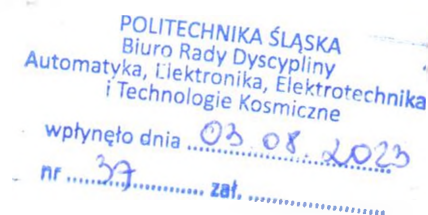




**POLITECHNIKA
LUBELSKA**

dr hab. inż. Andrzej Kotyra
Katedra Elektroniki i Technik Informatycznych
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechnika Lubelska



R E C E N Z J A

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Zdzisława Bieleckiego
pt.: „Sterowanie w układach z przepływem wielofazowym”**

1. Podstawa prawna

- Pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Automatyka Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej dr. hab. inż. Moniki Kwoki, prof. PŚ z dnia 16 czerwca 2023 r.;
- Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2021 r., poz. 1668 z późn. zm.).

2. Ocena poziomu merytorycznego pracy

Praca doktorska mgr inż. Zdzisława Bieleckiego poświęcona jest problemowi, jakim jest sposób wprowadzania katalizatora do pyłoprzewodu kotła energetycznego w celu poprawy efektywności procesu spalania. Dysertacja zawiera ogółem 134 strony, na które składają się: spis treści, wykaz stosowanych oznaczeń, 9 rozdziałów łącznie z wprowadzeniem i wnioskami, streszczenie w języku polskim i angielskim, bibliografia zawierająca 114 pozycje oraz spis autorskich publikacji, referatów konferencyjnych, posterów, zgłoszeń patentowych i patentów.

We wstępie Autor przedstawia najważniejsze zagadnienia związane bezpośrednio z genezą pracy, a w szczególności podstawowe problemy towarzyszące spalaniu pyłu węglowego w kotłach energetycznych oraz optymalizacji jego przebiegu pod kątem minimalizacji szkodliwego wpływu na środowisko.

W kolejnym rozdziale sformułowano 5 celów cząstkowych, na które składa się:

- opracowanie metody uzyskania homogenicznego, aktywnego modyfikatora procesu spalania;
- określenie parametrów aplikowanego modyfikatora;
- opracowanie konstrukcji aerodynamicznego reaktora wielofazowego;
- opracowanie koncepcji i parametrów sterowania przepływem wielofazowym;
- weryfikacja możliwości wykorzystania opracowanych metod i urządzeń dla przypadku kotła energetycznego.

Rozdział rozpoczyna nawiązanie do ministerialnego programu doktoratów wdrożeniowych, które zdaniem recenzenta nie jest związane merytorycznie z treścią pracy i tym samym jest zbędne. W dalszej części przedstawione zostały planowane etapy badań, zmierzające do osiągnięcia wspomnianych wcześniej celów badawczych.

Rozdział zatytułowany „Tezy badawcze” zawiera jedną tezę sformułowaną następująco:

„Jeżeli jest znana lepkość fazy ciekłej oraz granulacja fazy stałej tworzącej zawiesinę, to można sterować przepływem trójfazowym dyspersji kropeł zawierających cząstki stałe na podstawie wskaźnika jakości, który określa równomierny rozkład fazy stałej w kroplach o zadanej średnicy. ...”.

Sformułowanie tezy pracy jednoznacznie wskazuje na problem, jaki Doktorant zamierza rozwiązać. Wskazano kryterium jakości oraz określono wartości zadane.

Następny rozdział prezentuje obecny stan wiedzy dotyczący poruszanej w dysertacji tematyki i składa się z pięciu części. Pierwsza, wprowadzająca, przedstawia najważniejsze informacje dotyczące pozyskiwania węgla kamiennego, właściwości fizyko-chemiczne różnych jego rodzajów oraz mechanizmy determinujące szkodliwy wpływ jego spalania na środowisko naturalne. Druga część rozdziału trzeciego przedstawia krótki przegląd katalitycznych metod redukcji, głównie tlenków węgla i azotu. W kolejnej części przedstawiono istniejące rozwiązania dotyczące sposobów wprowadzania katalizatorów w instalacjach przemysłowych, a w następnym – urządzenia wtryskowe, ukazując przykładowe rozwiązania na podstawie obszernego przeglądu literaturowego. Doktorant szczególną uwagę zwrócił na główne aspekty, które powinny zostać wzięte pod uwagę na etapie projektowania urządzeń wtryskowych oraz sposoby optymalizacji ich pracy, koncentrując się na doborze rozkładu wielkości kropeł wprowadzanej fazy ciekłej. Piąta część rozdziału 3. stanowi przegląd literaturowy w którym zawarto metody symulacji numerycznych dla przepływów wielofazowych. Doktorant wskazywał różne podejścia (Eulera-Lagrange’a, Eulera-Eulera) właściwe dla modeli matematycznych analizowanych w pracy przepływów wielofazowych. Przytoczono najważniejsze formalizmy stosowane w opisywanych wcześniej modelach, jednak bez dokładniejszego ich wyjaśnienia. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że recenzowana dysertacja ma charakter wdrożeniowy, recenzent nie uważa tego mankamentu za szczególnie istotny. Razi natomiast brak objaśnień niektórych symboli występujących w równaniach, np. t , x , i w równaniu na str. 34, czy też μ , ρ w równaniu na str. 35. Brak numeracji równań utrudnia śledzenie przedstawianego w dysertacji toku rozumowania. Ostatni podrozdział, 3.6. pt. „Sterowanie, automatyzacja, sieci neuronowe i metody obrazowania płomienia” stanowi przegląd metod sterowania procesem spalania w kotłach energetycznych i ich zastosowań. Recenzent uważa, że treści tam zawarte nie są bezpośrednio związane z tezą pracy. W trosce o spójność tematyczną dysertacji, podrozdział 3.6. mógłby zostać pominięty, szczególnie biorąc pod uwagę bardzo szeroki zakres tematyczny nakreślony przez jego tytuł.

Rozdział czwarty przedstawia opis prac eksperymentalnych i jest oryginalnym osiągnięciem Doktoranta. Składa się z trzech podrozdziałów, w których opisano kolejno: stanowisko badawcze, uzyskane w wyniku przeprowadzonych eksperymentów dane, ich analizę oraz wyniki symulacji numerycznych. Pierwszy podrozdział przedstawia szczegóły konstrukcji stanowiska pomiarowego przeznaczonego do pomiaru wielkości rozpylanych kropeł w pyłoprzewodzie oraz szczegółowe informacje dotyczące wykorzystanej aparatury pomiarowej. Zestaw aparaturowy zawierał dwa przyrządy do pomiaru wielkości cząstek oraz kropeł, reometr i wiskozymetr do badań lepkości oraz tensjometr do pomiaru napięcia powierzchniowego. Autor przedstawił procedury pomiarowe, którymi posługiwał się podczas badań oraz najważniejsze parametry metrologiczne użytej aparatury. Opisywanie niektórych szczegółów dotyczących zasady ich działania, jak np. pomiar wielkości cząstek za pomocą metody dyfrakcji laserowej nie wydaje się niezbędne. W drugim podrozdziale zaprezentowano rezultaty przeprowadzonych badań eksperymentalnych. Wyniki pomiarów granulometrycznych przedstawione zostały w postaci tabeli dla szeregu próbek, jednak nie wiadomo dokładnie co oznaczają nazwy próbek, ale przede wszystkim jaki był nadrzędny cel tych badań. Nic nie wiadomo, jaka jest powtarzalność uzyskanych wyników i dlaczego wyniki zostały uśrednione akurat dla pieciu pomiarów dla tej samej próbki. Następny punkt, 4.2.3 pt. „Optymalizacja struktury modyfikatora” nie jest potrzebny, ponieważ nie podano funkcji celu optymalizacji. Rysunek 24 nie jest potrzebny, ze względu na liniową zależność średnicy cząstki katalizatora od średnicy kropli modyfikatora, co bezpośrednio wynika

z równania przedstawionego na str. 63. W dalszej kolejności pokazano wyniki badań lepkości, a następnie szczegóły konstrukcji reaktora wielofazowego. Trzeci podrozdział opisuje symulacje numeryczne przepływu płynów (CFD) w reaktorze (mieszalniku) wielofazowym oraz trajektorii kropeł w pyłoprzewodzie z zamontowanym mieszalnikiem. Symulacje posłużyły dobraniu prędkości wprowadzanego do pyłoprzewodu różnych czynników zawierających katalizator, celem określenia właściwego zakresu średnic kropeł i ich trajektorii. Gwarantowałoby to odpowiednie ich rozproszenie w miejscu przyłączenia pyłoprzewodu do kotła. W symulacjach odwzorowano warunki (rozmiary, prędkości przepływu, temperatury, obecność pyłu węglowego), jakie panują w warunkach rzeczywistych. Recenzent nie jest specjalistą w zakresie modelowania przepływów i nie może się odnieść w sposób merytoryczny do tej części dysertacji.

Piąty rozdział przedstawia opis wyników badań eksperymentalnych. Na początku przedstawiono badania rozpylania wody dla przypadku dyszy prostej oraz ściętej za pomocą szybkiej kamery cyfrowej. Nie wskazano jednak, jaki był cel tych badań. W dalszej części przedstawiono statystyki średnic kropeł uzyskanych przy rozpylaniu roztworów izopropanolu z dodatkiem polimeru zawierającego cząstki niklu Raneya w założonym przedziale zmian lepkości. Przedstawiono także przykładowe histogramy wielkości cząstek uzyskane dla różnych roztworów, a także inne parametry statystyczne dla różnych wartości ciśnień.

Rozdział szósty prezentuje działanie zaprojektowanego układu dozowania katalizatora na kotle OP-430 w EC Siekierki. Opisano sposób zamontowania prototypowego urządzenia, co zilustrowano licznymi rysunkami i fotografiami. Przedstawiono także ogólny schemat sterowania układem dozowania, gdzie na działanie pompy śrubowej dozującej zawiesinę oraz sprężarki wpływa informacja o granulometrii i lepkości rozpylanej zawiesiny oraz temperaturze i prędkości przepływu fazy gazowej w pyłoprzewodzie.

Dopełnieniem treści zawartych w poprzednim rozdziale jest rozdział siódmy, w którym przedstawiono zaimplementowany system sterowania układem dozowania. Zastosowano dwa sterowniki PLC S7-1214C, 7" panel operatorski TP700 Comfort firmy Siemens oraz dwa komputery przemysłowe o nieznanym konfiguracji sprzętowej. Przedstawiono przeznaczenie poszczególnych elementów systemu sterowania, który umożliwiał także rejestrację danych. W podrozdziale 7.1. zdefiniowano wymagania aplikacji działającej na sterowniku odpowiedzialnym za rejestrację i przetwarzanie danych ze skanera płomienia, w podrozdziale 7.2. – wymagania aplikacji do wizualizacji i rejestracji danych, natomiast w podrozdziale 7.3. – zrealizowaną aplikację przeznaczoną dla drugiego sterownika oraz panelu HMI. Rozdział siódmy kończy udokumentowanie działania układu dozowania na jednym z kotłów zainstalowanych w EC Siekierki w postaci przebiegów czasowych zmian ciśnień podawania modyfikatora dla różnych trybów pracy młynów. Szkoda, że nie przedstawiono w dysertacji wpływu modyfikatora na poziom emisji zanieczyszczeń gazowych.

Ostatni rozdział, ósmy jest podsumowaniem przeprowadzonych badań w postaci sformułowanych na ich podstawie wniosków.

3. Ocena oryginalności rozprawy i aktualności poruszanej tematyki badawczej

Za najważniejsze osiągnięcia Doktoranta uważam:

1. Opracowanie modelu łączącego średnice generowanych kropeł z wielkościami cząstek katalizatora w modyfikatorze.
2. Zaprojektowanie i wykonanie reaktora wielofazowy do generowania kropeł o odpowiednich rozmiarach.
3. Określenie granicznej wartości średnicy kropli dla danych parametrów pracy pyłoprzewodu.
4. Przeprowadzenie badań eksperymentalnych w skali laboratoryjnej oraz symulacji numerycznych.
5. Implementacja opracowanego rozwiązania na obiekcie rzeczywistym (kocioł OP-430 w EC Siekierki).

4. Uwagi krytyczne, pytania

4.1. Uwagi ogólne

Recenzent wnosi pewne zastrzeżenia do edytorskiej strony pracy. Zdarzają się nie do końca precyzyjne lub żargonowe sformułowania, np. „nanometryczny wymiar” czy „... wysoką powierzchnię geometryczną” (str. 21). Pozostałe ogólne uwagi do pracy przedstawiają się jak poniżej.

- Byłoby wielce wskazane umieszczenie na początku rozdziału 4. informacji o celach, jakie postawił sobie Autor w przeprowadzając opisane tam eksperymenty oraz symulacje numeryczne.
- Brak numeracji równań oraz wyjaśnień niektórych występujących w nich oznaczeń.
- Praca napisana jest w języku polskim. Zamieszczone rysunki także powinny mieć polskie opisy (np. rys. 27-30, 42-44, 53 itd.).
- Używanie określeń w języku ang., np. *span*, które z powodzeniem można zastąpić polskim odpowiednikiem nie wydaje się uzasadnione.
- Bardzo wskazane byłoby uporządkowanie występujących w pracy nazw. Z treści dysertacji wynika, że zaprojektowane prototypowe urządzenie w jednym miejscu określane jest jako „reaktor”, w innym „mieszalnik” (str. 75) a w jeszcze innym jako „układ atomizacji” (str. 105). Jeśli są to różne elementy, wskazane byłoby to wyjaśnić.
- Legendy w rysunkach 72–74 nie są objaśnione, a rysunki 73 i 74 są identyczne.

4.2. Uwagi szczegółowe i pytania

Niektóre uwagi do pracy zostały sformułowane w punkcie 2. niniejszej recenzji. Poniżej przedstawiam pozostałe uwagi szczegółowe i pytania.

- Kolejność podrozdziałów w rozdziale 4 sugeruje, że najpierw zbudowane zostało stanowisko badawcze, a później przeprowadzono symulację numeryczną mieszalnika wielofazowego. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii.
- Z czego wynika, że wartości obskurancji powinny zawierać się w przedziale 5–20% (str. 47)?
- Nie zostało wyjaśnione, jakimi przesłankami kierował się Doktorant przy doborze niektórych parametrów w badaniu wielkości kropel aerozolu, np. częstotliwość próbkowania i przyjęta liczba próbek (str. 48).
- Rys. 53 nie przedstawia widm rozkładu średnic kropel, ale rozkład średnic kropel. Nie wyjaśniono, co oznaczają linie oznaczone kolorem czerwonym i zielonym.
- Na jakiej podstawie przyjęto parametry stanowiska badawczego przedstawione w rozdziale 4.1. (str. 42), np. średnica i długość rury, na której zamontowano modyfikator?
- Jakie kryteria zadecydowały o wyborze konkretnych rodzajów sterowników?
- Jaki był cel stosowania PLC (oznaczonego jako PLC1 na rys. 64) przeznaczonego do rejestracji i przetwarzania danych ze skanerów płomienia? Z informacji zawartych w rozdziale 6 (rys. 63) wynika, że skaner płomienia nie jest elementem systemu dozowania, a jego zadanie z powodzeniem może realizować jeden z komputerów przemysłowych.
- Dlaczego zastosowano aż dwa komputery przemysłowe?
- W jakim celu stosowano czasowo-częstotliwościową analizę danych pomiarowych z wykorzystaniem transformaty falkowej? Z informacji zawartych w rozdziałach 1-6 nie wynika, aby taka analiza była do czegośkolwiek potrzebna, na dodatek przeprowadzana w czasie rzeczywistym.

5. Ocena doboru źródeł literaturowych

Analiza źródeł literaturowych obejmuje łącznie 114 pozycje. Literatura cytowana jest w sposób prawidłowy, a jej zakres wiąże się z tematyką pracy wyjąwszy ostatnią pozycję wymienioną na str. 126. Zdecydowana większość pozycji nie jest starsza niż 10 lat.

6. Podsumowanie

Problem, którym zajmował się w swojej dysertacji Doktorant jest bardzo ważny i aktualny, co znalazło swoje potwierdzenie przyznaniem patentu europejskiemu oraz europejskim zgłoszeniem patentowym. Niezmiernie istotny jest fakt, że zaprojektowane od podstaw urządzenie zostało wdrożone w istniejącym obiekcie przemysłowym. Dysertacja nie jest wolna od niedociągnięć, co jest tym bardziej zrozumiałe, że Autor nie podążał ścieżką rozwoju typową dla środowisk akademickich, lecz jest praktykiem dobrze orientującym się w realiach przemysłowych. Uważam, że cele częściowe postawione w pracy zostały osiągnięte, a teza udowodniona.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Zdzisława Bieleckiego „Sterowanie w układach z przepływem wielofazowym” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789), oraz zgodnie z Ustawą z 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.) w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne i wnosze o przyjęcie rozprawy i jej dopuszczenie do publicznej obrony.

dr hab. inż. Andrzej Kotyra