



Prof.dr hab.inż. Zbigniew Łukasik

Radom 12.09.2023

Katedra Automatykacji Procesów i Logistyki

Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki

Uniwersytet Radomski im. K. Pułaskiego w Radomiu

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Żaklin Grądz p.t. "Wykorzystanie miękkich metod hybrydowych do diagnostyki procesu spalania".

1. Podstawa opracowania recenzji.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska p.t. "Wykorzystanie miękkich metod hybrydowych do diagnostyki procesu spalania" wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. Inż. Waldemara Wójcika z Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej.

Recenzja została opracowana na zlecenie prof.dr hab.inż. Piotra Kisały Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Lubelskiej na podstawie przesłanej rozprawy doktorskiej pod w/w tytułem.

2. Charakterystyka rozprawy.

Przedstawiona rozprawa liczy 145 stron druku wraz ze spisem literatury w liczbie 135 pozycji i trzech załączników. Przedstawiona bibliografia w pełni odzwierciedla stan wiedzy z zakresu technologii spalania, charakterystyki paliw, metod diagnostycznych, przetwarzania sygnałów oraz klasyfikatorów stanów procesu spalania pozwalających na uzyskanie informacji dotyczących stanów bliskich zakresom charakteryzującym się zwiększoną emisją zanieczyszczeń lub stanom awaryjnym. Dobór literatury jest celowy i poprawny.

Rozprawa składa się z 8 rozdziałów merytorycznych w tym wstępu i wniosków. Materiał ilustracyjny jest czytelny i obejmuje dokonania mgr inż. Żaklin Grądz w zakresie zastosowania klasycznych algorytmów oraz wybranych metod sztucznej inteligencji w analizie sygnałów oraz diagnostyce procesu spalania. Układ pracy nie budzi moich zastrzeżeń, a użyta terminologia jest prawidłowa i zrozumiała.

3. Ocena podjętego tematu.

W Polsce , jak również w wielu innych krajach świata, energetyka nadal oparta jest na spalaniu paliw kopalnych. Regulacje prawne , zmuszające podmioty produkujące energię elektryczną i ciepłą do współspalania biomasy , niosą za sobą pewne znaczące konsekwencje. Jedną z najpoważniejszych jest zwiększenie trudności w utrzymaniu odpowiedniego reżimu technologicznego procesu spalania. Ponadto, techniki spalania niskoemisyjnego również stanowią wyzwanie podczas kontroli i nadzoru nad procesem spalania. To wszystko, w perspektywie wieloletniej jeszcze dominacji opartej na węglu , prowadzi do prób poszukiwania optymalnych metod zarówno diagnostyki, jak i sterowania procesu spalania. Optymalnych, to znaczy uwzględniających parametry ekonomiczne i ograniczenia ekologiczne. Obszar badawczy, którego dotyczy rozprawa doktorska to diagnostyka procesu spalania pyłu węglowego oraz biomasy z wykorzystaniem algorytmów klasycznych i sztucznej inteligencji, jako metod hybrydowych oraz danych o jego stanie pochodzących z sygnałów generowanych przez płomień. Wynika to bezpośrednio z faktu, że to właśnie płomień , według Doktorantki , stanowi najszybszy i najistotniejszy nośnik informacji o stanie procesu spalania. Rozprawa wpisuje się w obszar badań zmierzających do zwiększenia kontroli procesu spalania poprzez wykrycie anomalii i stanów awaryjnych . Cel ten, realizowany jest poprzez wykorzystanie światłowodowego układu monitorowania procesu spalania z którego sygnały zostały poddane analizie z wykorzystaniem metod analizy w dziedzinie czasowej, częstotliwościowej oraz czasowo-częstotliwościowej. Pozwala to na wyznaczanie parametrów ,które mogą być użyte do określania obszarów normalnego stanu procesu oraz stanów awaryjnych.

Wykorzystanie algorytmu prognozowania zmian parametrów procesu pozwala na wcześniejsze określenie możliwości zbliżenia procesu do jego stanu awaryjnego.

Przeprowadzone badania klasyfikacji stanów procesu spalania z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji pozwoliły na opracowanie hybrydowego modelu klasyfikacji wykorzystującego zalety zarówno klasycznych metod , jak i prognoz wyznaczanych w oparciu o model ARIMA, wykorzystane modele który pozwala na dostarczenie informacji do operatora procesu pozwalającej na podjęcie decyzji dotyczących sterowania przebiegiem procesu. Motywy, którymi kierowała się Doktorantka przy wyborze rozwiązań , są wyjaśnione w pracy. Chociaż wykorzystane modele noszą znamiona algorytmów suboptymalnych, to w ramach przeprowadzonych analiz realizują zadania diagnostyczne w sposób satysfakcjonujący.

Praca w dużej mierze ma charakter teoretyczny ,a w część praktyczną wpisują się pomiary w Instytucie Energetyki w Warszawie. Praca w części charakteryzującej suboptymalną strukturę diagnostyki złożonego procesu spalania zawiera znaczną ilość materiału ilustracyjnego. Stanowi to niewątpliwy walor pracy, gdyż pozwala na łatwiejsze zapoznanie się z tematyką, którą stanowi złożona problematyka procesu spalania pyłu węglowego z biomasą. Praca ma charakter rozwojowy i w wielu obszarach nie wyczerpuje tematyki badawczej, natomiast pokazuje kierunek możliwych przyszłych badań i analiz.

4. Analiza i ocena merytoryczna rozprawy.

W pierwszym rozdziale rozprawy, który stanowi wstęp, zawarto wprowadzenie do tematyki podjętej w dysertacji. Rozdział ten jest syntetycznym przeglądem literaturowym, związanym z podjętą tematyką. W szerokim ujęciu zaprezentowano aspekty społeczne, ekonomiczne i ekologiczne stojące u podstaw energetyki zawodowej. Zaprezentowane są przemyslenia Doktorantki, odnoszące się do energetyki opartej na węglu oraz jego współspalaniu z biomasą. Przedstawiono również uzasadnienie wykorzystania analizy sygnałów pochodzących

z płomienia w zaproponowanych algorytmach diagnostyki złożonego procesu, którym jest proces spalania. Zakres i jakość przeglądu literatury świadczy o dużych umiejętnościach Doktorantki w poruszaniu się w podejmowanym temacie.

Rozdział drugi zawiera tezę, cel oraz zakres pracy. Sformułowana teza brzmi : Analiza procesu spalania pyłu węglowego oraz jego współspalania z biomasą pozwoli na wyznaczenie parametrów diagnostycznych oraz ich wartości, które umożliwią na eksploatację palnika zapewniającą jego bezpieczną pracę oraz emisję zanieczyszczeń do atmosfery na akceptowalnym poziomie.

Za cel rozprawy przyjęto dobór algorytmu pozwalającego na uzyskanie informacji o wystąpieniu parametrów świadczących o zagrożeniu lub zwiększonej emisyjności. Będzie on realizowany na podstawie przeprowadzonych badań, które pozwolą na określenie warunków jakie muszą być spełnione dla wyznaczenia parametrów procesu spalania pyłu węglowego oraz jego współspalania z biomasą, dzięki którym możliwe będzie przeprowadzenie jego diagnostyki.

Rozdział trzeci stanowi przegląd metod diagnostycznych procesu spalania. Rozdział ten jest ważnym elementem pracy wprowadzającym do zagadnień diagnostyki technicznej procesu spalania oraz jej realizacji w warunkach przemysłowych. Doktorantka przybliży tutaj najistotniejsze jej zdaniem innowacyjne metody diagnostyki technicznej. Z uwagi na obszerność i trudność zagadnienia , scharakteryzowane zostały wykorzystywane w tym zakresie metody diagnostyczne pozwalające na detekcję uszkodzeń, lokalizację i rozpoznawanie stanów. Mają one charakter przeglądu, ale są jednak skonstruowane spójnie i logicznie. Bardzo trafny jest ostatni podrozdział , który zawiera określenie celów diagnostyki procesu spalania pyłu węglowego oraz jego współspalania z biomasą. Podkreślone zostało tutaj uzyskiwanie szybkiej i precyzyjnej informacji o zaburzeniu w procesie spalania, co pozwala na zastosowanie czynności zabezpieczających, dzięki którym możliwe jest uniknięcie lub ograniczenie ewentualnych skutków awarii .Wykorzystywane w pracy dane pomiarowe pochodzą z najbardziej wrażliwej strefy płomienia, a określone parametry diagnostyczne w tak złożonym procesie są niezmiernie przydatne operatorom prowadzącym proces.

Rozdział czwarty poświęcony jest przedstawieniu znaczenia procesu spalania z określeniem podstaw tego procesu , w tym informacji dotyczących rodzajów płomieni laminarnych i turbulentnych, charakterystyki paliw t.j. węgla kamiennego i biomasy, układów współspalania węgla z biomasą, metody ograniczania emisji zanieczyszczeń do atmosfery oraz ekologicznymi i ekonomicznymi aspektami procesu spalania. Można zatem powiedzieć ,że rozdział ten poświęcony jest charakterystykom paliw oraz metodom spalania zapewniającym ograniczanie emisji zanieczyszczeń oraz uzasadnieniu konieczności monitorowania i diagnostyki tego procesu.

W piątym rozdziale dokonany został przegląd cech i własności sieci neuronowych , w tym opisano sztuczne sieci neuronowe SSN, głębokie sieci neuronowe, rekurencyjne sieci neuronowe. Opisana została logika rozmyta, w tym modele rozmyte Wanga i Mendela, rozmyte sieci neuronowe oraz hybrydowe metody analizy procesu spalania. Rozpatrzone tutaj sieci posłużyły do opracowania klasyfikatorów przedstawionych w rozdziale siódmym.

Rozdział szósty poświęcony jest badaniom eksperymentalnym, gdzie opisano stanowisko pomiarowe wyposażone w światłowodowy układ monitorowania płomienia. Uzyskane dane pomiarowe określające zmiany intensywności świecenia płomienia poddane zostały analizie statystycznej. Na tej podstawie określony został sygnał pochodzący z kanału nr 1 ,jako najbardziej wrażliwy na zmiany warunków prowadzenia procesu spalania. Jest to kanał obejmujący strefę leżącą najbliżej palnika . Sygnały z tej strefy poddane zostały analizie. Dla zmniejszenia ilości danych pomiarowych wykorzystana została metoda downsampling,

którą przeprowadzono dla współczynnika n określającego zmniejszenie częstotliwości próbkowania sygnałów. Analizę przeprowadzono dla n równego 3, 5, 10, 100, 600 oraz 900. Stwierdzono, że n może osiągnąć nawet wartość 100 i nie ma to wpływu na rozkład danych pomiarowych. Do dalszych analiz przyjęto $n=10$. Dla tak przygotowanych danych przeprowadzono analizę trendów występujących sygnałów. Przeanalizowano dane przy trendach, które zbliżają się do wyznaczonych na podstawie decyzji eksperckich (rys.6.16) wielkości granicznych. Przekroczenie górnej granicy powoduje pojawienie się zwiększonej emisji zanieczyszczeń, zaś przekroczenie dolnej granicy może doprowadzić do zaniku płomienia, co z kolei może prowadzić do wybuchu. Stąd bardzo ważne jest śledzenie trendów pojawiających się w danych z płomienia. Do analizy danych pomiarowych zastosowana została również analiza falkowa, transformata Fouriera oraz modele ARMA opisujące zmniejszone szeregi czasowe. Na podstawie transformaty Fouriera widać, że sygnały niosące dużą energię mają niskie częstotliwości (poniżej 10Hz), zaś rozwinięcia falkowe pokazują, że detale mają częstotliwości sięgające nawet 500Hz, przy bardzo niskiej energii.

Wyznaczone modele ARMA bardzo dobrze opisują uzyskiwane szeregi czasowe, przy których prognozy jednokrokowe dają bardzo dobre wyniki, zaś prognozy przedstawione na rysunkach 6.32, 6.36, 6.37, 6.38 i 6.39 świadczą o możliwości wykorzystania ich zarówno w diagnostyce jak i sterowaniu procesem spalania.

Rozdział ten jest istotnym wkładem w badaniach dotyczących diagnostyki procesu spalania.

Rozdział siódmy dotyczący klasyfikacji stanów płomienia zawiera zastosowanie rozmytych sieci neuronowych i rekurencyjnych sieci neuronowych. Na podstawie uzyskanych wyników przy zastosowaniu modeli rozmytych najlepsze rezultaty wykazał model ANFIS z partycjonowaniem siatki (GP), a przy rekurencyjnych sieciach neuronowych najlepsze rezultaty daje zastosowanie sieci ConvLSTM.

Wyniki uzyskane w rozdziale szóstym oraz zaprezentowane w rozdziale siódmym stały się podstawą do konstrukcji hybrydowego modelu klasyfikacji stanów płomienia przedstawionego na rys. 7.15. Wyniki uzyskane w hybrydowym algorytmie analizy danych pomiarowych mających na celu diagnostykę procesu spalania dostarczane są do operatora procesu, który podejmuje decyzje dotyczące sterowania procesem spalania.

Należy podkreślić, że rozdziały szósty i siódmy stanowią zasadniczy element dysertacji. Rozdziały te zawierają przemyślenia o autorskim charakterze i dlatego można stwierdzić, że są to rozdziały najbardziej wartościowe w całej pracy. Przekaz idei zastosowania sugerowanych rozwiązań diagnostyki procesu sterowania jest zwięzły i czytelny.

Rozdział ósmy to podsumowanie rozprawy i wnioski, co pozwala na stwierdzenie osiągnięcia postawionego celu pracy i udowodnienie jej tezy. W oparciu o sformułowane wnioski wykazana została przydatność zaproponowanego rozwiązania oraz potrzeba i kierunki dalszych badań.

5. Uwagi szczegółowe.

Zarówno teza jak i cele pracy zostały sformułowane w sposób prawidłowy i rzetelny nie budzący wątpliwości. Praca w sposób spójny zrealizowana została według nakreślonego celu, co pozwoliło na udowodnienie postawionej tezy. Przyjęta metodyka postępowania jest logiczna, bowiem

przeprowadzona jest od zdefiniowania potrzeb i wymogów, poprzez analizy z wykorzystaniem metod klasycznych i sztucznej inteligencji. Praca w dużej mierze ma charakter teoretyczny. Wskazuje kierunki i obszary dalszych badań. Analizowane sygnały uzyskane są w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem światłowodowego układu monitorowania płomienia, stanowiąc materiał służący do badań analitycznych wykonanych w środowisku Matlab. Podjęte zadanie diagnostyki procesu spalania z wykorzystaniem sygnałów optycznych ma charakter suboptymalny i wydaje się, że wymaga dalszych badań, co wskazuje sama Doktorantka. Proponuje ona badania pozwalające na opracowanie metody realizacji diagnostyki w warunkach przemysłowych w czasie rzeczywistym przy uwzględnieniu charakterystyki emisji SO_x, NO_x i CO w zależności od warunków procesu, a także rodzaju spalanego paliwa. Pomimo tego, zaproponowane hybrydowe rozwiązanie stanowi ważny element pracy.

Za osiągnięcia własne Doktorantki uważam:

- umiejętność przeprowadzenia rozległego eksperymentu badawczego, od akwizycji danych, w tym informacji z płomienia do syntezy hybrydowego algorytmu diagnostycznego
- trafny wybór (ze względu na specyfikę obiektu) hybrydowego podejścia wykorzystującego klasyczne metody analizy czasowej, częstotliwościowej oraz czasowo-częstotliwościowej, a także sztucznych sieci neuronowych
- opracowanie hybrydowego algorytmu do klasyfikacji stanów płomienia, który rozróżnia stany niezależnie od używanego rodzaju spalanego paliwa
- zastosowanie cech płomienia jako źródła nieinwazyjnej i aktualnej informacji o procesie spalania, co wymaga odpowiednich zabiegów analitycznych

Do słabszych stron pracy, które Doktorantka powinna wyjaśnić zaliczam:

- brak wyczerpującego uzasadnienia, dlaczego w układzie diagnostycznym wykorzystuje się sygnały z optoelektronicznego układu monitorującego
- brak analiz wpływu rodzaju spalanego węgla oraz jego współspalania z biomasą na parametry procesu
- w rozprawie przedstawiono wyniki klasyfikacji binarnej i wieloklasowej w rozpoznawaniu stanów płomienia na podstawie danych pomiarowych w postaci szeregów czasowych, a do rozwiązania problemu zastosowano rekurencyjne i rozmyte sieci neuronowe
- w rozdziale 7.3 w modelu hybrydowym do wyznaczania prognoz Doktorantka przedstawia zastosowanie modelu ARIMA, a w rozdziale 6.3 wyniki badań są dla modelu ARMA

Powyższe uwagi nie wpływają na całościowy odbiór pracy, który uważam za pozytywny

6. Podsumowanie i konkluzja

Zapoznając się szczegółowo z przedstawioną do oceny rozprawą doktorską stwierdzam, że:

- a) przedstawiona w rozdziale drugim teza rozprawy została udowodniona poprzez
- zaprezentowanie koncepcji systemu diagnostycznego uwzględniającego informacje z podsystemów oraz parametry oceny stanu płomienia z wykorzystaniem metod optycznych,
- opracowanie i weryfikacja zaproponowanego układu diagnostyki złożonego procesu.

b) cel rozprawy został osiągnięty w zakresie sformułowanym przez Doktorantkę

c) tematyka pracy jest aktualna i dobrze nawiązuje zarówno do wiedzy teoretycznej jak i praktyki

d) wskazana została potrzeba i perspektywy przyszłych badań zmierzających do opracowania systemu wykorzystującego pomiary realizowane w czasie rzeczywistym z możliwością wykorzystania go w warunkach przemysłowych.

Z powyższego wynika, że Doktorantka posiada kompetencje do samodzielnego prowadzenia badań naukowych i cechuje się znaczną wiedzą w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

W moim przekonaniu Doktorantka wykazała się umiejętnością formułowania problemu, jego samodzielnego rozwiązania i zbadania przydatności, potwierdzając zasadność zastosowanej teorii i narzędzi w jej zastosowaniu oraz umiejętność wyciągania wniosków. Zamierzony cel pracy został osiągnięty, a teza udowodniona.

Reasumując uważam, że rozprawa mgr inż. Żaklin Grądz p.t. "Wykorzystanie miękkich metod hybrydowych do diagnostyki procesu spalania" spełnia wymagania stawiane pracom promocyjnym na stopień doktora nauk technicznych i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

