

Politechnika Lubelska  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki  
Instytut Elektroniki i Technik  
Informacyjnych

Załącznik nr 3a  
do wniosku o przeprowadzenie postępowania  
habilitacyjnego w dziedzinie nauk technicznych  
w dyscyplinie elektrotechnika

---

# AUTOREFERAT

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć  
naukowych związanych z postępowaniem  
habilitacyjnym

Konrad Gromaszek

---

Lublin 2019

Załącznik nr 3a  
do wniosku o przeprowadzenie  
postępowania habilitacyjnego w  
dziedzinie nauk technicznych  
w dyscyplinie elektrotechnika

Lublin 04.03.2019 r.

dr inż. Konrad Gromaszek  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki  
Politechnika Lubelska  
Ul. Nadbystrzycka 38A  
20-618 Lublin

## Autoreferat

Przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych  
związanych z postępowaniem habilitacyjnym

<i>I. Imię i nazwisko</i> .....	1
<i>II. Uzyskane wykształcenie i stopnie naukowe</i> .....	1
<i>III. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych</i> .....	2
<i>IV. Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego*</i> .....	2
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego .....	2
4.2. Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania .....	2
<i>V. Przebieg pracy naukowej</i> .....	20

## I. Imię i nazwisko

Konrad Gromaszek

## II. Uzyskane wykształcenie i stopnie naukowe

### *Stopień naukowy doktora nauk technicznych*

jednostka nadająca stopień: Wydział Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej  
data nadania stopnia: 20 grudnia 2006 r.,  
dyscyplina: elektrotechnika,  
specjalność: automatyka,  
tytuł rozprawy: Sterowanie zespołem krajalnic w procesie fabrykacji cukru  
promotor rozprawy: dr hab. inż. Waldemar Wójcik, prof. PL

### *Tytuł magistra inżyniera elektrotechnika*

jednostka nadająca stopień: Wydział Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej, Lublin University of Technology  
data nadania stopnia: 20 czerwca 2002 r.,  
kierunek: elektrotechnika,  
specjalność: Inżynierskie zastosowania informatyki,  
temat pracy magisterskiej: Administracja serwerem bazy danych Oracle 8.  
promotor rozprawy: dr inż. Piotr Muryjas  
ocena ukończenia studiów: bardzo dobry

### *Studia podyplomowe w zakresie „Od pomysłu do komercjalizacji”*

miejsce ukończenia studiów: Wydział Zarządzania Uniwersytetu Łódzkiego  
data uzyskania świadectwa: 6 marca 2010 r.,  
ocena ukończenia studiów: bardzo dobry

### *Studia podyplomowe w zakresie „Public relations w badaniach naukowych”*

miejsce ukończenia studiów: Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie  
data uzyskania świadectwa: 25 czerwca 2010 r.,  
ocena ukończenia studiów: bardzo dobry

### *Studia podyplomowe w zakresie „Zarządzania projektami badawczymi i pracami rozwojowymi”*

miejsce ukończenia studiów: Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie  
data uzyskania świadectwa: 26 czerwca 2009 r.,  
ocena ukończenia studiów: bardzo dobry



### III. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Okres zatrudnienia	Jednostka naukowa
1.VII.2018 – obecnie	starszy wykładowca, Instytut Elektroniki i Technik Informatycznych Politechnika Lubelska
1.IV.2012 – 31.VI.2018	adiunkt, Instytut Elektroniki i Technik Informatycznych Politechnika Lubelska
1.I. 2007 – 31.III.2012	adiunkt, Katedra Elektroniki Politechnika Lubelska
1.XI.2002 – 31.XII.2006	asystent, Katedra Automatyki i Metrologii, Politechnika Lubelska

### IV. Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego\*

#### 4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe, w rozumieniu art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.), będące podstawą do wszczęcia i przeprowadzenia postępowania habilitacyjnego, habilitant przedstawia monografię pod tytułem:

#### **Zaawansowane techniki sterowania procesem spalania pyłu węglowego**

Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2019, ISBN 978-83-7947-359-5.

Recenzent wydawniczy: prof. dr hab. inż. Wojciech Mitkowski.

#### 4.2. Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

#### **Zaawansowane techniki sterowania procesem spalania pyłu węglowego**

Wskazane osiągnięcie naukowe dotyczy wybranych metod sterowania adaptacyjnego procesem spalania pyłu węglowego z różnego rodzaju modelami prognostycznymi. Zagadnienie to ma charakter interdyscyplinarny, ponieważ z jednej strony dotyczy zaawansowanych algorytmów sterowania złożonym procesem, natomiast z drugiej – jego praktyczne wykorzystanie dotyczy zagadnień zrównoważonej energetyki.

Pierwszy z aspektów wymagał przeglądu literatury na rzecz systemowej analizy zaawansowanych technik sterowania, wychodząc od klasycznych technik projektowania regulatorów po sterowanie adaptacyjne. W wyniku, przedstawiono stan wiedzy odnośnie



sterowania złożonymi procesami. Zaproponowano wykorzystanie klasy metod sterowania, które są stosunkowo dobrze ugruntowane w praktyce przemysłowej oraz posiadają potencjał dla ich pozytywnej weryfikacji praktycznej. Przedstawione podejście wyróżnia zastosowanie dodatkowego źródła informacji w postaci sygnałów z optycznego systemu diagnostycznego oraz modeli opartych na wybranych strukturach głębokich sieci rekurencyjnych. Z kolei, drugi aspekt dotyczy próby zwiększenia efektywności procesu spalania w kotle energetycznym z uwzględnieniem unijnych norm emisyjnych, prowadzących w konsekwencji do zrównoważonej energetyki oraz zrównoważonej inżynierii środowiska.

Celami naukowymi zaprezentowanego osiągnięcia są:

- dokonanie analizy uwarunkowań oraz opracowanie algorytmu sterowania kotłem pyłowym, w którym realizowane jest spalanie pyłu węglowego i współspalanie biomasy;
- zwiększenie efektywności spalania, przy jednoczesnym zachowaniu narzuconych wymogów ekonomiczno-ekologicznych;
- opracowanie oryginalnych modeli przeznaczonych do sterowania procesem spalania;
- wykorzystanie optycznych sygnałów diagnostycznych w algorytmie sterowania procesem spalania do prognozowania emisji NO<sub>x</sub> oraz optymalizacji pracy kotła (ze względu na ograniczenia emisyjne);
- opracowanie i zastosowanie struktur algorytmów sterowania z modelem referencyjnym, w tym także modeli głębokiego uczenia (ang. *Deep Learning*, DL), a w szczególności użycie pamięci dłuższej krótkotrwałej (ang. *Long Short-Term Memory*, LSTM);
- przeprowadzenie dyskusji na temat odpornego sterowania procesem spalania w ramach zaproponowanej klasy algorytmów;
- zastosowanie hybrydowej struktury rekurencyjnej z wykorzystaniem głębokiej sieci neuronowej, obejmującej złożony algorytm EWT-LSTM-RELM-IEWT do sterowania procesem spalania pyłu węglowego.

Przeprowadzone badania pozwalają na opracowanie metod sterowania procesem spalania pyłu węglowego i współspalania biomasy dla celów energetycznych. Dla osiągnięcia założonych celów zostały opracowane i symulacyjnie zweryfikowane algorytmy sterujące. Istnieje również możliwość zastosowania zaproponowanych w monografii rozwiązań do innych, złożonych procesów, w których ze względu na ich dynamikę, nieliniowy charakter oraz dużą zmienność parametrów wymagana jest szybka i bezpieczna reakcja układu sterowania.

Proces spalania, stanowi przebiegającą w gwałtowny sposób reakcję utleniania, której towarzyszy wydzielanie ciepła i światła. Jest on skojarzony ze zjawiskami transportu reagentów i produktów. Z kolei, obserwowalną strefą, gdzie zachodzą te zjawiska jest płomień. Może być on użyty jako bezpośrednie źródło informacji o procesie spalania. W skali przemysłowej, proces spalania pyłu węglowego występuje przede wszystkim w kotłach energetycznych. Jest on optymalizowany w celu uzyskania pożądanego celu sterowania. Ze względu na zmienność warunków pracy kotła, duże opóźnienia i trudności



w pomiarach parametrów procesu, diagnostyka i sterowanie takim obiektem staje się zagadnieniem bardzo złożonym.

Większość współczesnych prac badawczych w zakresie technik spalania węgla koncentruje się na całkowitym spalaniu tego paliwa oraz minimalizacji emisji szkodliwych substancji. W celu ograniczenia zanieczyszczenia środowiska, wiele krajów wprowadziło ograniczenia emisji tlenków azotu. Kraje zrzeszone w Unii Europejskiej od roku 2016, muszą ograniczyć te emisje do  $200\text{mg NO/Nm}^3$  [2,12,17]. W odpowiedzi, opracowane zostały metody pozwalające na sprostanie przyjętych wytycznych. Dzielą się one na metody pierwotne i wtórne ograniczania emisji do atmosfery związków toksycznych  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  oraz  $\text{CO}_2$ .

Metody pierwotne zmniejszania  $\text{NO}_x$  w spalinach mogą być realizowane poprzez modyfikację procesu spalania, tj. modernizację układu paleniskowego wykorzystując niestechiometryczne spalanie, palniki niskoemisyjne, palniki ze stopniowaniem paliwa, palniki z recyrkulacją gazów, recyrkulację spalin, doprowadzenia do komory spalania, dodatkowego paliwa węglowodorowego, selektywnej redukcji niekatalitycznej (SNCR), a także wody lub pary, czy też przez modyfikację konstrukcji kotłów (z uwzględnieniem m.in. rodzaju paleniska, obciążenia cieplnego komory, rodzaju i rozmieszczenia palników, kątów nachylenia palników, zmian obciążenia palników itp.).

Metody wtórne redukcji zanieczyszczeń w spalinach mogą być realizowane poprzez zastosowanie selektywnej redukcji katalitycznej (SCR) oraz zastosowanie metod jednoczesnego usuwania dwutlenku siarki i tlenków azotu, które można ogólnie podzielić na metody mokre, stosujące proces oczyszczania w układzie ciecz-gaz oraz metody suche, realizujące proces usuwania toksycznych składników spalin w układzie ciało stałe-gaz.

O ile metody wtórne charakteryzują się wysoką sprawnością redukcji zanieczyszczeń w spalinach oraz pewnością działania, to nie znalazły powszechnego zastosowania, głównie z powodu znacznych kosztów inwestycyjnych, jak i eksploatacyjnych.

Warto podkreślić, że metody pierwotne są szeroko stosowane ze względu na korzystny stosunek stopnia redukcji do kosztów. Niemniej, jednak wymagają one stosowania skomplikowanego systemu kontroli i sterowania procesem spalania, a w wyniku ich wprowadzenia należy liczyć się ze zwiększonym udziałem niezupełnego spalania. Dlatego o wykorzystaniu konkretnego sposobu redukcji powinna decydować wnikliwa analiza możliwości wprowadzenia zmian w układzie paleniskowym, uwzględniająca jakość spalania paliwa, rodzaj urządzeń paleniskowych i warunki lokalne zakładu.

W starszych instalacjach, upowszechniono palniki niskoemisyjne oraz modyfikacje układów powietrza wtórnego – OFA, recyrkulacji spalin oraz dopalania. Niemniej jednak, od 2016 roku jednostki wykorzystujące paliwa kopalne powinny posiadać także układ DeNO<sub>x</sub>, jak na przykład instalację z podawaniem amoniaku (*Selective Catalytic Reduction*, SCR). Rozwiązania te pozwalają na obniżenie emisji  $\text{NO}_x$  ze względu na pochłanianie przez amoniak w układach DeNO<sub>x</sub>, a degradacja absorbentów aminowych następuje w układach wychwytywania  $\text{CO}_2$  [4].

Optymalizacja procesu pod względem minimalizacji emisji oraz poprawy efektywności w jednostkach opalanych węglem odgrywa istotną rolę w ograniczaniu kosztów obsługi i konserwacji. Kotły w blokach energetycznych posiadają systemy SCADA, dostarczające informacje o pracy elementów układu.

W oparciu o przegląd literatury, w pracy „Zaawansowane techniki sterowania procesem spalania pyłu węglowego” przyjęto założenie, że posiadając odpowiedni model



do prognozowania emisji  $\text{NO}_x$ , istnieje możliwość redukcji szkodliwych substancji. Wybrane przykłady [13,16] dowodzą, że optymalizacja procesu spalania z uwzględnieniem redukcji emisji  $\text{NO}_x$  może stanowić nową, efektywną grupę metod dla układów opalanych węglem. Prawidłowe dopasowanie parametrów pracy układu może być prognozowane z wykorzystaniem różnych modeli, uwzględniających regresje liniową, sztuczne sieci neuronowe, logikę rozmytą, systemy eksperckie itp. W związku z tym, odpowiedni model dla celów prognozowania  $\text{NO}_x$  na podstawie różnych parametrów operacyjnych stanowi jeden z najistotniejszych elementów w schemacie optymalizacji. Wszystkie te elementy stanowiły zachętę do prowadzenia badań nad systemem sterowania procesem spalania w kotle energetycznym z uwzględnieniem ograniczeń emisyjnych.

Zagadnienia poruszane w monografii stanowią rozwinięcie prac badawczych, w których brałem udział po dołączeniu do zespołu w Katedrze Elektroniki w 2007 roku. Obejmowały one badania nad monitorowaniem procesu spalania pyłu węglowego w kotłach energetycznych oraz rozwiązań prowadzących do niskoemisyjnych technik spalania.

Zaangażowanie w zespole badawczym Katedry Elektroniki umożliwiło mi pracę w następujących projektach:

- MNiI nr 13725 (um. 009/R/T0/2007/IT1), "Światłowodowy system monitorująco-diagnostyczny procesu spalania w warunkach przemysłowych paliwa gazowego, mazutu i pyłu węglowego", o wartości: 590 000 PLN.
- Fundusz Badawczy Węgla i Stali UE. RFCR-CT-2008-00009, "Inteligentne sterowanie i optymalizacja elektrownianych kotłów opalanych pyłem węglowym i mieszanką węgla z biomasą – SMARTBURN", o wartości: 650 000 PLN.
- MNiSW nr 33259 (um. 3110/B/T02/2008/35), "System sterowania procesem spalania w kotle energetycznym", o wartości: 457 840 PLN.
- MNiSW nr N N513 324940 (um. 3249/B/T02/2011/40), "Diagnostyka i sterowanie procesem współspalania biomasy i węgla oraz biogazu z wybranymi gazami", o wartości: 480 000 PLN.

We wszystkich tych projektach pełniłem rolę wykonawcy, lokując swoje działania w kierunku dalszego rozwoju algorytmów sterowania procesem spalania pyłu węglowego oraz współspalania pyłu węglowego i biomasy.

Udział we wskazanych projektach, licznych seminariach i konferencjach w zakresie diagnostyki procesów technologicznych uwidoczniał złożoność procesu spalania w warunkach przemysłowych i podkreślił trudności związane z prowadzonymi pomiarami i jego badaniami. Spalanie pyłu węglowego to trójwymiarowy, ciepłno-przepływowy proces, w którym występuje wiele sprzężonych ze sobą zjawisk fizycznych i chemicznych. Z powodu trudnych warunków, panujących w kotle pyłowym, jego diagnoza jest utrudniona. Stąd, projektowanie nowych rozwiązań czy modernizacja istniejących kotłów obarczona jest ryzykiem. Jednym ze sposobów zmniejszenia tego ryzyka jest zastosowanie modelowania, obejmującego podejścia oparte na modelowaniu fizycznym i matematycznym. Dzięki rozwojowi tańszych i bardziej elastycznych metod modelowania numerycznego, rola modelowania fizycznego znacząco zmalała.

Modele spalania pyłu węglowego muszą uwzględniać wiele równocześnie zachodzących i w różnym stopniu oddziałujących na siebie procesów, rozpatrywanych w dwu- lub

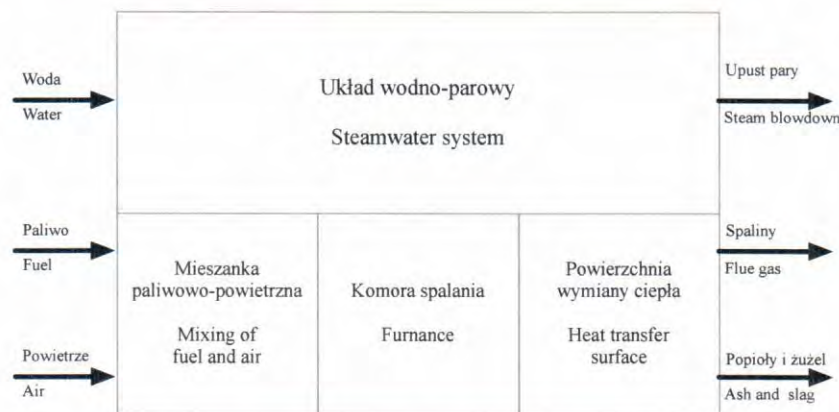


trójwymiarowej przestrzeni. Należą do nich przede wszystkim aerodynamika przepływu i turbulencje ruchu cząstek, przekazywanie ciepła oraz kinetyka chemiczna reagowania gazów i ciał stałych.

### Modelowanie procesu spalania

W instalacjach energetycznych można wydzielić wiele podsystemów, które obejmują: dostarczanie paliwa, wody, spalanie paliw (komora spalania), układ wytwarzania pary, układ turbina i generator oraz układ bezpieczeństwa kotła. Stąd opracowanie modelu holistycznego (całościowego) tak skomplikowanego procesu stanowi bardzo trudne wyzwanie. Z tego powodu, na ogół dokonuje się dekompozycji, tj. podziału na mniejsze części, opisujące pewne podukłady bądź moduły, ze względu na realizowane funkcje czy konkretne zadania. Niewątpliwą zaletą modularności jest uproszczenie analizy i walidacji zaproponowanych rozwiązań.

Na rysunku 1 przedstawiono uogólniony schemat blokowy układu z kotłem pyłowym, z uwzględnieniem jego poszczególnych podsystemów.



Rys.1. Uogólniony schemat blokowy układu z kotłem pyłowym

Punktem wyjścia dla opracowania klasycznych modeli matematycznych jest opis zjawisk fizycznych i fizyko-chemicznych danego układu z użyciem zasady zachowania energii, bilansu cieplnego oraz równowagi masowej [9]. Na podstawie opisu matematycznego zjawisk zachodzących w kotłach [11] opracowano matematyczny model komory spalania i wykorzystano go do porównania różnych rozwiązań konstrukcyjnych. Niestety, w większości przypadków brak było spójności pomiędzy danymi pomiarowymi dla konkretnych warunków pomiarowych, a zmiennymi, niezbędnymi dla wykorzystania modelu. Wymagało to prowadzenia dalszych badań w zakresie identyfikacji parametrycznej zjawiska na podstawie zgromadzonych danych.

Ze względu na silne nieliniowości, złożoność oraz dużą dynamikę procesu spalania, w praktycznych algorytmach diagnostyki i sterowania, pożądane są modele szczegółowe oraz jednocześnie niezłożone obliczeniowo. Zaprezentowane w monografii metody heurystyczne, pozwalają na efektywne znajdowanie rozwiązań przybliżonych, na podstawie których później wylicza się ostateczny rezultat. Ograniczeniem tych rozwiązań jest brak bezpośredniej wiedzy o stanie modelu oraz brak wiedzy o odpowiedzi modelu neuronowego dla niestandardowego zakresu sygnałów wejściowych.