

Prof. dr hab. inż. Jan Sikora,  
Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie  
Wydział Transportu i Informatyki  
ul. Projektowa 4, 20-148 Lublin,  
Tel. kom.: 690 462 801,  
e-mail: [sik59@wp.pl](mailto:sik59@wp.pl)

Warszawa 26.09.2019

## RECENZJA

dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego

**dr inż. Konrada Gromaszka**

w związku z postępowaniem habilitacyjnym w dziedzinie nauk technicznych w  
dyscyplinie elektrotechnika

Opinia opracowana na podstawie postanowienia Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów z dnia 07.06.2019 r. i zlecenia Pani Dziekan Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej z dnia 19.08.2019 r., znak E/Hab.-29-2019/262/2019.

### A. OCENA OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH KANDYDATA

#### 1. Ważniejsze dane z zawodowego życiorysu kandydata

Pan dr inż. Konrad Gromaszek ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Lubelskiej, na kierunku: elektrotechnika, specjalność: inżynierskie zastosowania informatyki w roku 2002, uzyskując tytuł magistra inżyniera. Stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie elektrotechnika uzyskał w 2006 roku, na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej.

Tytuł rozprawy doktorskiej brzmiał: *“Sterowanie zespołem krajalnic w procesie fabrykacji cukru”*, której promotorem był dr hab. inż. Waldemar Wójcik, prof. PL. Recenzentami zaś: prof. dr hab. inż. Wojciech Mitkowski (Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie) i dr hab. inż. Wojciech Jarzyna (Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Politechnika Lubelska).

Podstawowe daty z życiorysu naukowego Habilitanta:

- |           |   |
|-----------|---|
| 2002-2006 | asystent w Katedrze Automatyki i Metrologii na Wydziale Elektrycznym Politechniki Lubelskiej  |
| 2007-2018 | asystent w Instytucie Elektroniki i Technik Informacyjnych (do 1.04.2012 - Katedrze Elektroniki) na Wydziale Elektrycznym Politechniki Lubelskiej |

od 1.07.2018 starszy wykładowca w Instytucie Elektroniki i Technik Informatycznych na Wydziale Elektrycznym Politechniki Lubelskiej

Przedstawiony do oceny dorobek Habilitanta stanowi podsumowanie wieloletnich badań naukowych związanych z zastosowaniem zaawansowanych metod sterowania procesem spalania pyłu węglowego.

Po doktoracie, obronionym w 2006 roku w dalszym ciągu interesuje się algorytmami sterowania, ale jego uwagę przyciąga znacznie trudniejszy obiekt, jakim jest przemysłowy proces spalania. Wymusza to zmianę podejścia do zagadnienia, które ma charakter interdyscyplinarny, ponieważ z jednej strony dotyczy zaawansowanych algorytmów sterowania złożonym procesem, natomiast z drugiej – ich praktyczne wykorzystanie w obszarze zrównoważonej energetyki.

Ze względu na złożoność procesu oraz szereg stawianych mu wymogów od stricte technologicznych, poprzez ekonomiczne, na ekologicznych (środowiskowych) skończywszy okazuje się, że stosowane obecnie rozwiązania, w tym metody sterowania nie są w stanie zagwarantować pożądanej efektywności procesu. W związku z tym wymagane jest opracowanie nowych, zaawansowanych technik sterowania. W pracy podjęto próbę systemowej analizy tego rodzaju technik sterowania, wychodząc od klasycznych technik projektowania regulatorów po sterowanie adaptacyjne. Zaproponowano wykorzystanie klasy metod sterowania, które są stosunkowo dobrze ugruntowane w praktyce przemysłowej, a jednocześnie posiadają potencjał ich pozytywnej weryfikacji praktycznej. Dodatkowo, w zaproponowanym podejściu zastosowano dodatkowe źródła informacji w postaci sygnałów z optycznego systemu diagnostycznego oraz modeli opartych na wybranych strukturach głębokich sieci rekurencyjnych.

Do celów naukowych zaprezentowanego osiągnięcia można zaliczyć:

- 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 długiej 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.

Zaproponowane rozwiązania dotyczą próby zwiększenia efektywności procesu spalania w kotle energetycznym z uwzględnieniem unijnych norm emisyjnych, prowadzących w konsekwencji do zrównoważonej energetyki oraz zrównoważonej inżynierii środowiska.

Zasadniczym celem naukowym przedstawionej do oceny monografii Autora, było opracowanie i zastosowanie zaawansowanych algorytmów sterowania złożonym procesem, jakim jest spalanie pyłu węglowego. W pracy przedstawiono badania dotyczące opracowania praktycznych, wybranych metod sterowania adaptacyjnego, z różnego rodzaju modelami prognostycznymi, analizy wieloparametrycznej oraz sztucznych sieci neuronowych.

W autoreferacie w staranny i uporządkowany sposób Kandydat szczegółowo omawia swoje naukowe dokonania, które nie budzą moich wątpliwości. Zwraca uwagę bardzo szeroki wachlarz podejmowanych prac, głównie w ramach projektów badawczych europejskich i krajowych. Habilitant w okresie 13-tu lat zgromadził znaczny dorobek, na który zapewne miał wpływ jego bezpośredni nauczyciel Prof. Waldemar Wójcik. Warto podkreślić, że zagadnienia poruszane w monografii stanowią rozwinięcie prac badawczych, w których Kandydat brał 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. Z powodu trudnych warunków, panujących w kotle pyłowym, jego diagnoza jest utrudniona. Na obniżenie związanego z tym ryzyka pozwala zastosowanie modelowania, obejmującego podejścia oparte na modelowaniu fizycznym i matematycznym. Z tego względu większość badań ma charakter symulacyjny, choć bazuje na pomiarach z procesu. Tematyka jest nowoczesna, trudna i zgodnie z moją najlepszą wiedzą, zespół, którego członkiem jest Habilitant, jest jednym z niewielu zespołów w Polsce zajmujących się tego typu badaniami.

Kandydat zaproponował wykorzystanie sterowania adaptacyjnego z różnymi referencyjnymi modelami prognostycznymi. Dominującym nurtem omawianych zagadnień jest klasa algorytmów adaptacyjnych z modelem referencyjnym – Model Predictive Control.

Warto podkreślić, że opis zjawisk fizycznych i fizyko-chemicznych danego układu z użyciem zasady zachowania energii, bilansu cieplnego oraz równowagi masowej został użyty do opracowania klasycznych modeli matematycznych. Na podstawie opisu matematycznego zjawisk zachodzących w kotłach dr Konrad Gromaszek opracował matematyczny model komory spalania i wykorzystał go do porównania różnych rozwiązań konstrukcyjnych. Uwzględnia on klasyczne metody regulacji z użyciem regulatora PID. Ze względu na fakt, że modele procesu spalania pyłu węglowego muszą uwzględniać wiele równocześnie zachodzących i w różnym stopniu oddziałujących na siebie procesów, rozpatrywanych w dwu- lub trójwymiarowej przestrzeni, dla większości przypadków wykazano brak 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.



Z uwagi na silne nieliniowości, złożoność oraz dużą dynamikę procesu spalania, w praktycznych algorytmach diagnostyki i sterowania, pożądane są modele szczegółowe oraz jednocześnie niezłożone obliczeniowo. Habilitant do tego celu wykorzystał sztuczne sieci neuronowe. Dotyczy to przede wszystkim metod głębokiego uczenia. Oryginalnym rozwiązaniem było użycie rekurencyjnych sieci neuronowych z klasyczną strukturą perceptronu wielowarstwowego oraz rozwiązanie długiej pamięci krótkotrwałej (ang. Long Short Term Memory, LSTM), która odcina gradienty w sieci, wszędzie tam, gdzie jest to nieszkodliwe, a jednocześnie wymusza ciągłe przepływy błędów w specjalnych jednostkach multiplikatywnych.

Kolejnym aspektem podejmowanym przez Autora była koncepcja proekologicznego sterowania procesem spalania pyłu węglowego w badawczym stanowisku komory spalania z wykorzystaniem dodatkowych, informacji optycznych. W procesie sterowania użyto informacji z prostych wskaźników geometrycznych jak pole powierzchni oraz długość jego konturu, na podstawie zarejestrowanych obrazów obszaru płomienia. Umożliwiło to estymację parametrów spalania na podstawie rejestrowanych obrazów. Dzięki temu, informacja z optycznego układu diagnostycznego, dotycząca zmian położenia płomienia w przeprowadzonych badaniach symulacyjnych została użyta do sterowania prognostycznego z modelem, utrzymując emisje NOx poniżej narzuconych poziomów.

Habilitant podjął zagadnienie niepewności i sterowania odpornego. Przedstawił wyniki badań symulacyjnych sterowania procesem spalania w strukturze MRAC z modelem NARX, zaimplementowanego w postaci sztucznej sieci neuronowej. Zaprojektowano i porównano dwa systemy MRAC. Pierwszy z nich wykorzystywał nieoptyczny, oparty na pomiarach zbiór wektorów wejściowych, odpowiednio ilościowo opisuje przepływ powietrza wtórnego, koszt paliwa i wektory opisujące odpowiednio temperaturę powietrza w komorze, zapisane w pierwszym punkcie pomiarowym. Drugi schemat wykorzystywał sygnał sterowania przepływem powietrza wtórnego i wybrane deskryptory kształtu płomienia.

Ponadto, Konrad Gromaszek zaproponował metody hybrydowych struktur sztucznych sieci neuronowych do modelowania i sterowania procesem spalania. Do przeprowadzenia badań, uwzględniono trzy wybrane struktury głębokich sieci neuronowych: MLP - prostą sieć rekurencyjną oraz komórki LSTM. Do opracowania jednolitego modelu hybrydowego wykorzystano hybrydowy EWT, dekomponujący wstępne przetwarzanie sygnału i strukturę przetwarzania końcowego opartą na rekonstrukcji IEWT. Z kolei sieć LSTM użyto do przewidywania każdej podwarstwy. Dodatkowo, w podejściu hybrydowym sieć LSTM jest wykorzystywana jako główny predyktor a sieć RELM, która jest popularną techniką uczenia maszynowego, została użyta jako predyktor podrzędny do modelowania serii błędów prognozowania, pochodzących z wbudowanej sieci LSTM.

Jako recenzent jestem pod wrażeniem dokonań habilitanta. Aby tego można było dokonać, wymagane było bardzo wszechstronne wykształcenie, znaczne umiejętności oraz zdolności jakimi legitymuje się Kandydat.

Jak widać z powyższego, tematyka ta jest niezwykle ważna, trudna, o ogromnym znaczeniu praktycznym i nie stanowi kontynuacji tematyki zawartej w pracy doktorskiej Habilitanta.



## 2. Ocena osiągnięcia habilitacyjnego Kandydata

Zgodnie z wymaganiami ustawy Habilitant nadał tytuł swojego osiągnięcia naukowego: **Zaawansowane techniki sterowania procesem spalania pyłu węglowego.**

Do osiągnięcia naukowego zostały zaliczone: – monografia naukowa wraz z autorskimi i współautorskimi publikacjami w liczbie 126 (z czego 11 w czasopismach zagranicznych, wyróżnionych w Journal Citation Reports)

### a) *Monografia*

1. **Konrad Gromaszek**, *Zaawansowane techniki sterowania procesem spalania pyłu węglowego*, Lublin, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2019, ISBN 978-83-7947-359-5

Na podkreślenie zasługuje niezwykła staranność Autora w przygotowaniu monografii.

### b) *Współautorskie publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR) z dn. 28.02.2019*

1. Kotyra A., Wójcik W., **Gromaszek K.**, Smolarz A., Jagiełło K., Assessment of biomass-coal co-combustion on the basis of flame image, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 11b, vol. 88, 2012, 295-297. (**Wskaźniki: MNiSW: 15, IF: 0,244, Liczba cytowań: 10.**)
2. Mukhanov B., Suleimenov A., Wójcik W., **Gromaszek K.**, Development of optimal control system for smelting process in the molten-pool, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 11b, vol. 88, 2012, 366-368. (**Wskaźniki: MNiSW: 15, IF: 0,244, Liczba cytowań: 6.**)
3. Wójcik W., Kotyra A., Smolarz A., **Gromaszek K.**, Modern methods of monitoring and controlling combustion of solid fuels in order to reduce its environmental impact, *Rocznik Ochrona Srodowiska*, 13(1), 2011, 1559-1576. (**Wskaźniki: MNiSW: 15, IF: 0,162, Liczba cytowań: 6.**)
4. Smolarz A., **Gromaszek K.**, Wójcik W., Popiel P., Optical methods and artificial intelligence in diagnostics of industrial pulverized coal burner, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 9b, vol. 88, 2012, 259-261. (**Wskaźniki: MNiSW: 15, IF: 0,244, Liczba cytowań: 10.**)
5. Wójcik W., **Gromaszek K.**, Kotyra A., Ławicki, T., Pulverized coal combustion boiler efficient control, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 11b, vol. 88, 2012, 316-319. (**Wskaźniki: MNiSW: 15, IF: 0,244, Liczba cytowań: 6.**)
6. Wójcik W., Kotyra A., Golec T., **Gromaszek K.**, Vision based monitoring of coal flames, *Przegląd Elektrotechniczny*, 84(3), 2008, 241-243. (**Wskaźniki: MNiSW: 15, IF: 0,196, Liczba cytowań: 13.**)
7. Wójcik W., **Gromaszek K.**, Kotyra A., Jagiełło K., Modelling for a pulverised coal combustion complex control system, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 86, nr 10, 2010, 136-139. (**Wskaźniki: MNiSW: 15, IF: 0,242, Liczba cytowań: 0.**)
8. Wójcik W., **Gromaszek K.**, Kotyra A., Jagiełło K., Pulverized coal combustion modelling for Model Predictive Control, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 7, 2010, 253-255. (**Wskaźniki: MNiSW: 15, IF: 0,242, Liczba cytowań: 0.**)