

# Wpływ wybranych parametrów zakłóceń na jakość klasycznego i rozmytego sterowania piecem oporowym

P. Śmierciak, E. Ziółkowski\*

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie,  
Wydział Odlewnictwa, Katedra Inżynierii Procesów Odlewniczych,  
30-059 Kraków, ul. Reymonta 23

\*Kontakt korespondencyjny: e-mail: ez@agh.edu.pl

Otrzymano 20.11.2014; zaakceptowano do druku 12.12.2014

## Streszczenie

Regulatory klasyczne, takie jak na przykład PID, są stosowane od wielu lat w zróżnicowanych układach sterowania procesami technologicznymi oraz w sprzętach gospodarstwa domowego. Często jednak regulatory klasyczne są zastępowane przez regulatory rozmyte. Optymalnie nastrojone regulatory rozmyte są zazwyczaj lepsze niż regulatory klasyczne w sterowaniu procesami technologicznymi.

W artykule przedstawiono wpływ wybranych parametrów zakłóceń na jakość sterowania automatycznego układu z regulatorami typu PID i rozmytym. Ocena jakości sterowania została dokonana dla przyjętych całkowitych na podstawie przedstawionych wyników symulacji pracy odlewniczego pieca oporowego. Przeanalizowano nie tylko błąd sterowania, ale także znaczenie amplitudy i kształtu sygnału sterującego.

**Słowa kluczowe:** regulator PID, sterowanie rozmyte, jakość sterowania, piece odlewnicze

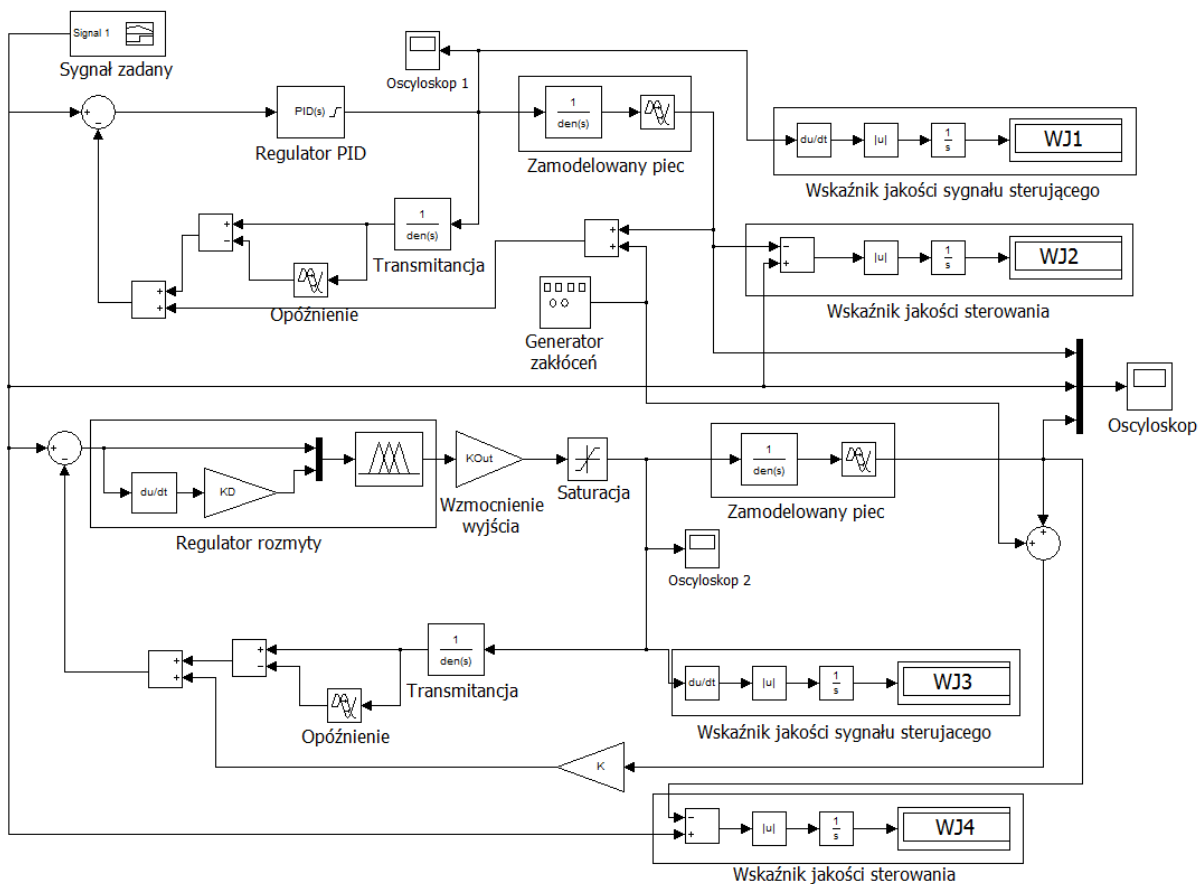
## 1. Wprowadzenie

Elektryczne piece oporowe stosowane powszechnie w odlewnictwie są urządzeniami cieplnymi charakteryzującymi się dużymi wartościami czasów reakcji na zmiany sygnałów sterujących. Do analizy i oceny jakości sterowania, z zastosowaniem regulatora klasycznego typu PID oraz regulatora rozmytego o założonej strukturze wewnętrznej, zdefiniowano transmitancję pieca oporowego w postaci [1, 2]

$$G(s) = \frac{e^{-80s}}{40000s^2 + 370s + 1} \quad (1)$$

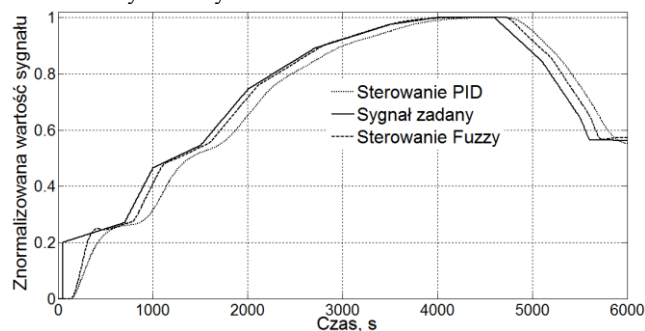
Na rysunku 1 przedstawiono schemat układu sterowania piecem o transmitancji (1), w którym zamodelowano w wydzielonych podukładach klasyczny regulator PID oraz regulator rozmyty, wraz z odpowiednimi blokami wyznaczania wartości wskaźników jakości sterowania oraz jakości sygnałów sterujących. Schemat uzupełniają: generator zakłóceń oraz elementy odpowiedzialne za wyświetlanie i zapisywanie wyników obliczeń symulacyjnych. Szczegółowy opis zamodelowanego systemu sterowania można znaleźć na przykład w [1].

Struktura wewnętrzna, baza reguł, powierzchnia sterowania oraz parametry funkcji przynależności definiujące regulator rozmyty zostały przedstawione w pracy [2]. Tam również zawarto matematyczne zależności przyjętych wskaźników jakości sterowania oraz wskaźników jakości sygnałów sterujących.



Rys. 1. Schemat układu sterowania piecem oporowym zamodelowany w pakiecie Matlab/Simulink

Na rysunku 2 przedstawiono w postaci wykresu znormalizowane wyniki symulacji pracy pieca oporowego dla zadanej krzywej temperatury, w układach sterowania dla obu regulatorów i bez obecności wymuszonych zakłóceń.



Rys. 2. Wyniki symulacji pracy pieca oporowego w układzie sterowania z obydwojma regulatorami bez obecności zakłóceń

Z analizy tego wykresu wynika, że zoptymalizowany regulator PID daje gorszą jakość sterowania, niż regulator rozmyty. Potwierdzają to również wartości wskaźnika jakości sterowania:

- WJ2=322,0 dla regulatora PID,
- WJ4=143,4 dla regulatora rozmytego,

przy czym, im wartość wskaźnika jest mniejsza, tym jakość sterowania jest lepsza.

W celu oceny dynamiki zmian wartości sygnałów sterujących zasilaniem pieca oporowego zdefiniowano także wskaźnik jakości sygnału sterującego w postaci

$$WJ1 \text{ albo } WJ3 = \int_{t_p}^{t_k} \left| \frac{du}{dt} \right| dt \quad (2)$$

gdzie:

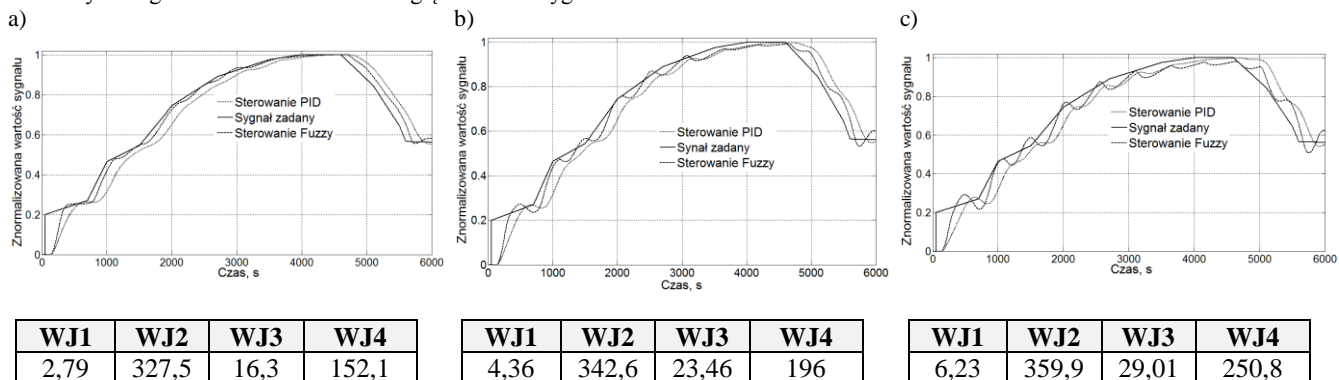
- W<sub>1</sub> – wskaźnik jakości sterowania piecem oporowym za pomocą zoptymalizowanego regulatora PID,
- W<sub>3</sub> – wskaźnik jakości sterowania piecem oporowym za pomocą opracowanego regulatora rozmytego,
- t<sub>p</sub>, t<sub>k</sub> – czas odpowiednio początku i końca przedziału całkowania,
- du/dt – pochodna sygnału sterującego.

Podczas symulacji pracy w środowisku Simulink układu z rysunku 1 otrzymano wartości wskaźnika jakości sygnału sterującego WJ1=2,4 (regulator PID) oraz wskaźnika WJ3=15,59 (regulator rozmyty). Oznacza to, że sygnał sterujący piecem jest nieco mniej dynamiczny w przypadku sterowania za pomocą regulatora PID, niż za pomocą regulatora rozmytego.

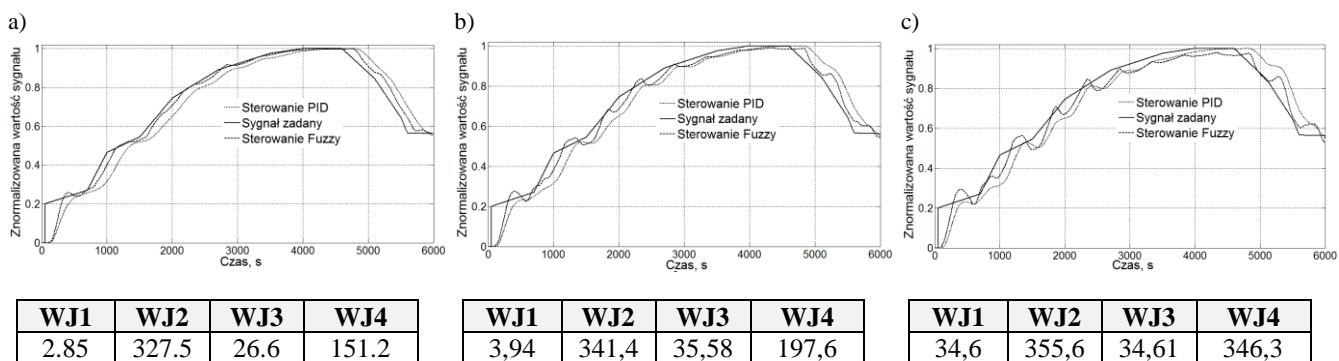
## 2. Symulacja sterowania z zakłóceniami

Symulację sterowania piecem oporowym za pomocą obydwu rozważanych regulatorów zbadano z uwzględnieniem sygnałów

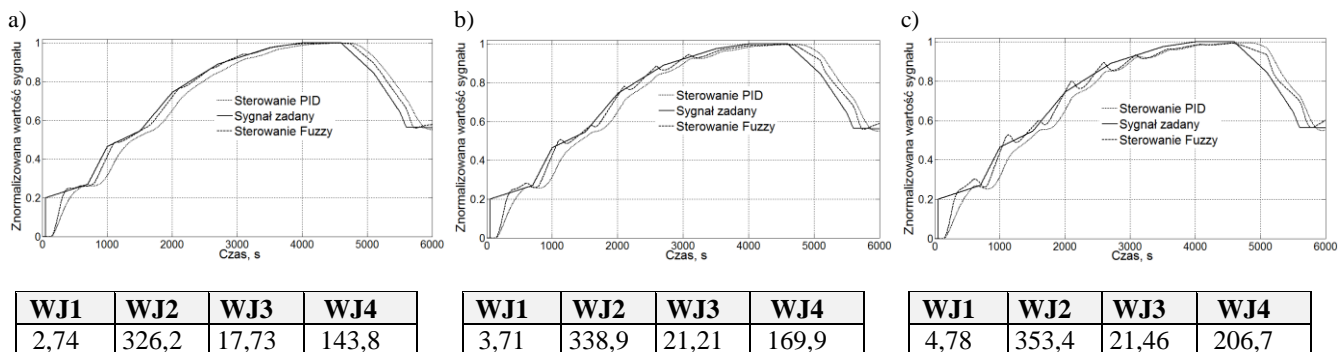
zakłócających wytwarzanych przez Generator zakłóceń (rys. 1). Analizę jakości sterowania przeprowadzono dla sinusoidalnego, prostokątnego i piłkowształtnego przebiegu sygnałów zakłócających o założonych amplitudach oraz częstotliwościach (rys. 2÷4).



Rys. 2. Przebiegi znormalizowanych odpowiedzi układu sterowania piecem oporowym za pomocą regulatorów typu PID i rozmytego w obecności sinusoidalnego kształtu sygnału zakłócającego o częstotliwości  $f=0.002$  Hz i znormalizowanej amplitudzie odpowiednio: a) 1%, b) 3% i c) 5% maksymalnej amplitudy sygnału zadanego



Rys. 3. Przebiegi znormalizowanych odpowiedzi układu sterowania piecem oporowym za pomocą regulatorów typu PID i rozmytego w obecności prostokątnego kształtu sygnału zakłócającego o częstotliwości  $f=0.002$  Hz i znormalizowanej amplitudzie odpowiednio: a) 1%, b) 3% i c) 5% maksymalnej amplitudy sygnału zadanego



Rys. 4. Przebiegi znormalizowanych odpowiedzi układu sterowania piecem oporowym za pomocą regulatorów typu PID i rozmytego w obecności piłkowształtnego sygnału zakłócającego o częstotliwości  $f=0.002$  Hz i znormalizowanej amplitudzie odpowiednio: a) 1%, b) 3% i c) 5% maksymalnej amplitudy sygnału zadanego

Z analizy zawartych na tych rysunkach wykresów odpowiedzi układu sterowania oraz wartości odpowiednich wskaźników jakości sterowania i jakości sygnałów sterujących wynikają następujące wnioski:

1. Dla przyjętej stałej częstotliwości sygnałów zakłócających, ich kształt ma niewielki wpływ na zachowanie się układu sterowania, zarówno w przypadku stosowania regulatora PID, jak i regulatora rozmytego.
2. W miarę wzrostu amplitudy sygnału zakłócającego rosną wartości poszczególnych wskaźników, przy czym największy wzrost można zaobserwować w przypadku prostokątnego kształtu zakłóceń.
3. Jakość sterowania za pomocą regulatora rozmytego jest lepsza, niż podczas sterowania z zastosowaniem optymalnego regulatora typu PID.
4. Jakość sygnału sterującego jest lepsza dla regulatora PID niż dla regulatora rozmytego, jednak w tym drugim przypadku regulacja rozmyta jest mniej wrażliwa na wzrost amplitudy sygnału zakłócającego.

## 4. Podsumowanie

Sterowanie oporowymi piecami odlewniczymi, charakteryzującymi się dużym opóźnieniem reakcji na zmianę parametrów

zasilania, można z powodzeniem zrealizować za pomocą regulatorów rozmytych. Kryterium optymalności doboru wartości parametrów regulatora rozmytego może jednocześnie stanowić miarę energochłonności projektowanego układu sterowania.

W układach sterowania optymalnie nastrojony regulator rozmyty lepiej odwzorowuje żądany przebieg zmian temperatury w komorze sterowanego pieca oporowego, niż optymalnie dobrany regulator PID. Zastosowanie prawidłowo zaprojektowanego regulatora rozmytego umożliwia także realizację układu sterowania o lepszych właściwościach eksploatacyjnych, ze względu na mniejszą wrażliwość takiego regulatora na kształt, częstotliwość i amplitudę sygnału zakłócającego, w przyjętym zakresie zmienności ich wartości.

## Literatura

- [1] Ziółkowski, E., Śmierciak, P. (2012). Comparison of energy consumption in the classical (PID) and fuzzy control of foundry resistance furnace. *Archive of Foundry Engineering*, vol. 12, issue 3, pp. 127-130
- [2] Ziółkowski, E., Śmierciak, P. (2014). The optimization criteria in fuzzy control systems of foundry furnaces. *Archive of Foundry Engineering*, vol. 14, spec. iss. 2, pp. 95-100

# Influence of Selected Parameters of Interference on the Quality of Classical and Fuzzy Control Resistance Furnace

## Abstract

Classical controller, for example PID, have been used for many years in control systems of different industry technological processes and household equipment. Classical controllers have been often replaced by fuzzy controllers. Optimal tuning fuzzy controller is usually better than classical controller in control of technological processes.

The paper presents an influence of selected interference parameters on automatic system control with PID or optimal fuzzy controllers. Evaluation of control quality for defined integral criterions has been done based on presented results of foundry resistance furnace work simulation. Not only a control error, but also a importance of control signal amplitude and shape have been analyzed.