

Porównanie wyników symulacji wpływu kształtu i amplitudy zakłóceń na jakość sterowania piecem oporowym w układzie z regulatorem PID lub rozmytym

P. Śmierciak¹, E. Ziółkowski²

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Odlewnictwa,
30-059 Kraków, ul. Reymonta 23

² Kontakt korespondencyjny: e-mail: ez@agh.edu.pl

Otrzymano 20.11.2015; zaakceptowano do druku 29.12.2015

Streszczenie

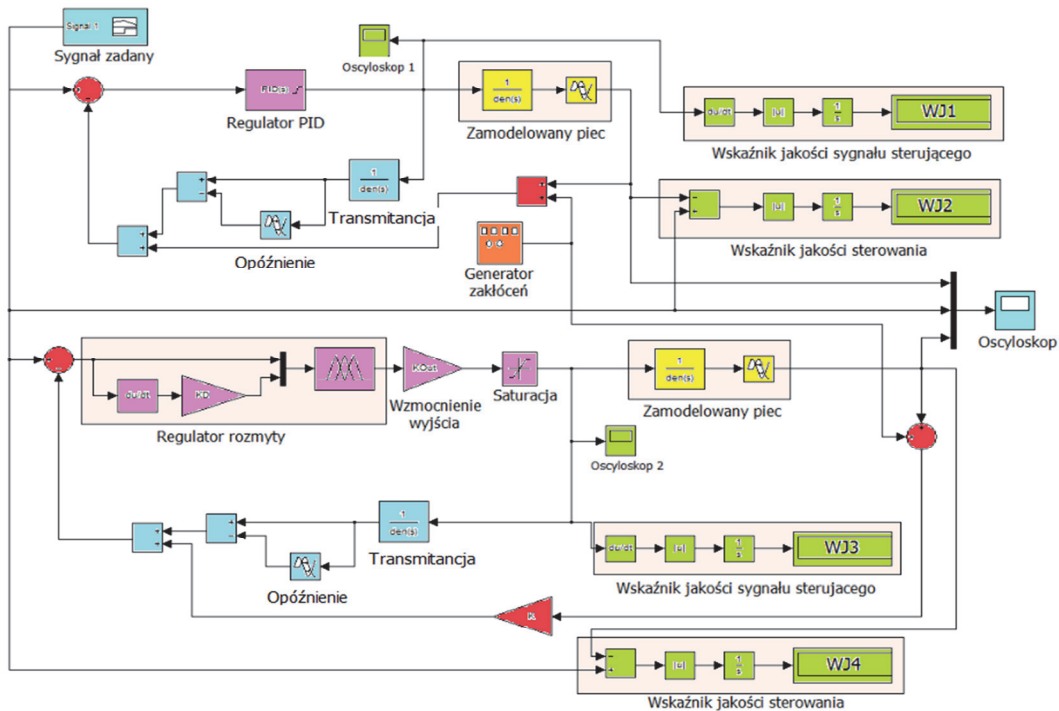
W artykule przedstawiono wpływ wybranych parametrów zakłóceń na jakość sterowania automatycznego układu z regulatorem klasycznym PID oraz optymalnie nastrojonym regulatorem rozmytym o założonej strukturze. Na podstawie przedstawionych wyników symulacji pracy odlewniczego elektrycznego pieca oporowego dokonano oceny jakości sterowania dla przyjętych całkowitych kryteriów jakości sterowania. Ocenie poddano błąd sterowania oraz kształt sygnału sterującego obiektem.

Słowa kluczowe: odlewnicze piece oporowe, regulatory PID i rozmyte, jakość sterowania

1. Wprowadzenie

W celu oceny jakości sterowania odlewniczym piecem oporowym z zastosowaniem regulatora rozmytego zaprojektowano w środowisku Matlab/Simulink [4] układ symulacyjny, którego schemat przedstawiono na rysunku 1. Przyjęto model pieca opisany w pracach [5, 6]. Układ ten zawiera także podsystem sterowania za pomocą klasycznego regulatora PID, którego parametry zostały zoptymalizowane przez procedurę zawartą w pakiecie Simulink. Stwarza to możliwość porównania jakości sterowania piecem za pomocą zoptymalizowanego regulatora PID i regulatora rozmytego. Regulator rozmyty zaprojektowano zgodnie z zasadami przedstawionymi między innymi w pracach [1-3]. Definicję tego regulatora omówiono w pracach [5-6]. W pracy [5] przedstawiono także matematyczne formuły wskaźników jakości sterowania przyjętych do realizacji oceny pracy układów symulacyjnych. Przez jakość sterowania

rozumie się tutaj nie tylko całą wartość bezwzględnej różnicy odpowiedzi układu sterowania względem wartości założonych w przedziale czasowym procesu, ale także wyrażone funkcją całkowitą wartość bezwzględną różnicy pochodnych sygnału sterującego obiektem. Celem zdefiniowania takich wskaźników jakości było uzyskanie nie tylko odpowiedzi układu sterowania najbliższej zakładanej, ale także gwarantującej możliwe „łagodne” sterowanie obiektem, w tym przypadku piecem odlewniczym. Określenie parametrów układu sterowania dla takiego podejścia, uwzględniającego dwa kryteria jakościowe, stwarza możliwość zaprojektowania systemu nie tylko wystarczająco dobrze realizującego zadaną czasową funkcję zmiany temperatury, ale jednocześnie zapewniającego mniejszą liczbę dynamicznych zmian sygnału sterującego. Zbyt duża dynamika zmian wartości sygnału sterującego piecem stwarza bowiem ryzyko częstszych awarii elektronicznych układów regulacji, co ma istotne znaczenia eksploatacyjne.



Rys. 1. Schemat układu sterowania piecem oporowym z regulatorem rozmytym i predyktorem Smitha

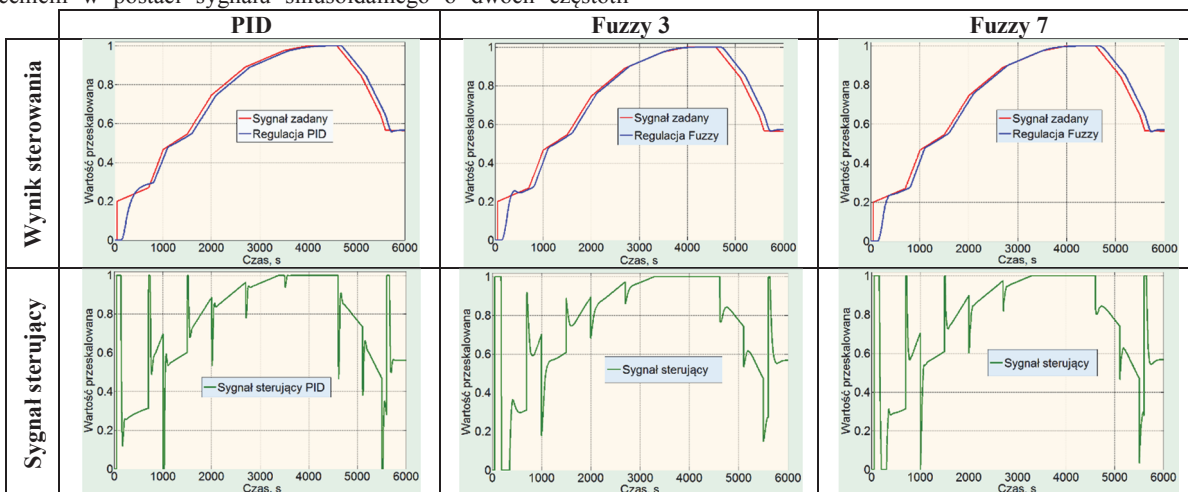
2. Wyniki symulacji

Na rysunku 2 przedstawiono znormalizowane wyniki odpowiedzi układu sterowania piecem oporowym, dla założonego kształtu funkcji zmian temperatury w komorze pieca, z zastosowaniem regulatora PID oraz regulatorów rozmytych opisanych

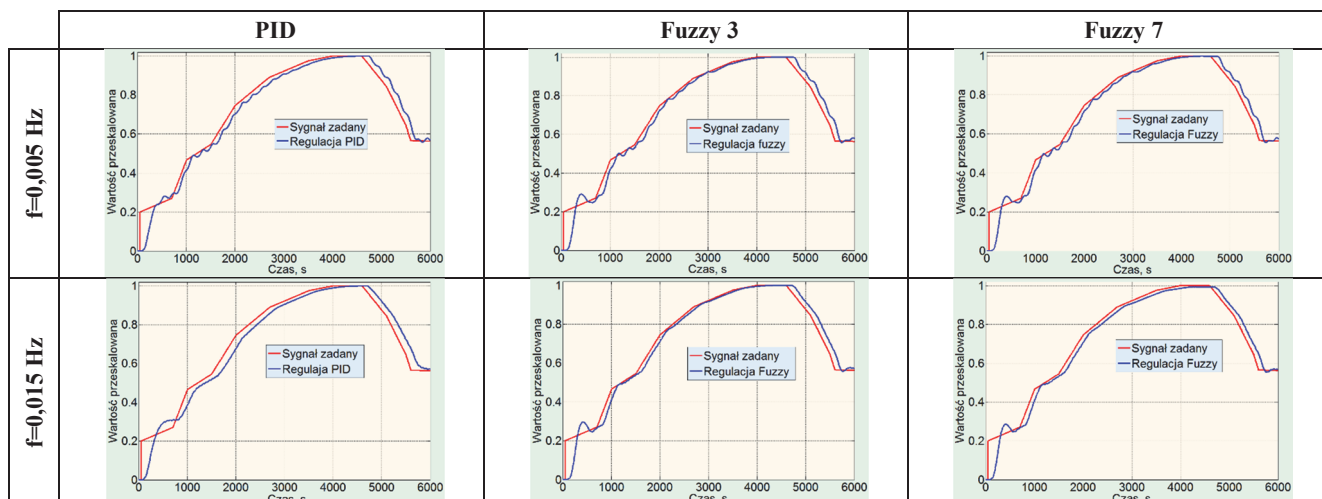
3 i 7 funkcjami przynależności (9 lub 49 reguł tworzących powierzchnię sterowania regulatora rozmytego), bez obecności zakłóceń. Pokazano także kształt sygnałów sterujących piecem. Rysunki 3 i 4 przedstawiają wyniki symulacji dla układu z zakłóceniem w postaci sygnału sinusoidalnego o dwóch częstotli-

wościach (0,005 i 0,015 Hz) i amplitudzie znormalizowanej równej 0,01. Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono wyniki analogicznych symulacji dla amplitudy sygnału zakłócającego równej 0,05.

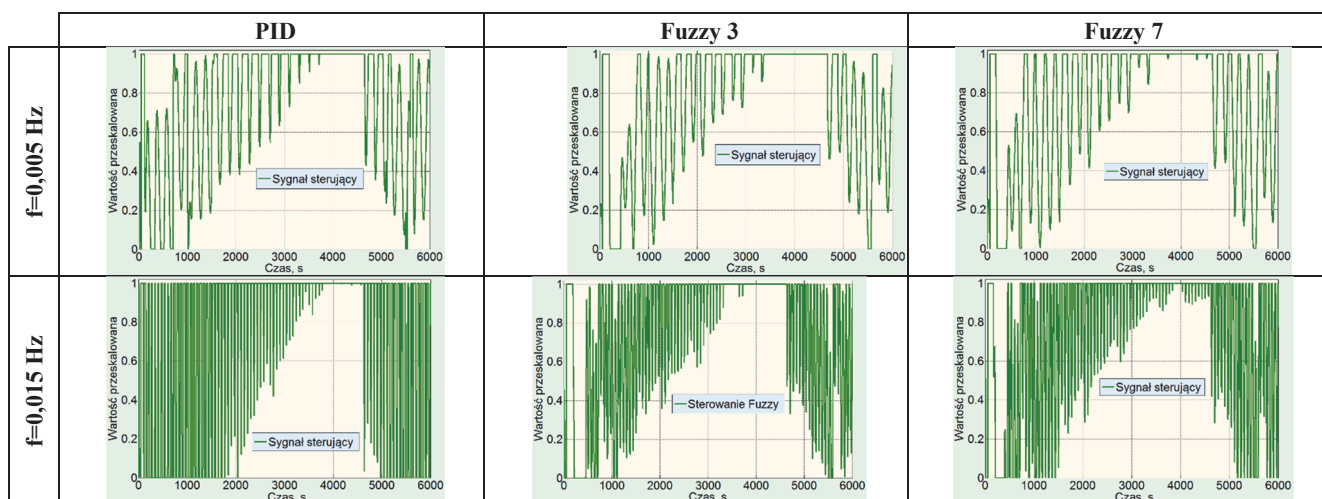
W celu oceny wpływu kształtu sygnału zakłócającego na odpowiedź układu sterowania, wykonano symulacje dla prostokątnego kształtu zakłócenia, przy założeniu wartości amplitudy równej 0,01 (rys. 7 i 8) oraz 0,05 (rys. 9 i 10).



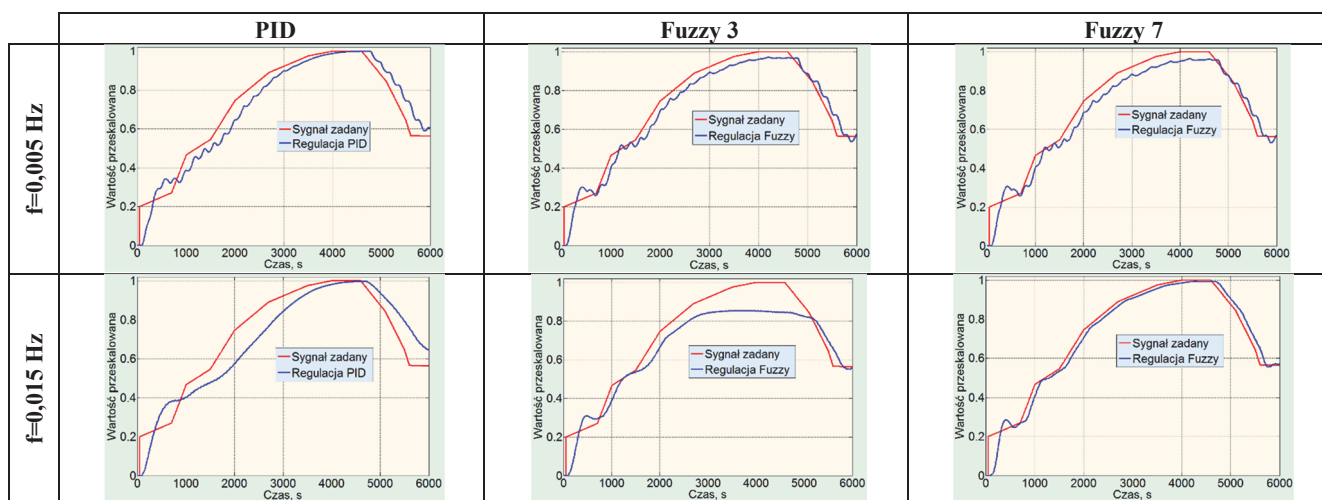
Rys. 2. Wyniki sterowania i sygnału sterującego przy braku zakłócenia



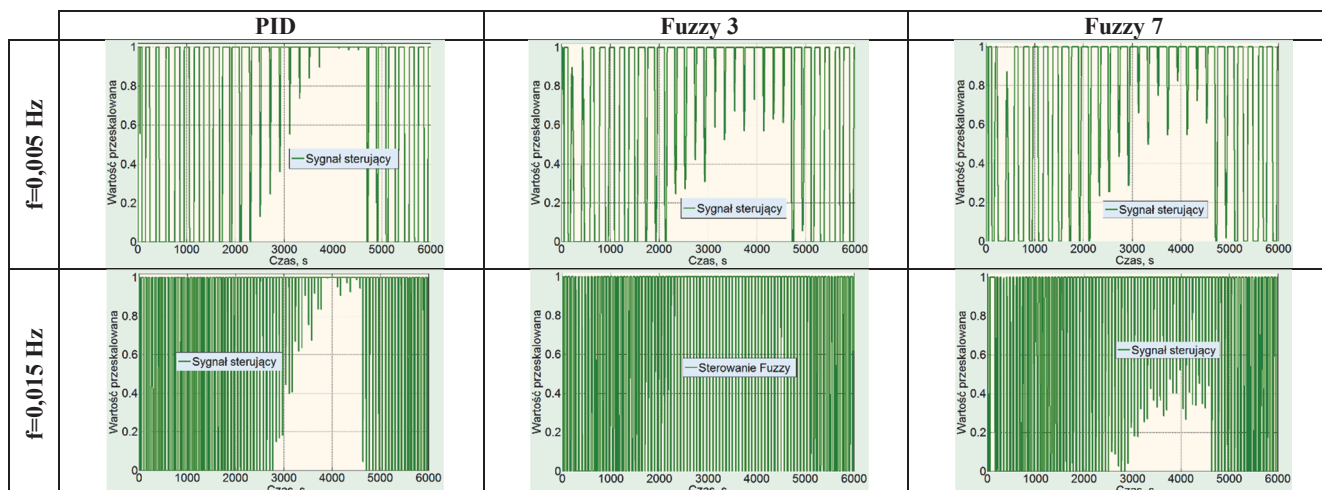
Rys. 3. Wynik sterowania dla regulatora PID i Fuzzy przy zakłóceniu sinusoidalnym o amplitudzie 0,01



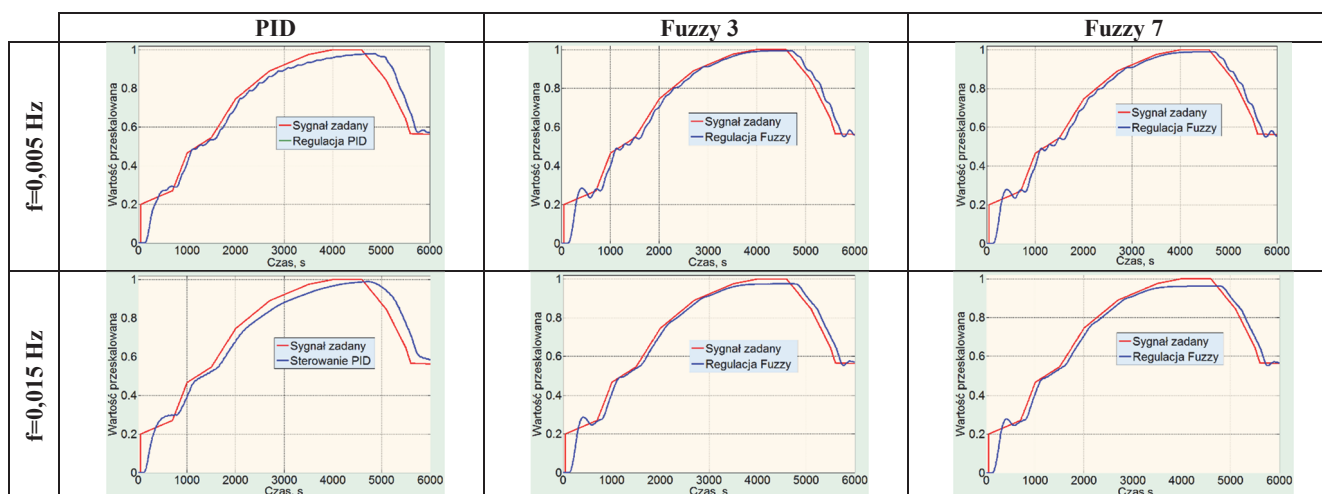
Rys. 4. Wykres zmian sygnału sterującego dla regulatora PID i Fuzzy przy zakłóceniu sinusoidalnym o amplitudzie 0,01



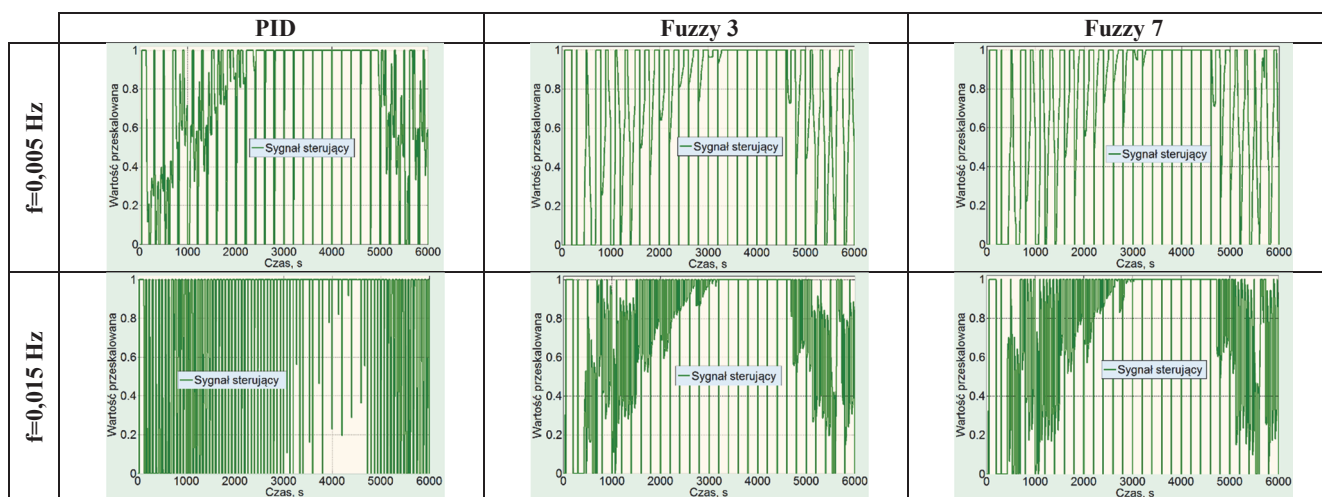
Rys. 5. Wynik sterowania dla regulatora PID i Fuzzy przy zakłóceniu sinusoidalnym o amplitudzie 0,05



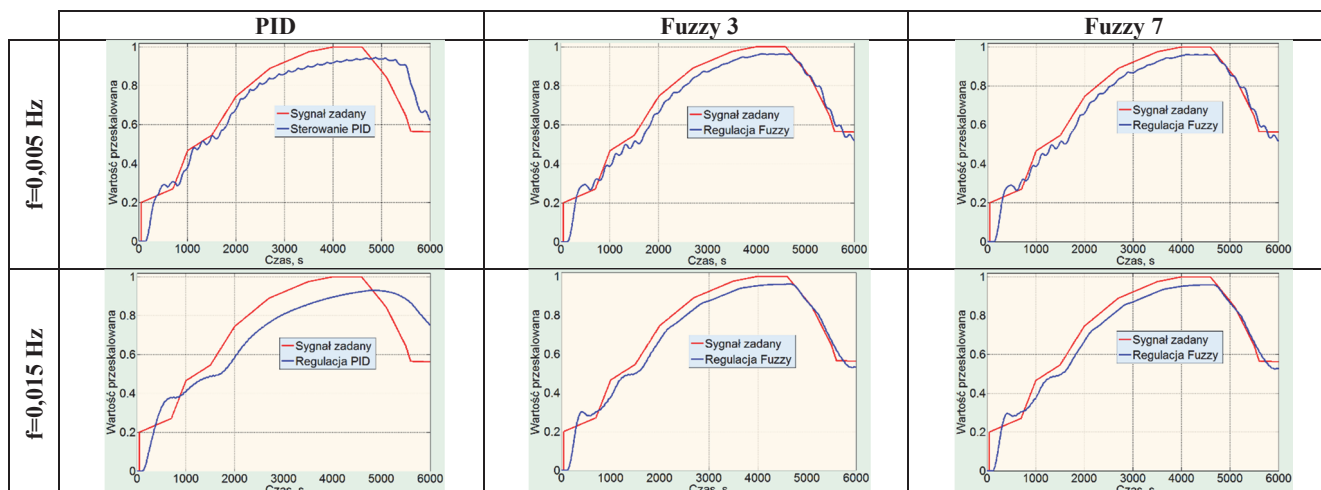
Rys. 6. Wykres zmian sygnału sterującego dla regulatora PID i Fuzzy przy zakłóceniu sinusoidalnym o amplitudzie 0,05



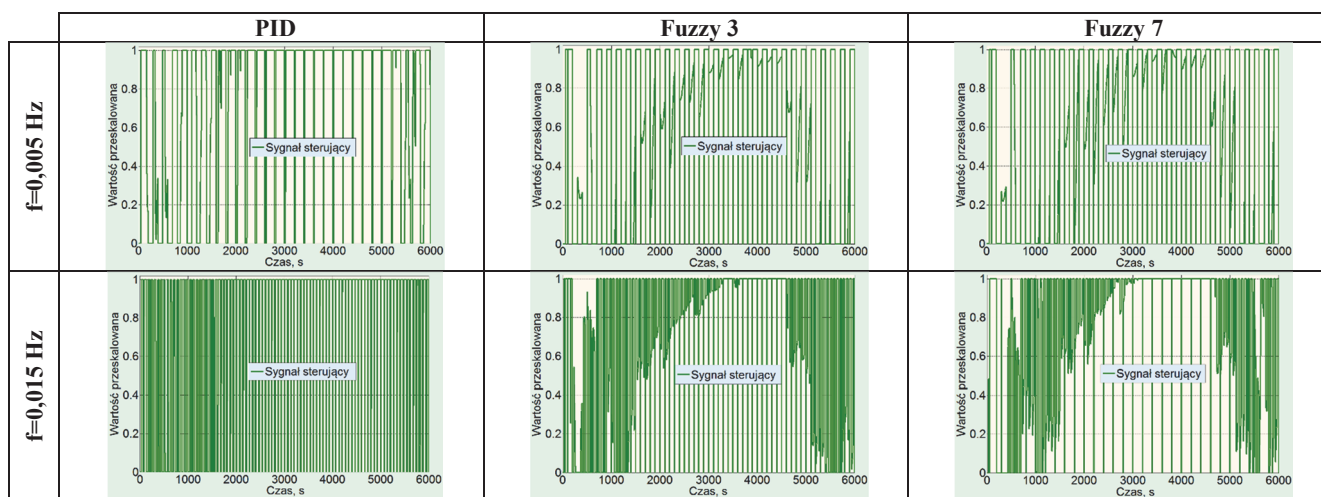
Rys. 7. Wynik sterowania dla regulatora PID i Fuzzy przy zakłóceniu prostokątnym o amplitudzie 0,01



Rys. 8. Wykres zmian sygnału sterującego dla regulatora PID i Fuzzy przy zakłóceniu prostokątnym o amplitudzie 0,01



Rys. 9. Wynik sterowania dla regulatora PID i Fuzzy przy zakłóceniu prostokątnym o amplitudzie 0,05



Rys. 10. Wykres zmian sygnału sterującego dla regulatora PID i Fuzzy przy zakłóceniu prostokątnym o amplitudzie 0,05

Analiza przebiegów funkcji pokazanych na rysunkach 2-10 pozwala na wstępną ocenę porównawczą jakości sterowania za pomocą zoptymalizowanego regulatora PID i dwóch przyjętych w układzie symulacji regulatorów rozmytych bez zakłóceń oraz w obecności sygnałów zakłócających o kształcie sinusoidalnym i prostokątnym dla dwóch przyjętych wartości amplitud oraz dwóch przyjętych wartości częstotliwości sygnałów zakłócających. Do precyzyjnej oceny można posłużyć się wartościami obliczonych wskaźników jakościowych, które zestawiono w tabeli 1.

Z analizy informacji zawartych w tabeli 1 wynika, że najniższe wartości przyjętych wskaźników uzyskuje się w układzie sterowania bez obecności zakłóceń. Wprowadzenie zakłóceń do układu sterowania powoduje zwiększenie wartości wskaźników, a przez to większe odchylenia wartości wielkości wyjściowych od założonych. Błąd odpowiedzi układu ze zoptymalizowanym regulatorem PID był zawsze większy niż w przypadku stosowania regulatorów rozmytych. Zwiększenie częstotliwości sygnału zakłócającego powodowało zwiększoną wartość uzyskiwanych błędów odpowiedzi układu sterowania.

Ten sam trend występował dla większych amplitud sygnałów zakłócających. Zmiana kształtu sygnału zakłócającego z sinusoidalnego na prostokątny także powodowała zwiększenie wartości wskaźników błędów odpowiedzi układu sterowania.

Wartości wskaźników błędów sygnału sterującego nie podlegają tak jednoznacznemu trendowi zmian. W niektórych przypadkach kształt sygnału sterującego obiektem był mniej dynamiczny w przypadku zastosowania regulatora PID. Również zastosowanie regulatora rozmytego z 49 regułami nie zawsze dawało lepsze rezultaty w porównaniu do regulatora rozmytego z 9 regułami. Jednak w przypadkach, gdy regulator PID dawał lepsze rezultaty, wartości wskaźników błędów sygnału sterującego w regulatorach rozmytych były stosunkowo niewiele większe.

Uzyskane wyniki symulacji porównawczych w układach sterowania odlewniczymi piecami oporowymi, charakteryzującymi się dużymi wartościami stałych czasowych (opóźnienie, dynamika zmian) z regulatorami rozmytymi o założonej strukturze, a przez to quasioptrymalnymi, wskazują na celowość dalszych badań nad zastosowaniem tych regulatorów.

Tabela 1.

Tabela wyników wskaźników jakości sterowania badanym obiektem za pomocą regulatorów PID i rozmytego (3 lub 7 funkcji przynależności) bez zakłóceń oraz dla sinusoidalnego i prostokątnego zakłócenia o wybranych amplitudach A i częstotliwościach f.

Zakłócenie			Błąd sygnału sterującego			Błąd odpowiedzi		
			PID	Fuzzy 3	Fuzzy 7	PID	Fuzzy 3	Fuzzy 7
Kształt	A	f [Hz]	WJ1	WJ3		WJ2	WJ4	
Sinus	0,01	0,005	35,2	30,7	35,4	181,7	159,9	161,1
		0,015	123,6	116,8	141,1	232,3	159,3	173,8
	0,05	0,005	46,9	57,1	60,5	324,2	242,3	267,1
		0,015	143,5	217,5	242,2	488,7	458,5	370,4
Prostokąt	0,01	0,005	49,7	26,3	91,1	261,4	169,7	174,1
		0,015	129,4	86,6	278,4	316,3	183,5	198,4
	0,05	0,005	37,5	23,0	25,7	437,4	272,1	278,5
		0,015	130,7	91,4	94,3	672,8	276,0	283,6
Brak zakłócenia			10,8	8,8	10,3	154,4	152,4	147,0

4. Wnioski

Przeprowadzone badania symulacyjne pozwalają na ocenę zachowania regulatorów: PID i rozmytego, w obecności zakłóceń o różnych parametrach (kształt, amplituda, częstotliwość). Na podstawie dotychczas wykonanych serii symulacji porównawczych można stwierdzić, że quasioptymalny regulator rozmyty może dawać lepsze rezultaty regulacji od zoptymalizowanego regulatora PID, także w obecności zakłóceń o tych samych parametrach. Dowodzi to temu, że regulacja rozmyta jest bardziej odporna na zakłócenia.

[3] Kacprzyk, J. (2001). *Wieloetapowe sterowanie rozmyte*. WNT, Warszawa.

[4] The Math Works. *Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide*.

[5] Ziółkowski, E., Śmierciak, P. (2014). The optimization criteria in fuzzy control systems of foundry furnaces. *Archives of Foundry Engineering*, vol. 14, spec. iss. 2, pp. 95-100 (in Polish).

[6] Śmierciak, P., Ziółkowski, E. (2014). Influence of selected parameters of interference on the quality of classical and fuzzy control resistance furnace. *Archives of Foundry Engineering*, vol. 14, spec. iss. 4, pp. 123-126 (in Polish).

Literatura

[1] Yager, R.R. & Filev, D.P. (1995). *Podstawy modelowania i sterowania rozmytego*. WNT, Warszawa.

[2] Piegat, A. (1999). *Modelowanie i sterowanie rozmyte. EXIT*, Warszawa.

The Simulation Results Comparison of Influence of Shape and Interference Amplitude on Control Quality of Resistance Furnace in a System Equipped with PID or Fuzzy Regulators

The article presents the selected, interference parameters (form, amplitude and frequency) influencing the quality of automatic steering system with classical PID regulator, and optimally tuned fuzzy regulator with formed structure. Based on the presented results of simulation process of electrical resistance furnace, the evaluation of steering quality for adopted criteria has been made.

The steering failure and the form of object's steering signal was evaluated.