

# **Metody Sztucznej Inteligencji w Sterowaniu**

## **Ćwiczenie 5**

### **Implementacja rozmytych systemów wnioskujących w zdaniach regulacji**

**Przygotował: mgr inż. Marcin Pelic  
Instytut Technologii Mechanicznej  
Politechnika Poznańska**

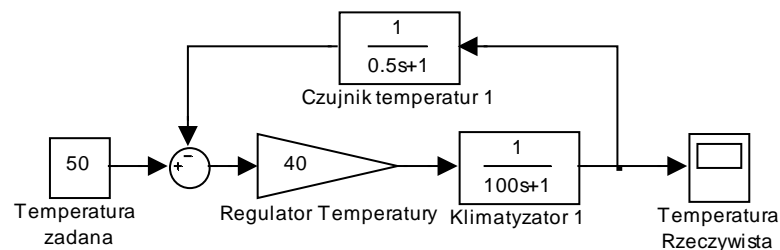
**Poznań, 2011**

## Wstęp

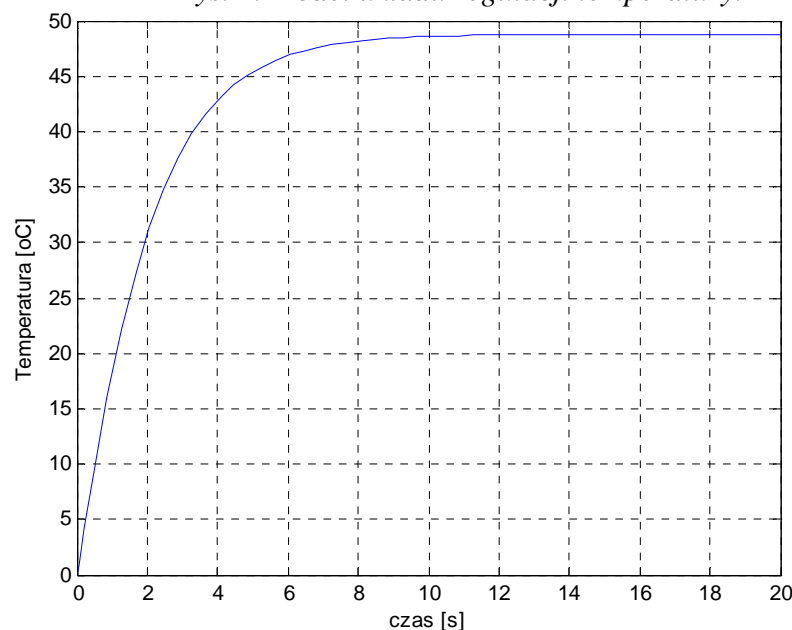
Rozmyte systemy wnioskowania mogą zostać użyte między innymi jako regulatory procesów technologicznych. W takim przypadku ekspert znający specyfikę procesu definiuje wejścia i wyjścia systemu, sposób rozmywania, wyostrzania, bazę reguł oraz użyte normy w procesie wnioskowania. Działanie takiego regulatora można zasymulować w oprogramowaniu matematycznym np. Matlab – Simulink z dodatkiem Fuzzy Logic. W tym celu należy przygotować model układu sterowanego oraz regulatora. Budowę regulatora – rozmytego systemu wnioskującego przedstawiono w ćwiczeniu 4 pt. „Logika rozmyta – wprowadzenie”. Gotowy rozmyty system regulacji należy zapisać do przestrzeni roboczej Matlab (w oknie FIS Editor menu *File->Export->To Workspace...* - Ctrl+T), a następnie w programie Simulink w oknie *Library Browser* odszukać blok „Fuzzy Logic” i przeciągnąć go do okna modelu. Układ taki może stanowić niezależny regulator, może również wspomagać inne układy regulacji (np. konwencjonalne regulatory typu P, I, PI, PD, PID).

## Przykład

Układ regulacji temperatury składa się z zadajnika temperatury (blok „Constant”), węzła sumacyjnego ( blok „Sum”), regulatora proporcjonalnego (blok „Gain”) układu grzewczo-chłodzącego w postaci członu inercyjnego (blok „Transfer Fcn”  $k=1$ ,  $T=100$ ) oraz czujnika temperatury w postaci członu inercyjnego (blok „Transfer Fcn”  $k=1$ ,  $T=0,5$ ). Do obserwowania przebiegów służy blok „Scope” – Temperatura Rzeczywista. Model układu został przedstawiony na rysunku 1, natomiast jego odpowiedź na wymuszenie skokowe o wartości 50 na rysunku 2.

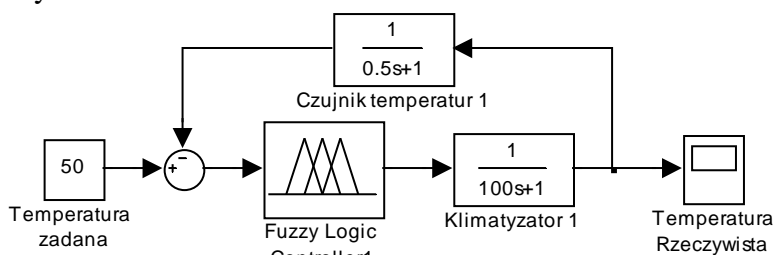


Rys. 1. Model układu regulacji temperatury.



Rys. 2. Odpowiedź układu z regulatorem proporcjonalnym na wymuszenie skokowe o wartości 50 °C

Rozmyty system wnioskujący może działać jako układ niezależny – w tym celu regulator proporcjonalny zastąpiono regulatorem rozmytym. Model układu został przedstawiony na rysunku 3.

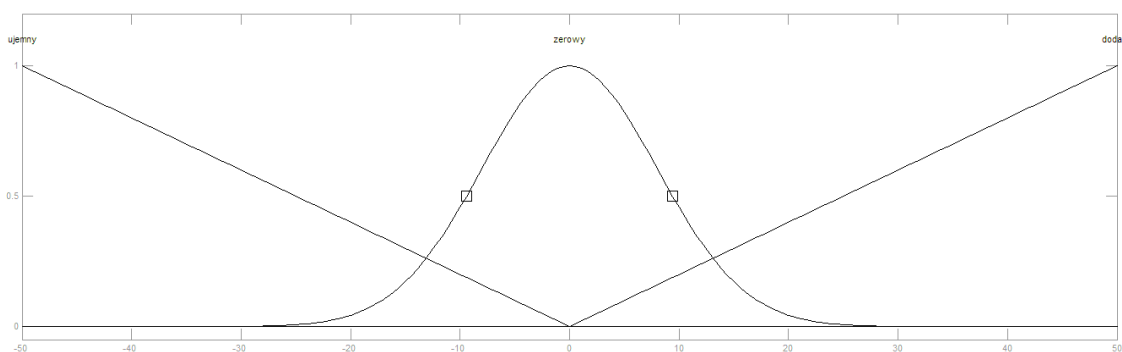


Rys. 3. Model układu regulacji temperatury z regulatorem rozmytym działającym niezależnie.

System wnioskowania rozmytego został zaprojektowany tak aby miał dużą dynamikę (czułość) w zakresie uchybu bliskiego zero, oraz mniejszą dla dużych wartości uchybu. Regulator o takiej charakterystyce pozwoli na osiągnięcie zadanej wartości z mniejszym stałym uchybem regulacji (w porównaniu do regulatora typu P), nie powodując dużych przesterowań (w porównaniu do regulatora typu P o takiej samej wartości stałego uchybu regulacji). Układ regulujący ma jedno wejście i jedno wyjście. Wejście zostało nazwane „*u*” (uchyb) natomiast wyjście „*moc*”. Wejście składa się z trzech funkcji rozmywających: „*ujemny*”, „*zerowy*” i „*dodatni*”. Parametry tych funkcji zostały przedstawione w tabeli 1, a ich wykresy na rysunku 4.

Tab. 1. Opis funkcji wejścia „*u*”

Nazwa funkcji	Typ funkcji	Parametry funkcji
Wejście „ <i>u</i> ”		
<i>ujemny</i>	<i>trimf</i>	$[-50 \ -50 \ 0]$
<i>zerowy</i>	<i>gaussmf</i>	$[8 \ 0]$
<i>dodatni</i>	<i>trimf</i>	$[0 \ 50 \ 50]$

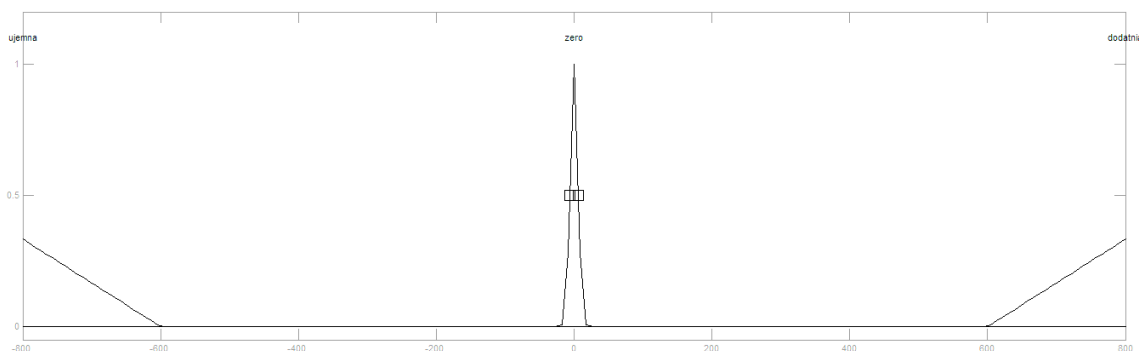


Rys. 4 Funkcje wejściowe regulatora rozmytego działającego niezależnie

Wyjście składa się z trzech funkcji rozmywających: „*ujemna*”, „*zerowa*” i „*dodatnia*”. Określenie „*ujemna*” oznacza że moc jest kierowana do części chłodzącej, a „*dodatnia*” że moc jest kierowana części grzewczej. Parametry tych funkcji zostały przedstawione w tabeli 2, a ich wykresy na rysunku 5.

Tab. 2. Opis funkcji wyjścia „moc”

Nazwa funkcji	Typ funkcji	Parametry funkcji
Wejście „moc”		
<i>ujemna</i>	<i>trimf</i>	<i>[-1600 -1200 -600]</i>
<i>zerowa</i>	<i>gaussmf</i>	<i>[5.6 0]</i>
<i>dodatnia</i>	<i>trimf</i>	<i>[600 1200 1600]</i>



Rys. 5 Funkcje wyjściowe regulatora rozmytego działającego niezależnie

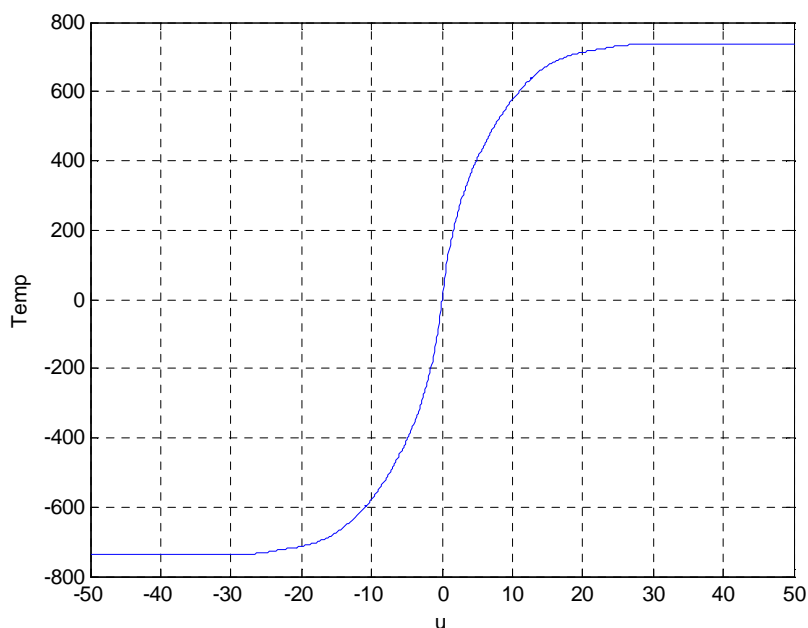
Baza reguł sterownika składa się z trzech następujących reguł:

**If** (*u is ujemny*) **then** (*temperatura is ujemna*),

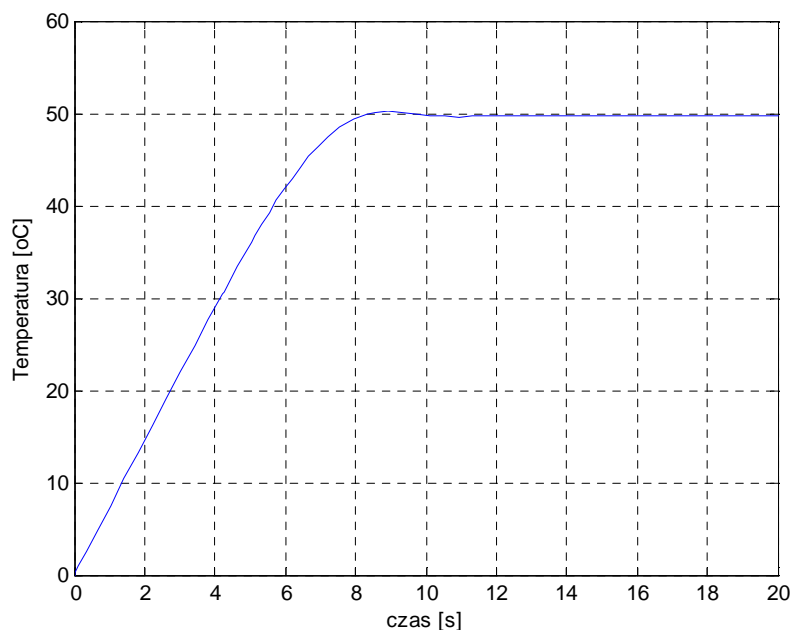
**If** (*u is zerow*) **then** (*temperatura is zero*),

**If** (*u is dodatni*) **then** (*temperatura is dodatnia*).

Wynikowa funkcja sterowania (dwuwymiarowa – jedno wejście, jedno wyjście) została przedstawiona na rysunku 6, natomiast odpowiedź regulatora na wymuszenie skokowe o wartości 50 przedstawiono na rysunku 7.

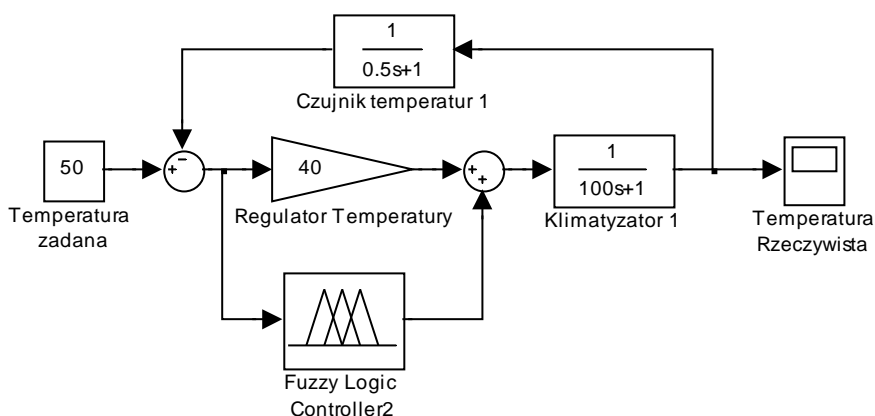


Rys. 6 Wynikowa funkcja regulatora rozmytego działającego niezależnie



Rys. 7. Odpowiedź układu z regulatorem rozmytym na wymuszenie skokowe o wartość 50 °C

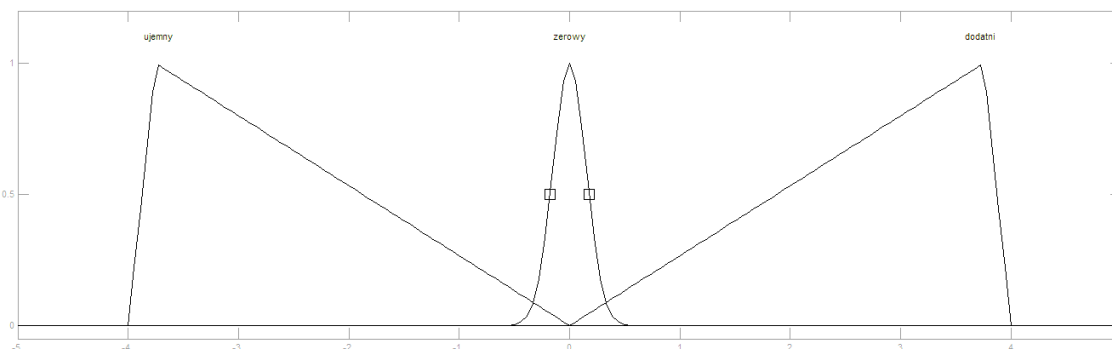
Regulatora rozmyty może wspomagać regulatory konwencjonalne. Założeniem przedstawionego poniżej regulatora jest minimalizacja uchybu w stanie ustalonym regulatora proporcjonalnego. Układ rozmyty zaczyna działać dla wartości uchybu temperatury w granicach  $\pm 4$ , poza tymi granicami na wyjściu regulatora ma być wartość zerowa. Działanie takie zwiększy czułość układu w tym zakresie uchybu i pozwoli osiągnąć mniejszą wartość stałego uchybu regulacji. Model układu został przedstawiony na rysunku 8.



Rys. 8. Model układu regulacji temperatury z regulatorem rozmytym wspomagającym działanie regulatora proporcjonalnego.

Tab. 3. Opis funkcji wejścia „u”

Nazwa funkcji	Typ funkcji	Parametry funkcji
Wejście „u”		
<i>ujemny</i>	<i>trimf</i>	<i>[-4 -3.75 0]</i>
<i>zerowy</i>	<i>gaussmf</i>	<i>[0.15 0]</i>
<i>dodatni</i>	<i>trimf</i>	<i>[0 3.75 4]</i>

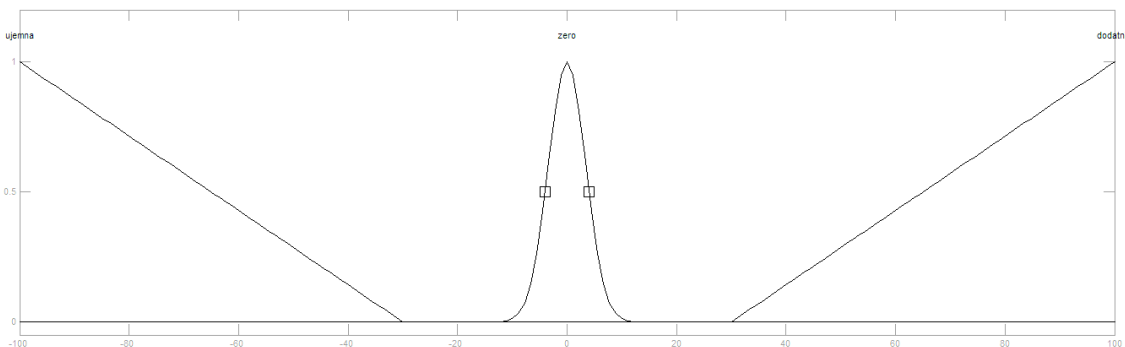


Rys. 9 Funkcje wejściowe regulatora rozmytego działającego razem z regulatorem proporcjonalnym

Wyjście składa się z trzech funkcji rozmywających: „ujemna”, „zerowa” i „dodatnia”. Określenie „ujemna” oznacza że moc całkowita jest pomniejszana o moc wynikową z regulatora rozmytego. W przypadku osiągnięcia przez moc wynikową wartości ujemnych jest ona kierowana do części chłodzącej. Określenie „dodatnia” oznacza że moc całkowita jest powiększana o moc wynikową z regulatora. Gdy moc całkowita jest większa od zera kierowana jest do części grzewczej. Parametry tych funkcji zostały przedstawione w tabeli 4, a ich wykresy na rysunku 10.

Tab. 4. Opis funkcji wyjścia „moc”

Nazwa funkcji	Typ funkcji	Parametry funkcji
Wejście „moc”		
<i>ujemna</i>	<i>trimf</i>	<i>[-200 -100 -30]</i>
<i>zerowa</i>	<i>gaussmf</i>	<i>[3.4 0]</i>
<i>dodatnia</i>	<i>trimf</i>	<i>[30 100 200]</i>

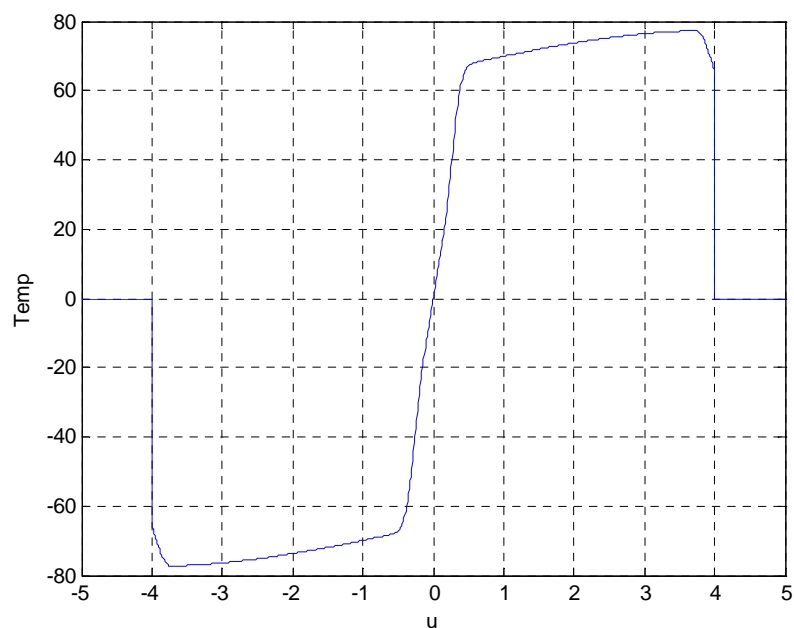


Rys. 10 Funkcje wejściowe regulatora rozmytego działającego razem z regulatorem proporcjonalnym

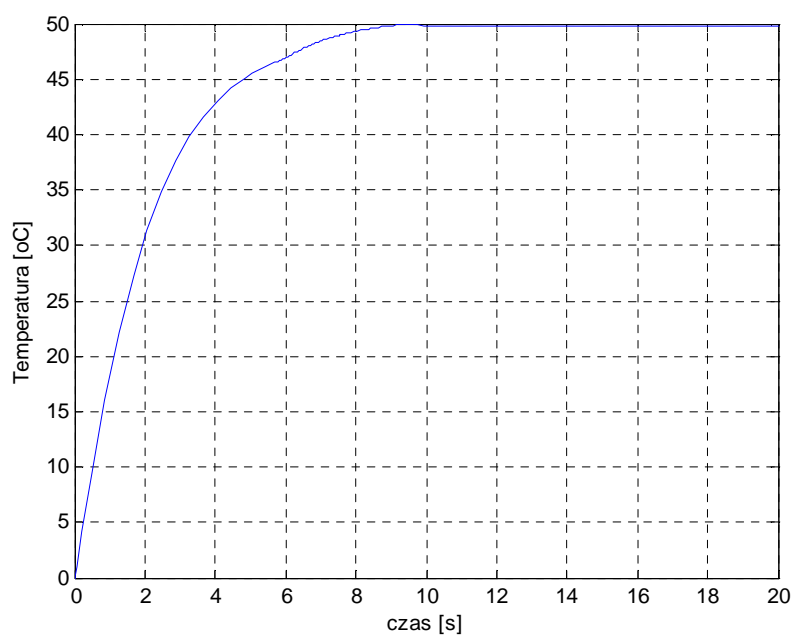
Baza reguł sterownika składa się z trzech następujących reguł:

- If** (*u is ujemny*) **then** (*temperatura is ujemna*),
- If** (*u is zerow*) **then** (*temperatura is zero*),
- If** (*u is dodatni*) **then** (*temperatura is dodatnia*).

Wynikowa funkcja sterowania (dwuwymiarowa – jedno wejście, jedno wyjście) została przedstawiona na rysunku 11.

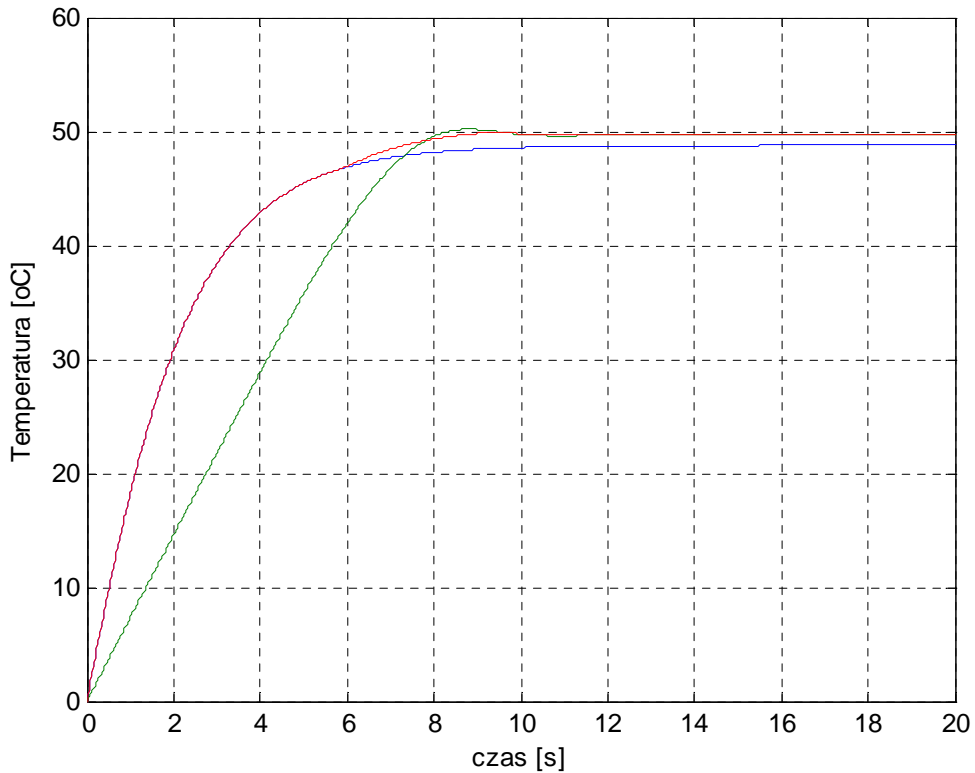


Rys. 11 Wynikowa funkcja regulatora rozmytego działającego razem z regulatorem proporcjonalnym

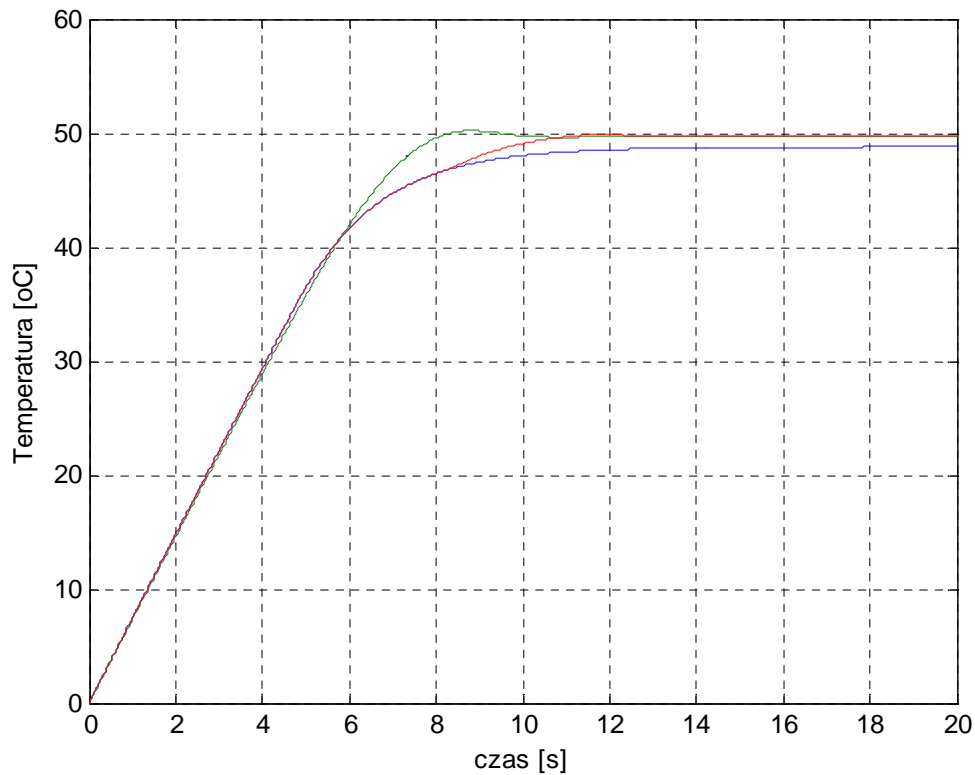


Rys. 12. Odpowiedź układu z wspomagającym regulatorem rozmytym regulator proporcjonalny na wymuszenie skokowe o wartości 50 °C

Należy zauważyć iż teoretyczny regulator oparty o logikę rozmytą ma (w przeciwieństwie do regulatora konwencjonalnego) ograniczony zakres sygnału wejściowego jak i wyjściowego (rys. 6. i rys 13). Należy zwrócić na to uwagę podczas projektowania regulatora. Dodatkowo należy zaznaczyć iż rozważane regulatory nie posiadały w ogóle ograniczeń co w przypadku praktycznych układów jest niemożliwe. Na rysunkach 13 i 14 przedstawiono charakterystyki wszystkich regulatorów odpowiednio bez i z ograniczeniem całkowitej mocy do  $\pm 700\text{W}$  (zmniejsza się prędkość przyrostu temperatury).



Rys. 13. Odpowiedzi wszystkich regulatorów bez ograniczenia całkowitej wydzielanej mocy na wymuszenie skokowe o wartości 50 °C:  
niebieski – regulator proporcjonalny, zielony – regulator rozmyty działający niezależnie,  
czerwony – regulator rozmyty działający równoległe z regulatorem proporcjonalnym.



Rys. 14. Odpowiedzi wszystkich regulatorów z ograniczeniem całkowitej wydzielanej mocy do  $\pm 750\text{W}$  na wymuszenie skokowe o wartości 50 °C  
niebieski – regulator proporcjonalny, zielony – regulator rozmyty działający niezależnie,  
czerwony – regulator rozmyty działający równoległe z regulatorem proporcjonalnym.