

Modelowanie i sterowanie rozmyte nieliniowego obiektu

Autor: Maciej Kłos

Opiekun pracy dyplomowej: dr inż. Piotr Marusak

Plan prezentacji

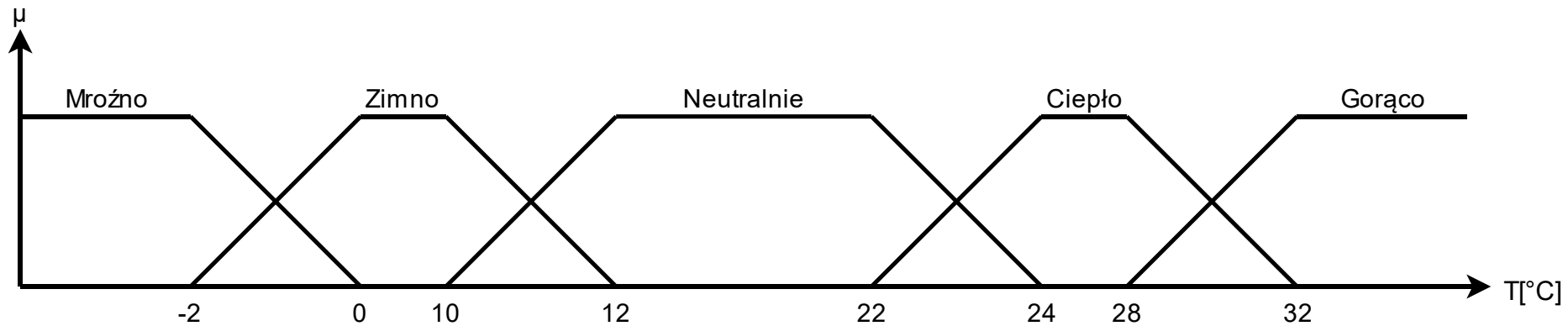
- Cel pracy
- Logika rozmyta
- Obiekt
- Rozmyty model obiektu
- Plan na przyszłe semestry

Cel pracy

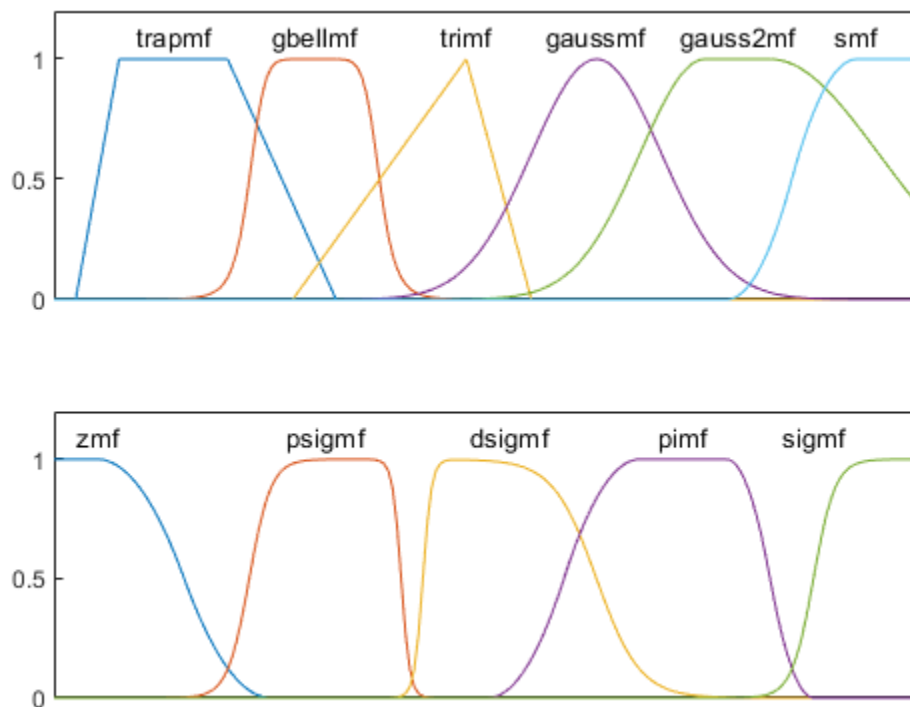
- Zaproponowanie podejścia do procesu modelowania z użyciem logiki rozmytej
- Uzyskany model powinien dawać lepsze rezultaty pod względem:
 - Wydajności
 - Dokładności
 - Prostoty zastosowania
- Model zostanie wykorzystany do zaprojektowania rozmytego regulatora nieliniowego obiektu

Logika rozmyta

- Oparta na wiedzy ekspertów
- Funkcje przynależności



Przykładowe funkcje przynależności



Model Takagi-Sugeno

- Zbiór reguł:

Reguła i : jeśli $\underbrace{x_1 \text{ jest } X_1^i \text{ i } \dots \text{ i } x_n \text{ jest } X_n^i}_{\text{poprzednik}}$, to

$$\underbrace{y^i = f^i(x_1, \dots, x_n)}_{\text{następnik}}$$

- Najczęściej w następnikach używa się funkcji liniowych:

$$y^i = \sum_{j=1}^n a_j^i \cdot x_j + a_0^i$$

- Aby obliczyć wyjście:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^l w_i \cdot y^i}{\sum_{i=1}^l w_i}$$

Dynamiczny model Takagi-Sugeno

Reguła i :

jeśli y_k jest B_1^i i...i y_{k-n+1} jest B_n^i i u_k jest C_1^i i...i u_{k-m+1} jest C_m^i , to

$$y_{k+1}^i = b_1^i y_k + \dots + b_n^i y_{k-n+1} + c_1^i u_k + \dots + c_m^i u_{k-m+1}$$

- Wyjście modelu:

$$y = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_j \cdot x_j + \tilde{a}_0$$

$$\tilde{a}_j = \frac{\sum_{i=1}^l w_i \cdot a_j^i}{\sum_{i=1}^l w_i}$$

Obiekt – reaktor polimeryzacji

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= - \left[Z_p \exp \left(\frac{-E_p}{RT} \right) \right. \\ &\quad \left. + Z_{f_m} \exp \left(\frac{-E_{f_m}}{RT} \right) \right] x_1 P_0(x_2, T) - \frac{F x_1}{V} + \frac{F C_{m_{in}}}{V}, \\ \dot{x}_2 &= - Z_I \exp \left(\frac{-E_I}{RT} \right) x_2 - \frac{F x_2}{V} + \frac{F I C_{I_{in}}}{V}, \\ \dot{x}_3 &= \left[0.5 Z_{T_c} \exp \left(\frac{-E_{T_c}}{RT} \right) \right. \\ &\quad \left. + Z_{T_d} \exp \left(\frac{-E_{T_d}}{RT} \right) \right] P_0^2(x_2, T) \\ &\quad + Z_{f_m} \exp \left(\frac{-E_{f_m}}{RT} \right) x_1 P_0(x_2, T) - \frac{F x_3}{V}, \\ \dot{x}_4 &= M_m \left[Z_p \exp \left(\frac{-E_p}{RT} \right) \right. \\ &\quad \left. + Z_{f_m} \exp \left(\frac{-E_{f_m}}{RT} \right) \right] x_1 P_0(x_2, T) - \frac{F x_4}{V},\end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned}P_0(x_2, T) \\ = \left[\frac{2f^* x_2 Z_I \exp(-E_I/RT)}{Z_{T_d} \exp(-E_{T_d}/RT) + Z_{T_c} \exp(-E_{T_c}/RT)} \right]^{1/2}.\end{aligned}$$

Table 1. Kinetic parameters

i	Z_i	E_i
T_c	$3.8223 \times 10^{10} \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$2.9442 \times 10^3 \text{ kJ kmol}^{-1}$
T_d	$3.1457 \times 10^{11} \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$2.9442 \times 10^3 \text{ kJ kmol}^{-1}$
I	$3.7920 \times 10^{18} \text{ h}^{-1}$	$1.2550 \times 10^5 \text{ kJ kmol}^{-1}$
P	$1.7700 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$1.8283 \times 10^4 \text{ kJ kmol}^{-1}$
f_m	$1.0067 \times 10^{15} \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$7.4478 \times 10^4 \text{ kJ kmol}^{-1}$
$f^* = 0.58$		

Table 2. System parameters

$F = 1.00 \text{ m}^3$
$V = 0.1 \text{ m}^3$
$C_{I_{in}} = 8.0 \text{ kmol m}^{-3}$
$y^{sp} = 25000.5 \text{ kg kmol}^{-1}$
$F_I = 0.016783 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
$R = 8.314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$M_m = 100.12 \text{ kg kmol}^{-1}$
$C_{m_{in}} = 6.0 \text{ kmol m}^{-3}$
$T = 335 \text{ K}$

Obiekt – reaktor polimeryzacji

$$\dot{x}_1 = - \left[Z_p \exp \left(\frac{-E_p}{RT} \right) + Z_{f_m} \exp \left(\frac{-E_{f_m}}{RT} \right) \right] x_1 P_0(x_2, T) - \frac{F x_1}{V} + \frac{F C_{m_{in}}}{V},$$

$$\dot{x}_2 = - Z_I \exp \left(\frac{-E_I}{RT} \right) x_2 - \frac{F x_2}{V} + \frac{F_I C_{I_{in}}}{V},$$

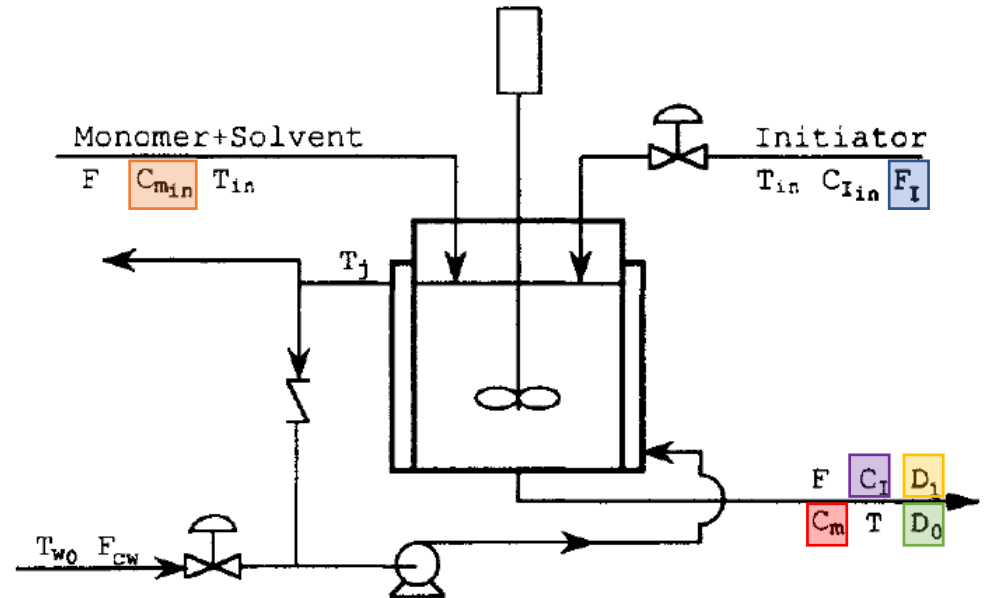
$$\dot{x}_3 = \left[0.5 Z_{T_c} \exp \left(\frac{-E_{T_c}}{RT} \right) + Z_{T_d} \exp \left(\frac{-E_{T_d}}{RT} \right) \right] P_0^2(x_2, T) + Z_{f_m} \exp \left(\frac{-E_{f_m}}{RT} \right) x_1 P_0(x_2, T) - \frac{F x_3}{V},$$

$$\dot{x}_4 = M_m \left[Z_p \exp \left(\frac{-E_p}{RT} \right) + Z_{f_m} \exp \left(\frac{-E_{f_m}}{RT} \right) \right] x_1 P_0(x_2, T) - \frac{F x_4}{V},$$

where

$$P_0(x_2, T)$$

$$= \left[\frac{2 f^* x_2 Z_I \exp(-E_I/RT)}{Z_{T_d} \exp(-E_{T_d}/RT) + Z_{T_c} \exp(-E_{T_c}/RT)} \right]^{1/2}.$$



$$\dot{x}_1 = -10x_1 - 2,4568x_1\sqrt{x_2} + 10d$$

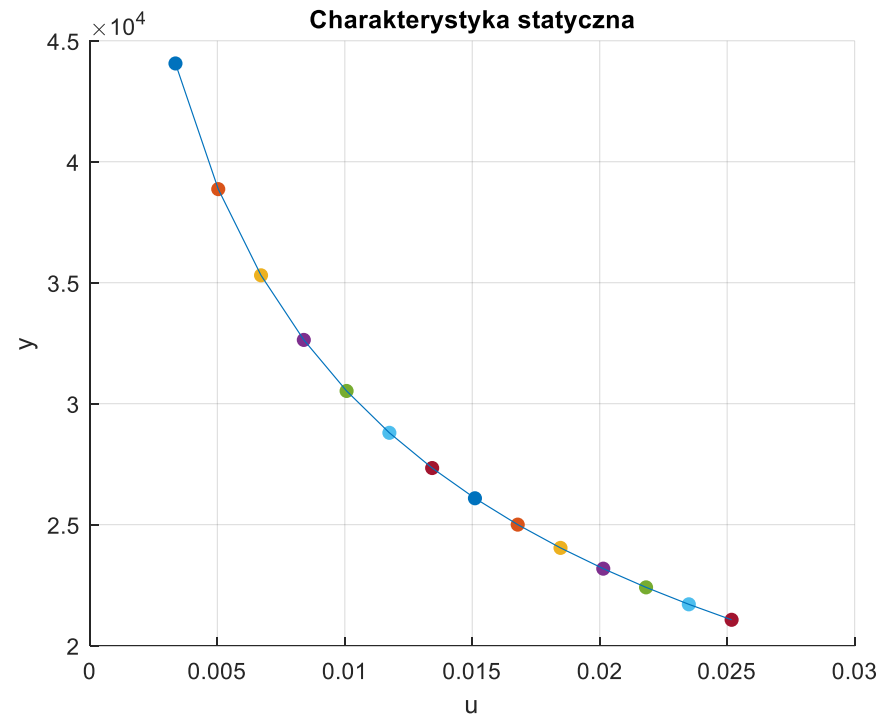
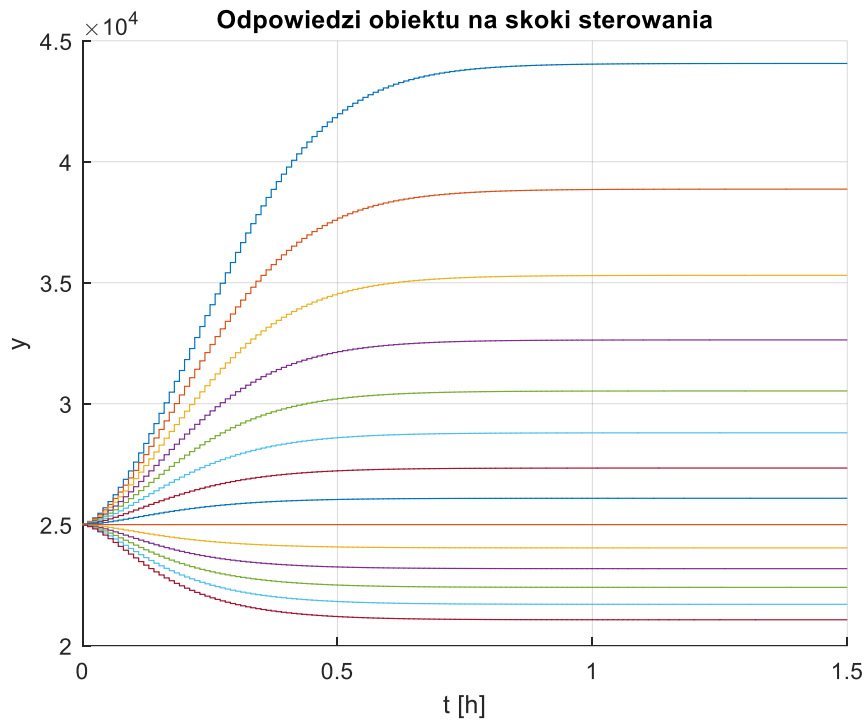
$$\dot{x}_2 = 80u - 10,1022x_2$$

$$\dot{x}_3 = 0,0024121x_1\sqrt{x_2} + 0,112191x_2 - 10x_3$$

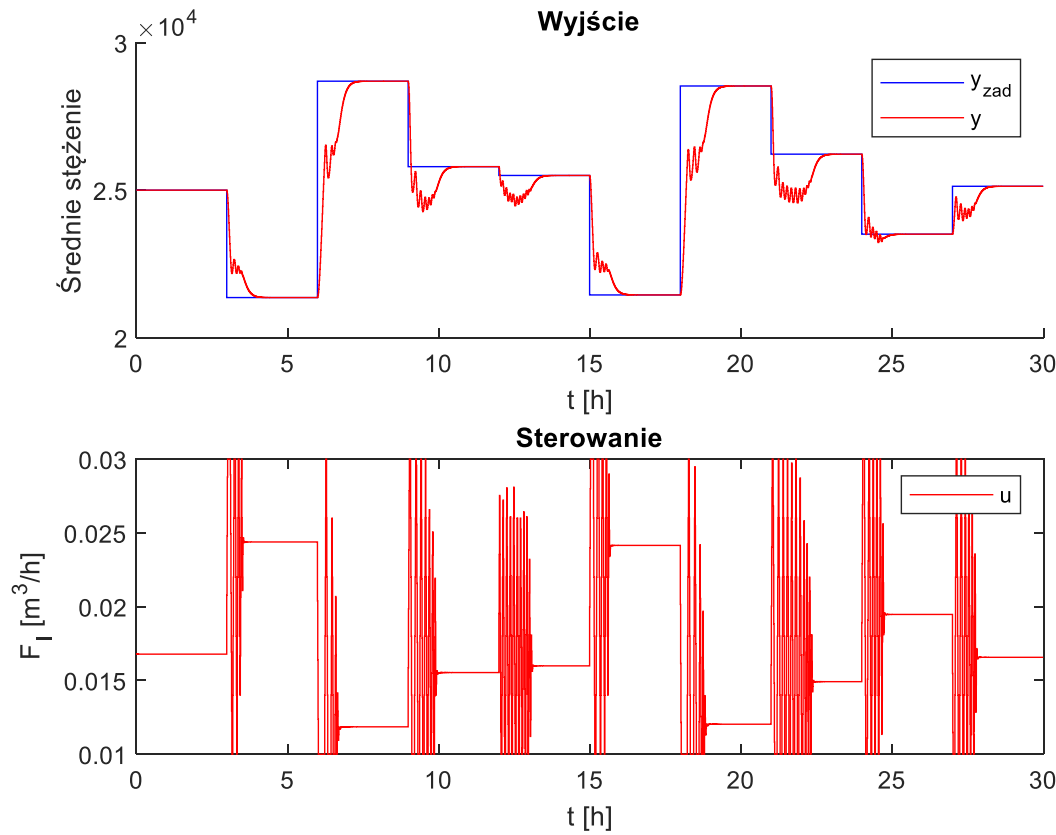
$$\dot{x}_4 = 245,978x_1\sqrt{x_2} - 10x_4$$

$$y = \frac{x_4}{x_3}$$

Obiekt – reaktor polimeryzacji

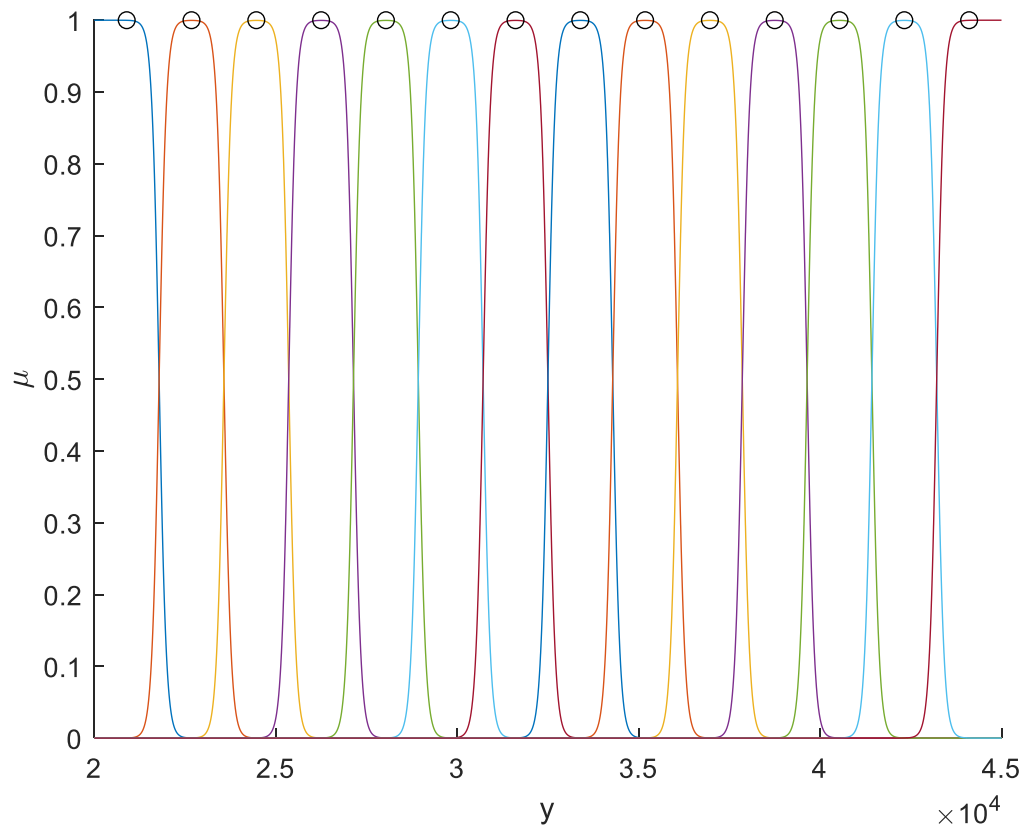


Obiekt – działanie klasycznego regulatora DMC



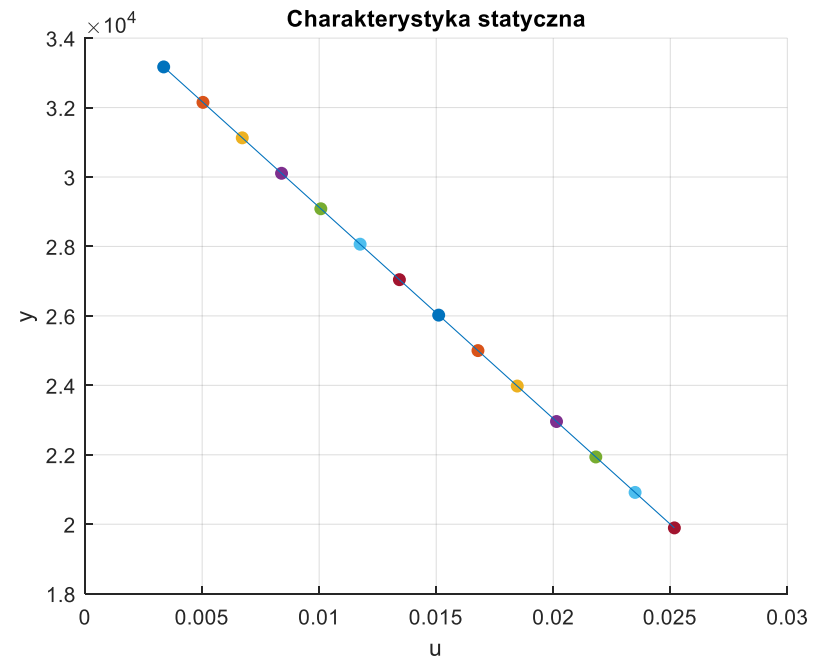
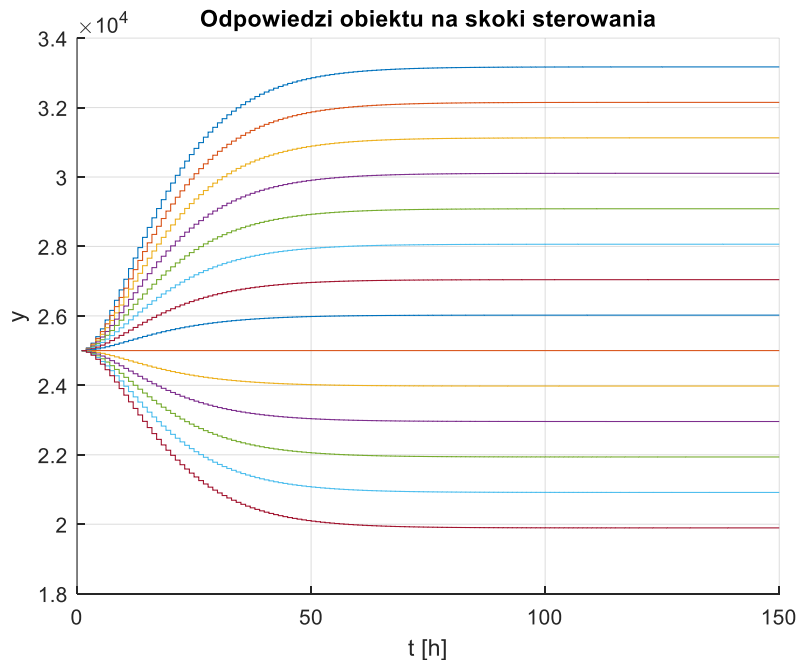
Rozmyty model obiektu

- Funkcje przynależności:



Rozmyty model obiektu

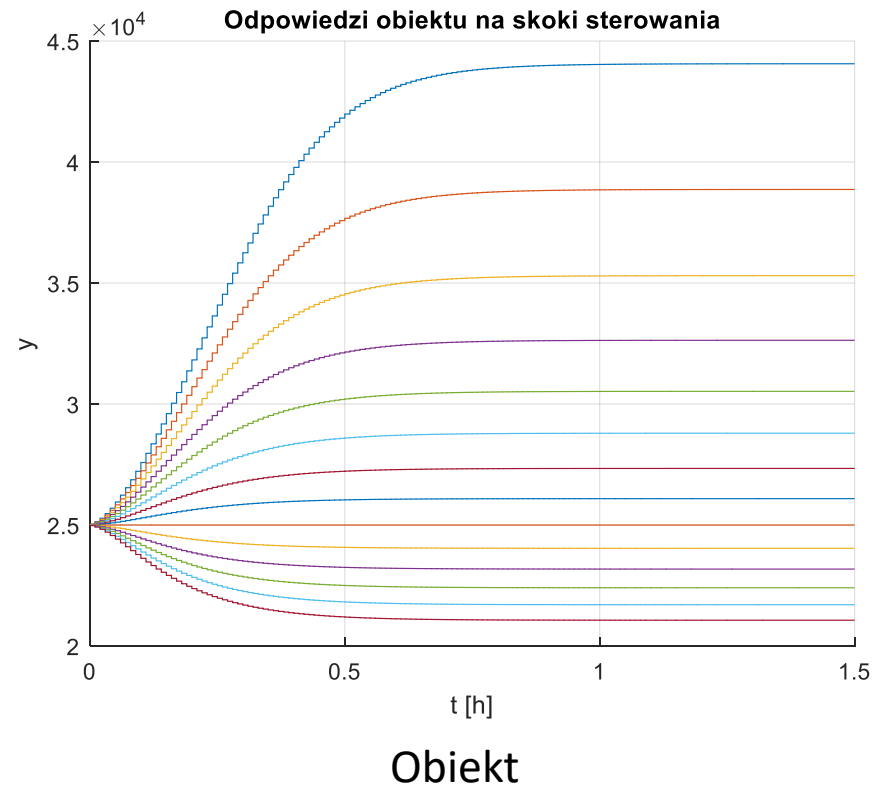
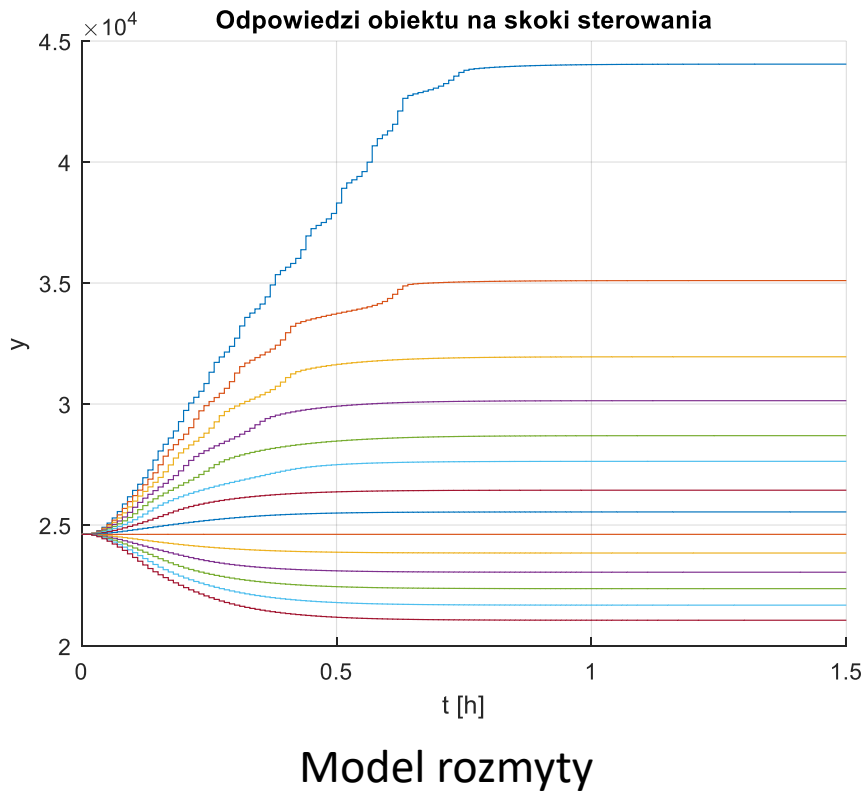
- Dobranie następników funkcji
 - Modele liniowe w kilku punktach linearyzacji



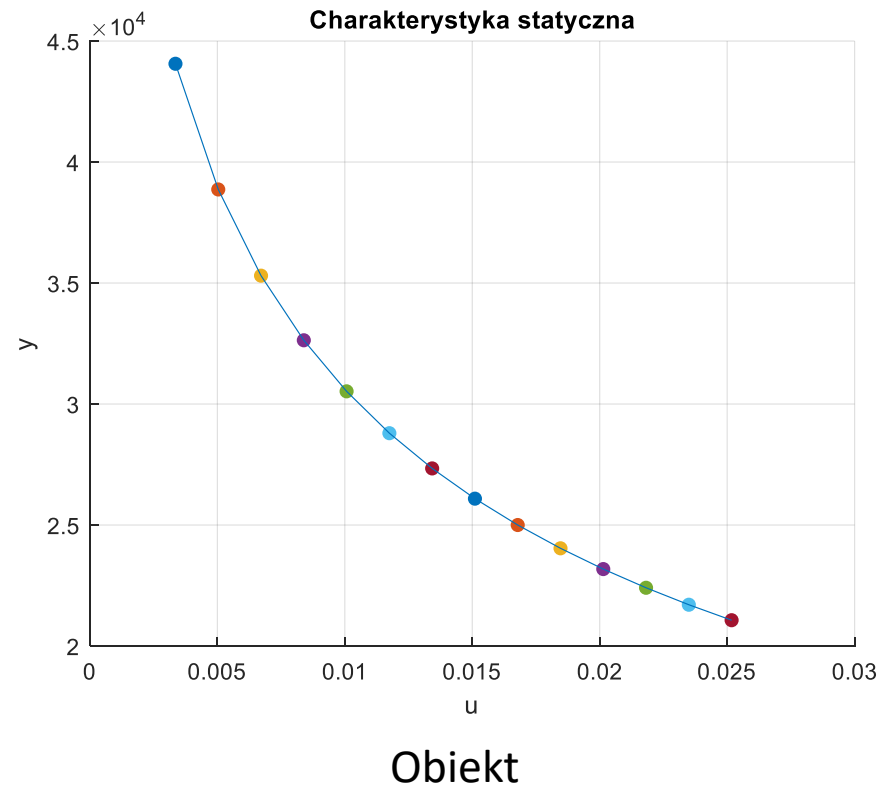
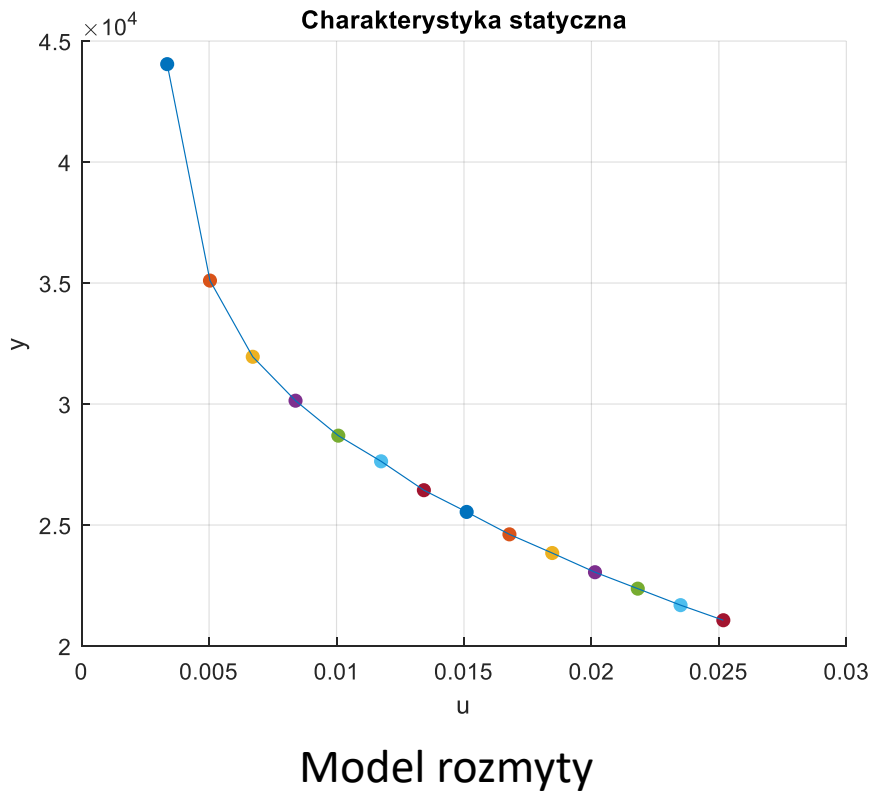
Rozmyty model obiektu

- W każdej iteracji:
 - Obliczenie wyjść poszczególnych liniowych modeli lokalnych
 - Obliczanie wartości funkcji przynależności
 - Obliczenie wyjścia modelu jako średniej ważonej wyjść modeli lokalnych z wagami wartości funkcji przynależności

Rozmyty model obiektu – rezultaty



Rozmyty model obiektu – rezultaty



Rozmyty model obiektu – strojenie modelu

- Należy przyjąć postać dynamiki obiektu w modelach lokalnych
- Podejście hybrydowe:
 - Najpierw za pomocą metody optymalizacji znajdowane są parametry poprzedników
 - Następnie optymalizowane są parametry następników
 - Operacje powtarzamy aż do uzyskania zadowalających rezultatów

Plan na przyszłe semestry

- Dalsze badania w zakresie tworzenia modeli rozmytych
- Zastosowanie funkcji nieliniowych w następnikach modelu
- Zastosowanie modelu w algorytmie regulacji
- Weryfikacja podejścia na innych obiektach, także na obiekcie o wielu wejściach i wielu wyjściach

Dziękuję za uwagę