Modelowanie i sterowanie rozmyte nieliniowego obiektu

Autor: Maciej Kłos

Opiekun pracy dyplomowej: dr inż. Piotr Marusak

Plan prezentacji

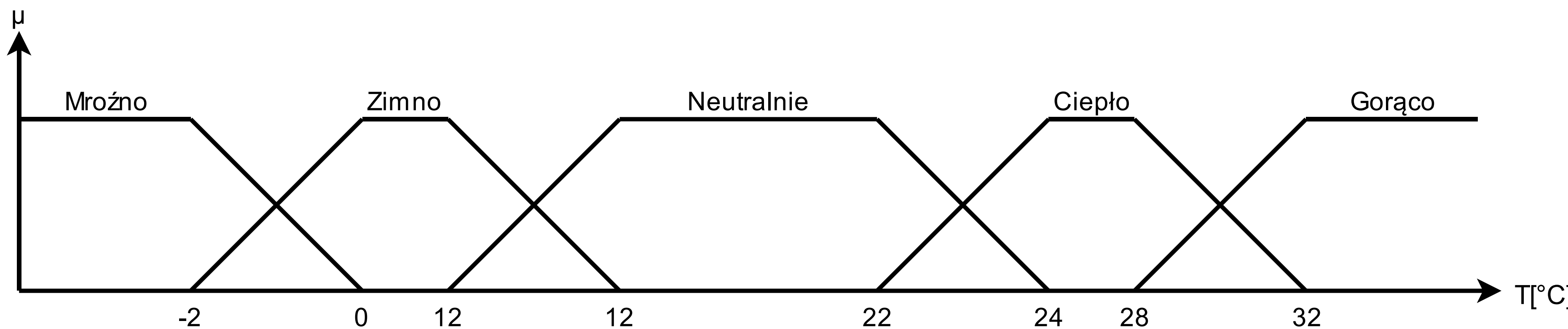
- Cel pracy
- Logika rozmyta
- Obiekt
- Rozmyty model obiektu
- Plan na przyszłe semestry

Cel pracy

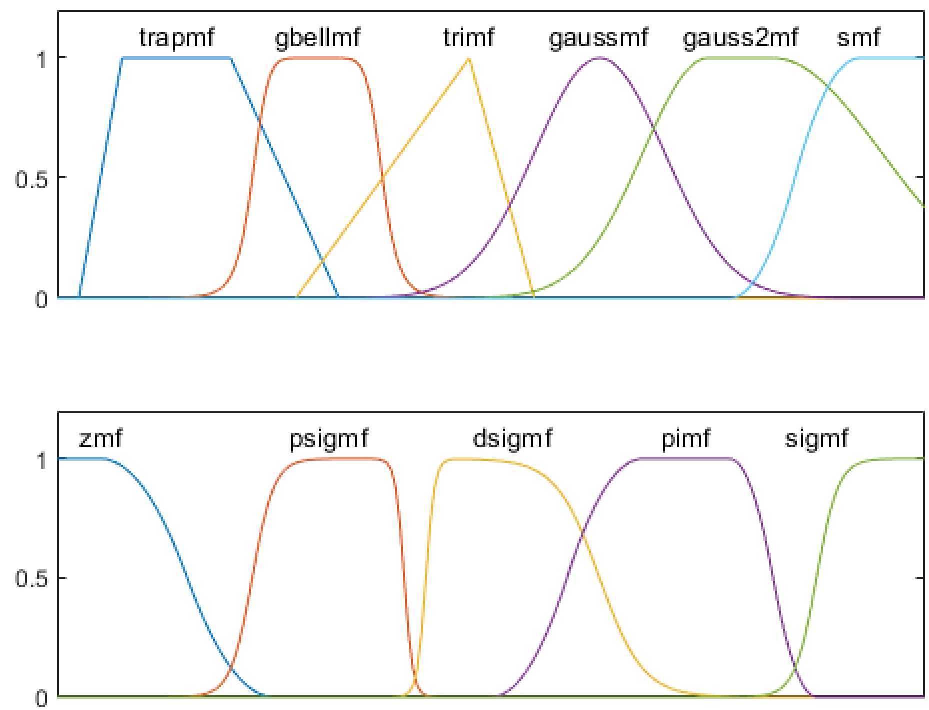
- Zaproponowanie podejścia do procesu modelowania z użyciem logiki rozmytej
- Uzyskany model powinien dawać lepsze rezultaty pod względem:
  - Wydajności
  - Dokładności
  - Prostoty zastosowania
- Model zostanie wykorzystany do zaprojektowania rozmytego regulatora nieliniowego obiektu

Logika rozmyta

- Oparta na wiedzy ekspertów
- Funkcje przynależności



Przykładowe funkcje przynależności



Model Takagi-Sugeno

- Zbiór reguł:

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

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

- 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

$$\dot{x}_1 = -\left[Z_p \exp\left(\frac{-E_p}{RT}\right) + Z_{f_m} \exp\left(\frac{-E_{f_m}}{RT}\right)\right] x_1 P_0(x_2, T) - \frac{Fx_1}{V} + \frac{FC_{m_{in}}}{V},$$

$$\dot{x}_2 = -Z_I \exp\left(\frac{-E_I}{RT}\right) x_2 - \frac{Fx_2}{V} + \frac{F_I C_{I_{in}}}{V},$$

$$\dot{x}_3 = \left[0.5 Z_{T_c} \exp\left(\frac{-E_{T_c}}{RT}\right) + Z_{T_d} \exp\left(\frac{-E_{T_d}}{RT}\right)\right] P_0^2(x_2, T) + Z_{f_m} \exp\left(\frac{-E_{f_m}}{RT}\right) x_1 P_0(x_2, T) - \frac{Fx_3}{V},$$

$$\dot{x}_4 = M_m \left[Z_p \exp\left(\frac{-E_p}{RT}\right) + Z_{f_m} \exp\left(\frac{-E_{f_m}}{Rt}\right)\right] x_1 P_0(x_2, T) - \frac{Fx_4}{V},$$

where

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

Table 1. Kinetic parameters

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

Table 2. System parameters

$F = 1.00$ m^3
$V = 0.1$ m^3
$C_{I_{in}} = 8.0$ kmol m^{-3}
$y^{sp} = 25\,000.5$ kg kmol^{-1}
$F_I = 0.016783$ m^3 h^{-1}
$R = 8.314$ kJ kmol^{-1} K^{-1}
$M_m = 100.12$ kg kmol^{-1}
$C_{m_{in}} = 6.0$ kmol m^{-3}
$T = 335$ K

Obiekt – reaktor polimeryzacji

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

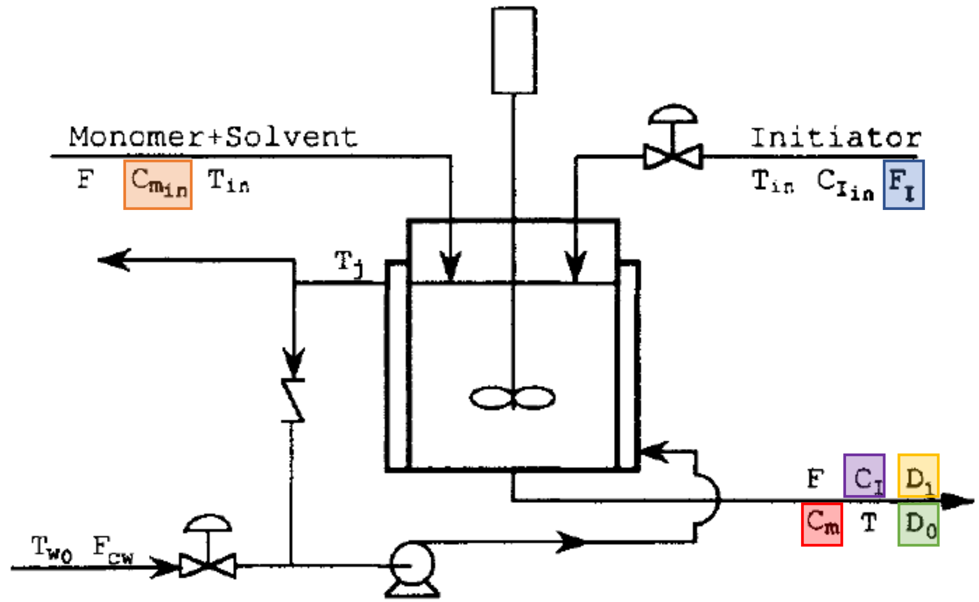
$$\dot{x}_2 = -Z_{\mathrm{I}} \exp\left(\frac{-E_{\mathrm{I}}}{RT}\right) x_2 - \frac{F x_2}{V} + \frac{F_{\mathrm{I}} C_{\mathrm{I_{in}}}}{V},$$

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

$$\dot{x}_4 = M_{\mathrm{m}}\left[Z_{\mathrm{p}} \exp\left(\frac{-E_{\mathrm{p}}}{RT}\right) + Z_{\mathrm{f_m}} \exp\left(\frac{-E_{\mathrm{f_m}}}{Rt}\right)\right] x_1 P_0(x_2, T) - \frac{F x_4}{V},$$

where

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



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

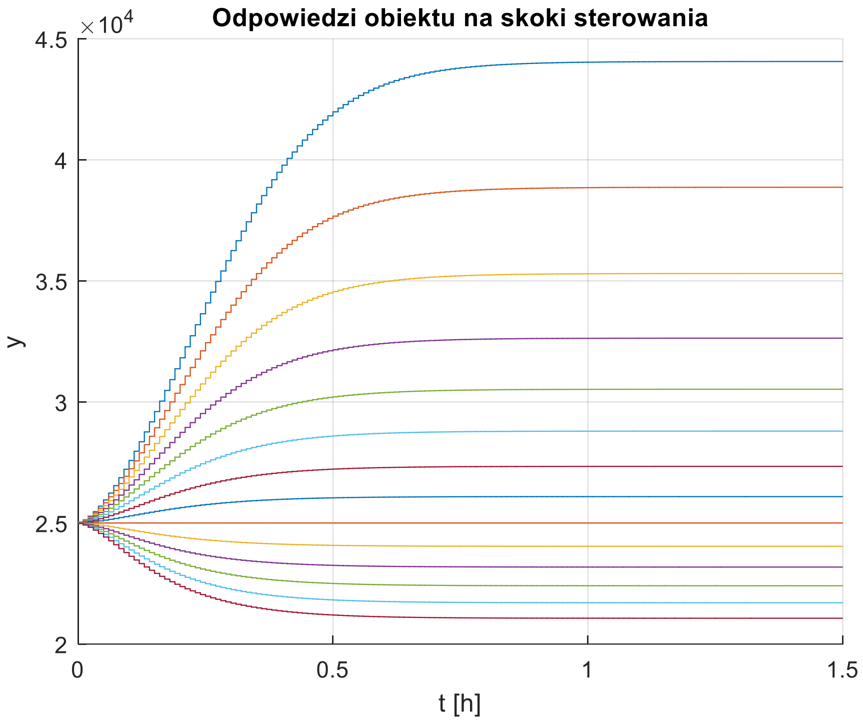
$$\boxed{\dot{x}_2} = 80\boxed{u} - 10{,}1022 x_2$$

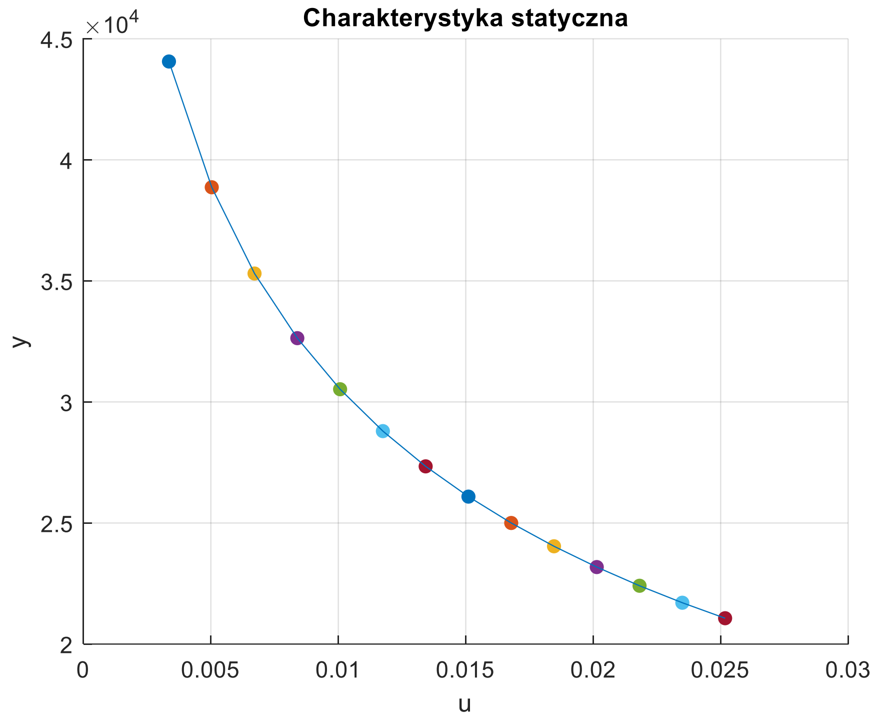
$$\boxed{\dot{x}_3} = 0{,}0024121 x_1 \sqrt{x_2} + 0{,}112191 x_2 - 10x_3$$

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

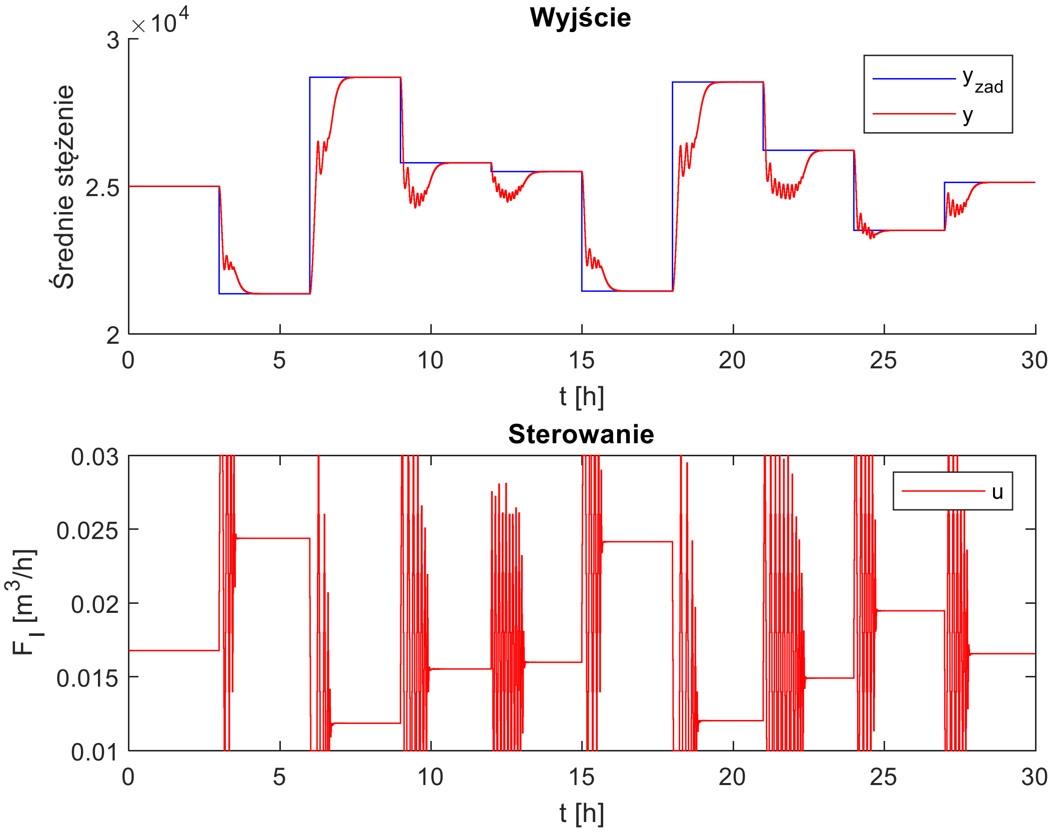
$$y = \frac{x_4}{x_3}$$

Obiekt – reaktor polimeryzacji



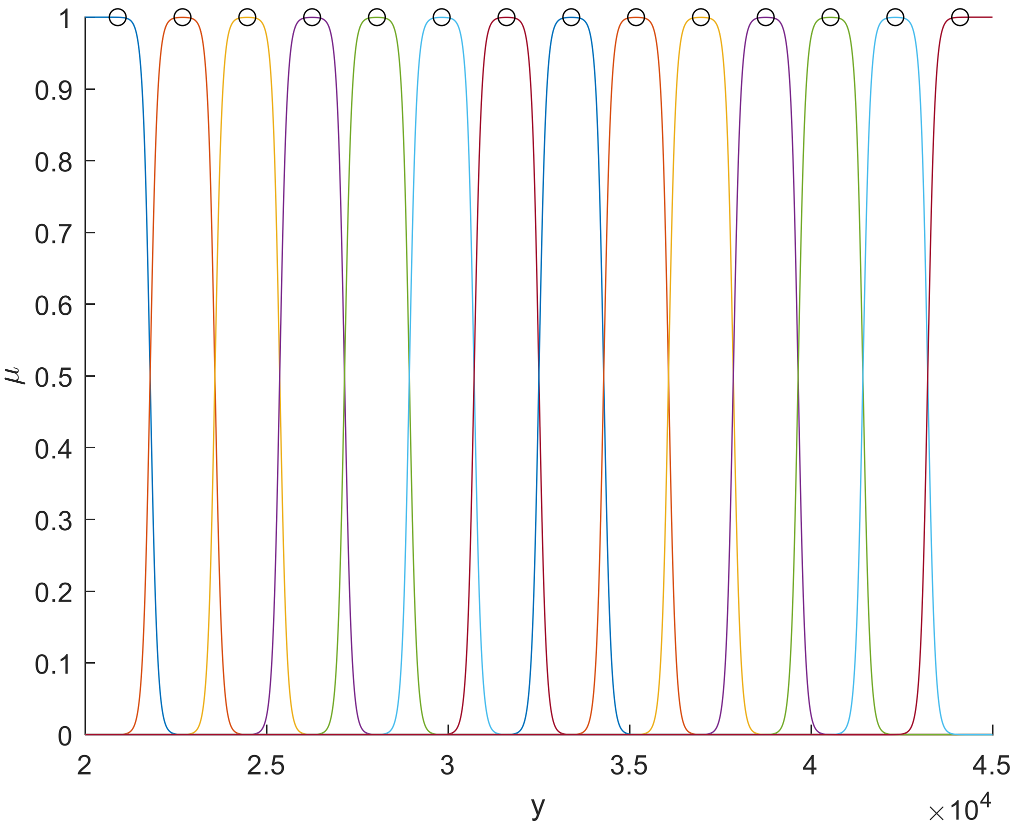


Obiekt – działanie klasycznego regulatora DMC



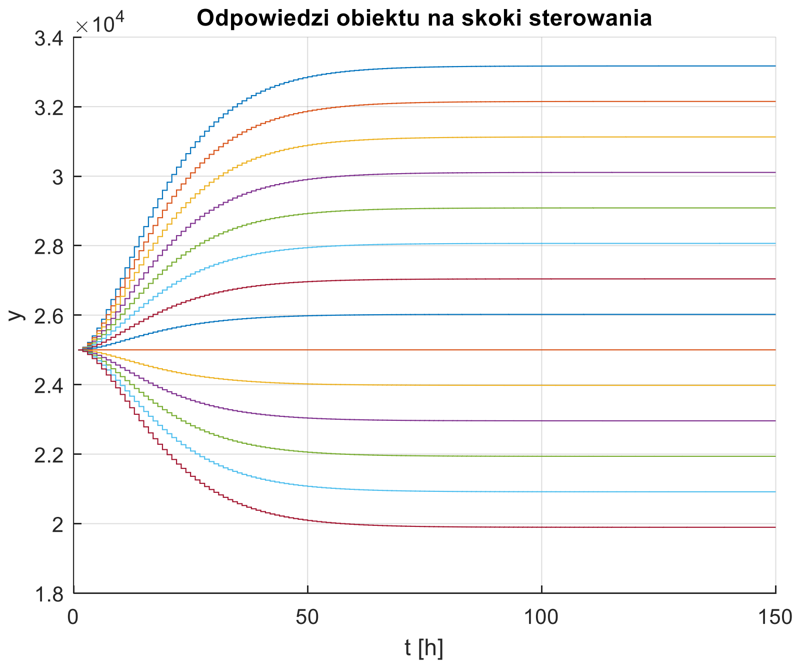
Rozmyty model obiektu

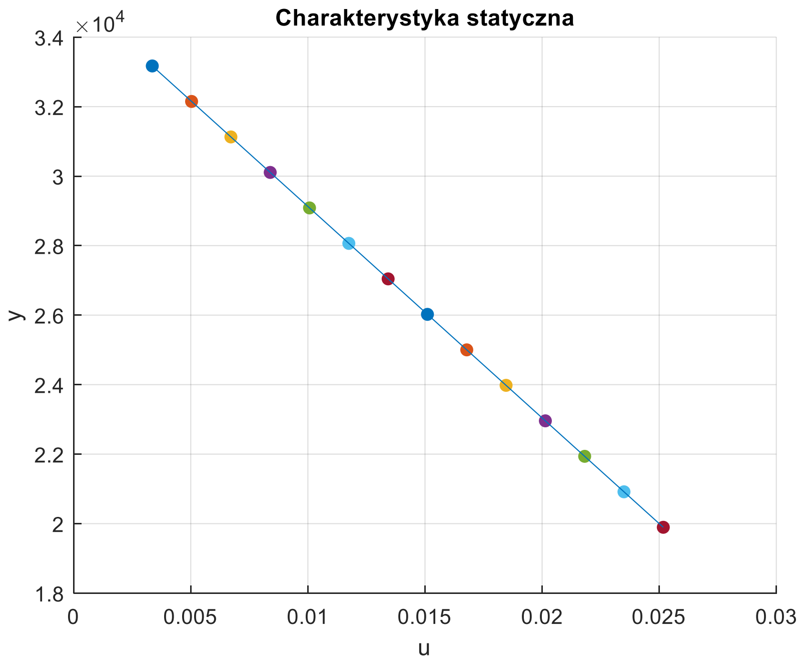
- Funkcje przynależności:



Rozmyty model obiektu

- Dobranie następników funkcji
  - Modele liniowe w kilku punktach linearyzacji

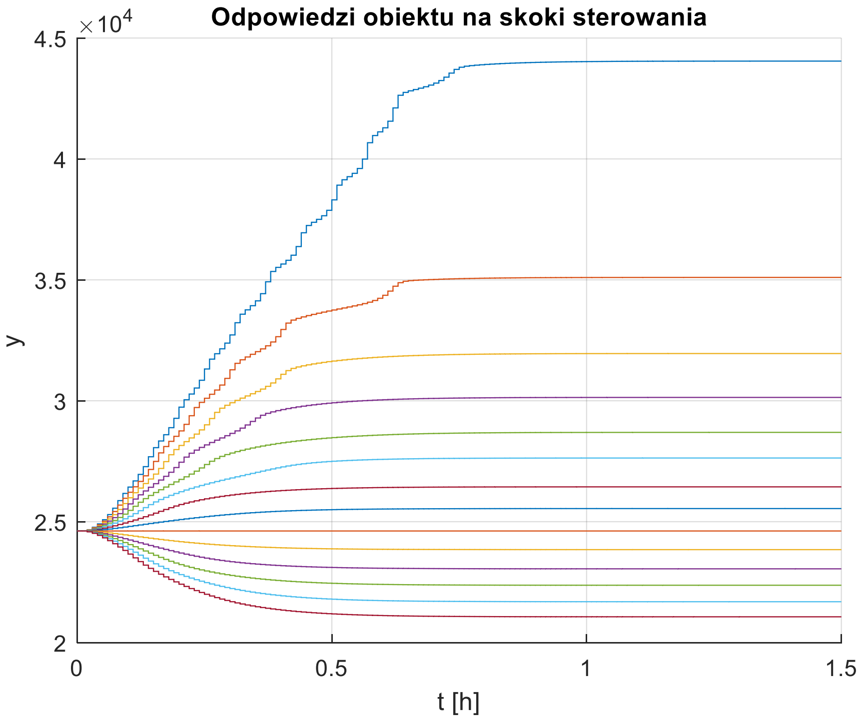




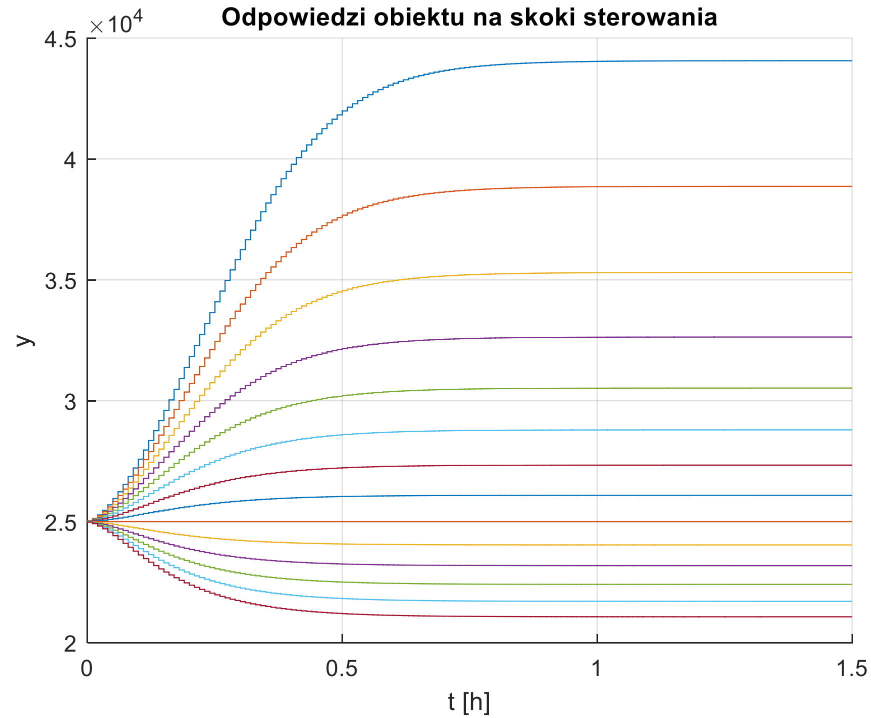
Rozmyty model obiektu

- 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

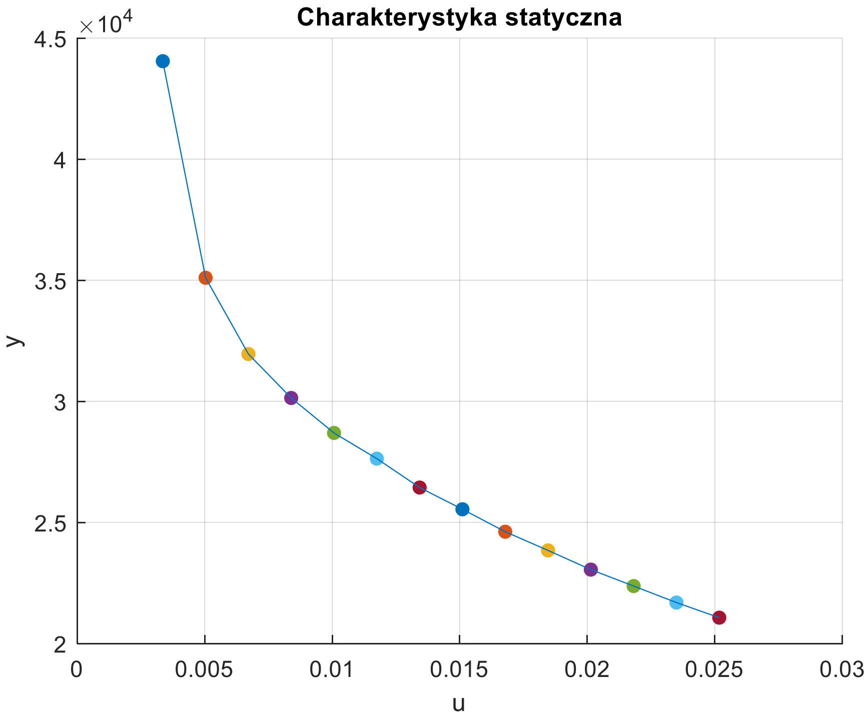


Model rozmyty

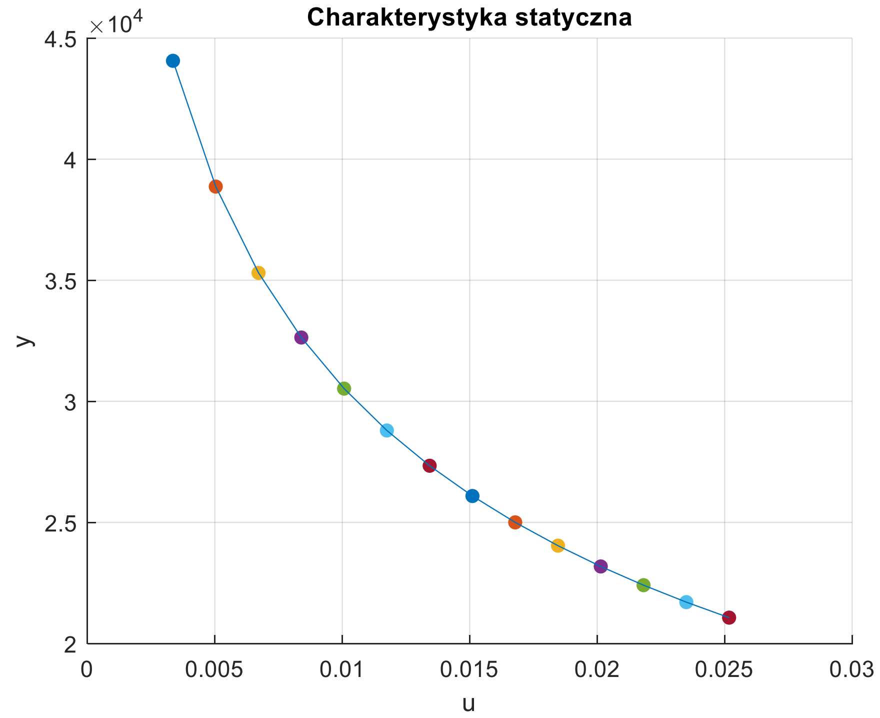


Obiekt

Rozmyty model obiektu – rezultaty



Model rozmyty



Obiekt

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