Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Sztuczna Inteligencja w Automatyce

Sprawozdanie z projektu 1
Polecenie 5
Zadanie 1

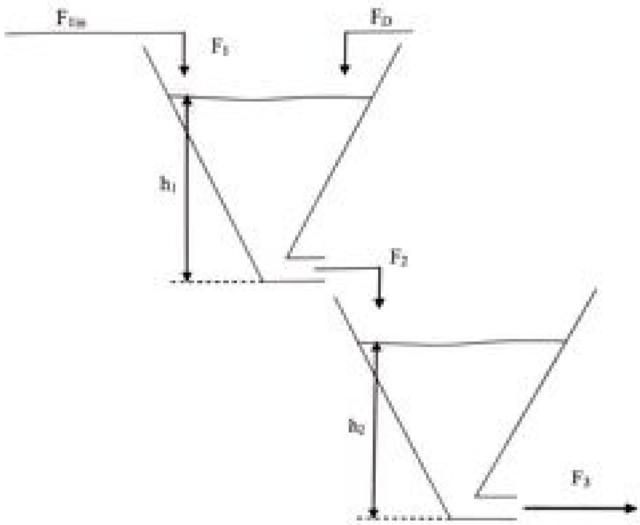
Michał Kwarciński, Bartosz Gałecki

Warszawa, 2022

Spis treści

1. Zadanie 1

1.1. Symulacja obiektu



Rys. 1.1: Obiekt

Na podstawie podanych w zadaniu równań obiektu otrzymaliśmy na wyjście h_1 i h_2 zależne od F_1 i F_d.

$$f_{h1}(h1, h2, F1, Fd) = \frac{1}{3 \cdot C_1 \cdot h_1^2} \cdot (F_1 + F_d - \alpha_1 \cdot \sqrt{h_1}) \tag{1.1}$$

$$f_{h2}(h1, h2, F1, Fd) = \frac{1}{3 \cdot C_2 \cdot h_2^2} \cdot (\alpha_2 \cdot \sqrt{h_1} - \alpha_2 \cdot \sqrt{h_2}) \tag{1.2}$$

$$k_1 = f_{h1}(h1(k-1), h2(k-1), F1(k-1-\tau), Fd(k)) \tag{1.3}$$

$$k_2 = f_{h2}(h1(k-1), h2(k-1), F1(k-1-\tau), Fd(k)) \tag{1.4}$$

$$h_1(k) = h_1(k-1) + T \cdot f_{h1}\left(h_1(k-1) + k1 \cdot \frac{T}{2}, h_2(k-1) + k2 \cdot \frac{T}{2}, F_1(k-1-\tau), F_d(k)\right) \tag{1.5}$$

$$h_2(k) = h_2(k-1) + T \cdot f_{h2}\left(h_1(k-1) + k1 \cdot \frac{T}{2}, h_2(k-1) + k2 \cdot \frac{T}{2}, F_1(k-1-\tau), F_d(k)\right) \tag{1.6}$$

gdzie:

$h_1(k)$ - wysokość słupa cieczy w pierwszym zbiorniku w chwili k.
$h_2(k)$ - wysokość słupa cieczy w drugim zbiorniku w chwili k.

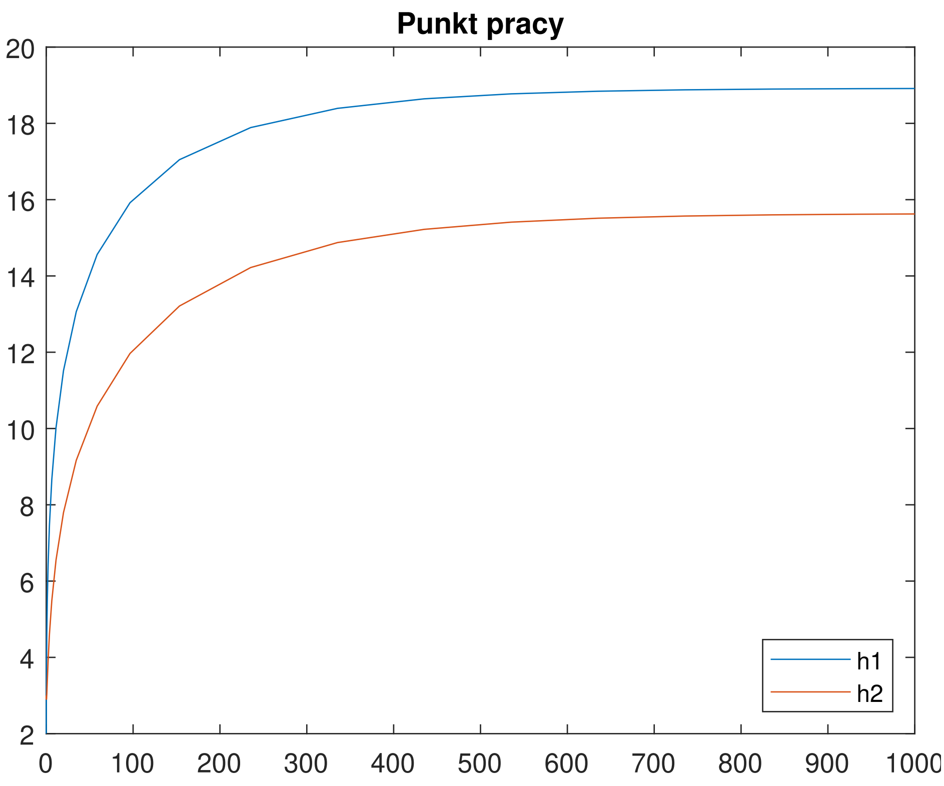
F_1 - dopływ cieczy - tym parametrem sterujemy.
F_d - dopływ cieczy - zakłócenia.
C_1, C_2, α_1, α_2 - stałe.
T - próbkowanie
τ - opóźnienie.

Stałe wynoszą:

C_1 - $0,35$.
C_2 - $0,3$.
α_1 - 20.
α_2 - 22.

Przyjęliśmy czas próbkowania T = 5, gdyż zdecydowanie usprawni (szczególnie w NPL) to obliczenia.

Do symulacji obiektu użyliśmy funkcji $ode45$.
Dla zadanego punktu pracy ($F_1 = 72cm^3/s$, $F_D = 15cm^3/s$) układ stabilizuje się dla $h_1 = 18{,}9$, $h_2 = 15{,}6$ jak widać na rysunku 1.2.



Rys. 1.2: Punkt pracy

1.2. Model liniowy w punkcie pracy

Otrzymany model linearyzujemy. Otrzymujemy następujące równania:

$$g_{hl1}(h_{l1}, h_{l2}, F_1, F_d) = \left(\frac{F_1 + F_D - \alpha_1 \cdot \sqrt{h_{LL1}}}{3 \cdot C_1 \cdot (h_{LL1})^2} - \frac{(h_{l1} - h_{LL1}) \cdot (4 \cdot (Fl_1 + F_{DL}) - 3 \cdot \alpha_1 \cdot \sqrt{h_{LL1}})}{6 \cdot C_1 \cdot h_{LL1}^3} \right) \tag{1.7}$$

$$g_{hl2}(h_{l1},h_{l2},F1,Fd)=\Big(\frac{\alpha_1\cdot\sqrt{h_{LL1}}-\alpha_2\cdot\sqrt{h_{LL2}}}{3\cdot C2\cdot(h_{LL2})^2}+\frac{(h_{l1}-h_{LL1})\cdot\alpha_1}{6\cdot\sqrt{h_{LL1}}\cdot(h_{LL2})^2\cdot C2}+ \\ +\frac{(3\cdot\alpha_2\cdot\sqrt{h_{LL2}}-4\cdot\alpha_1\cdot\sqrt{h_{LL1}})\cdot(h_{l2}-h_{LL2})}{6\cdot C2\cdot(h_{LL2})^3}\Big) \tag{1.8}$$

$$k_{l1}=g_{hl1}(h_{l1}(k-1),h_{l2}(k-1),F_1(k-1-\tau),F_d(k)) \tag{1.9}$$

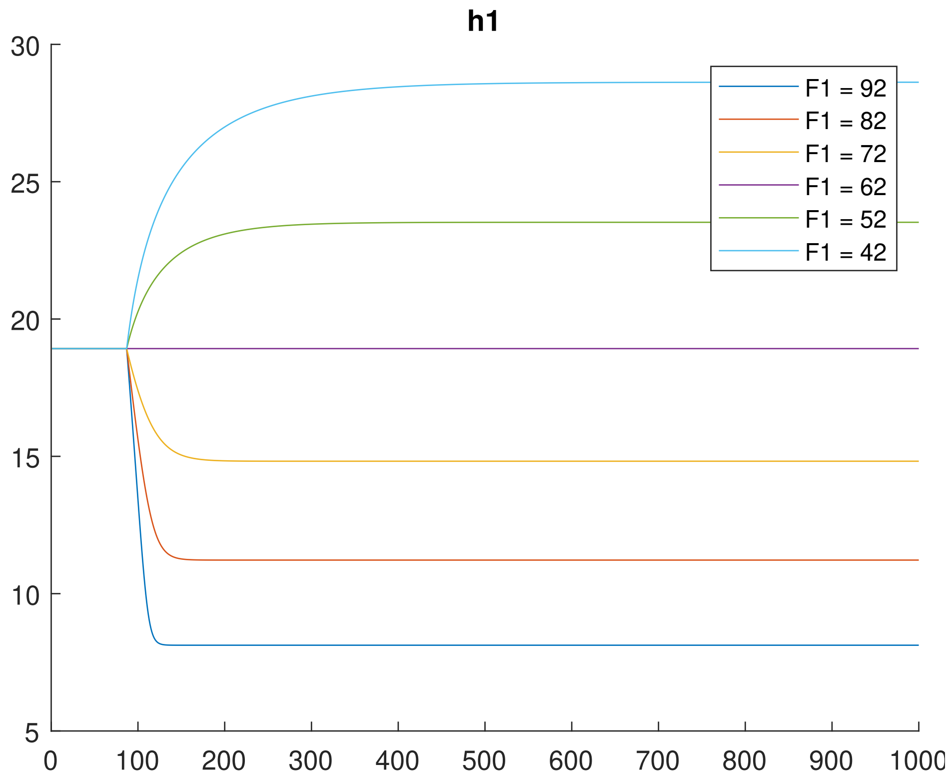
$$k_{l2}=g_{hl2}(h_{l1}(k-1),h_{l2}(k-1),F_1(k-1-\tau),F_d(k)) \tag{1.10}$$

$$h_{l1}(k)=h_{l1}(k-1)+T\cdot g_{hl1}\Big(h_{l1}(k-1)+k_{l1}\cdot\frac{T}{2},h_{l2}(k-1)+k_{l2}\cdot\frac{T}{2},F_1(k-1-\tau),F_d(k)\Big) \tag{1.11}$$

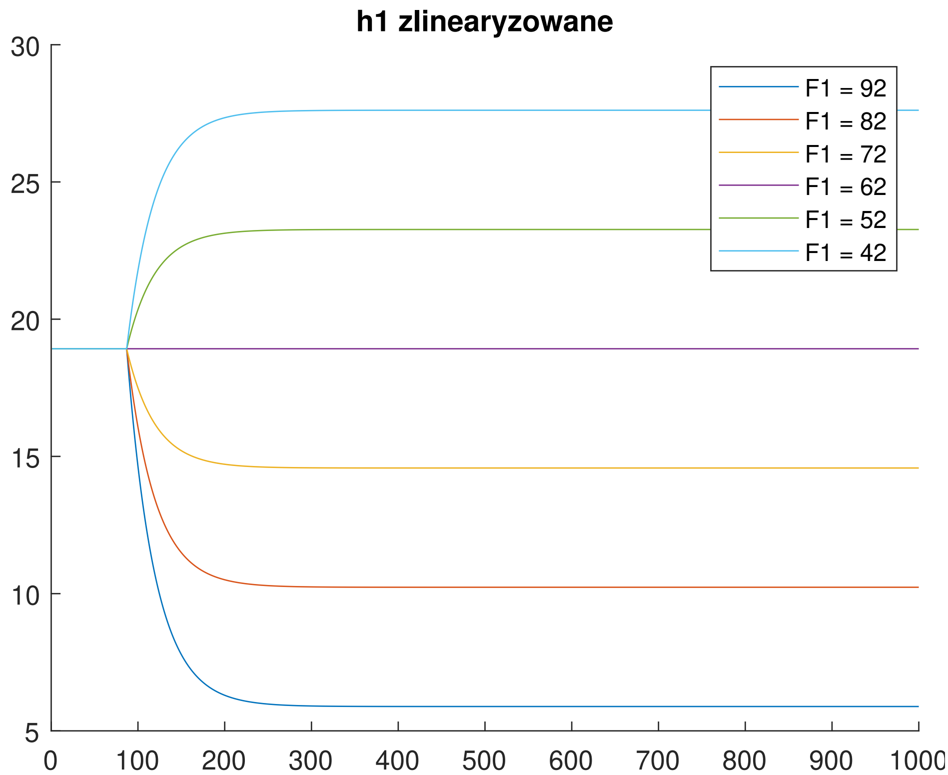
$$h_{l2}(k)=h_{l2}(k-1)+T\cdot f_{hl2}\Big(h_{l1}(k-1)+k_{l1}\cdot\frac{T}{2},h_{l2}(k-1)+k_{l2}\cdot\frac{T}{2},F_1(k-1-\tau),F_d(k)\Big) \tag{1.12}$$

gdzie:

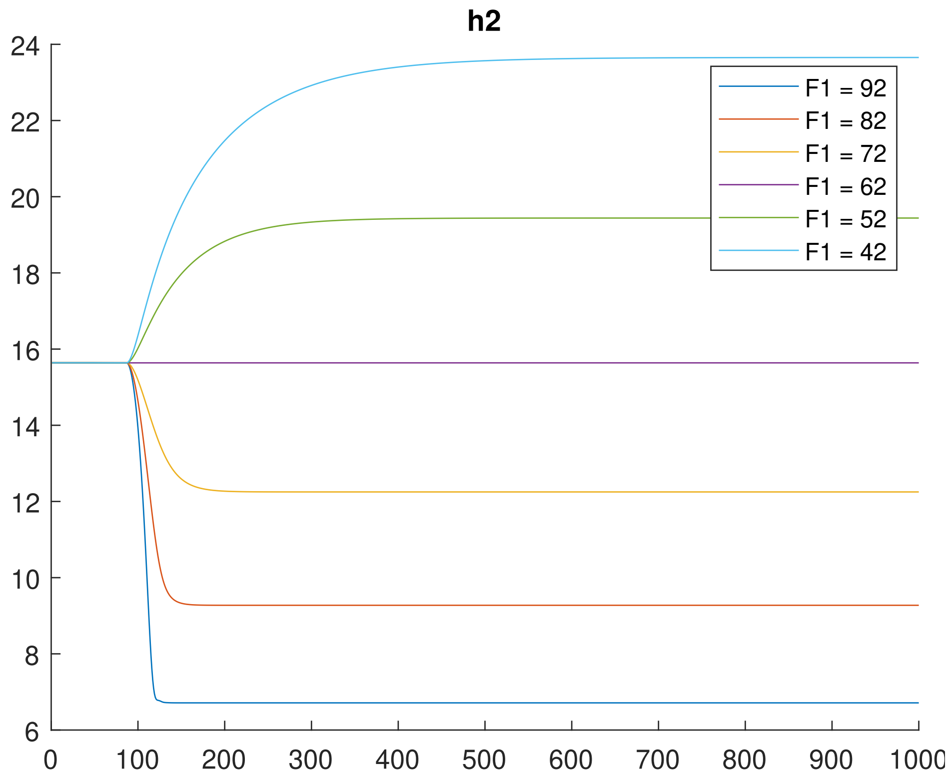
$h_{l1}(k)$ - wysokość słupa cieczy w pierwszym zbiorniku w chwili k.
$h_{l2}(k)$ - wysokość słupa cieczy w drugim zbiorniku w chwili k.
h_{LL1} - punkt linearyzacji $h1$.
h_{LL2} - punkt linearyzacji $h2$.
$F_1(k)$ - dopływ cieczy - tym parametrem sterujemy.
F_D - dopływ cieczy - zakłócenia.
F_{DL} - punkt linearyzacji zakłóceń.
C_1, C_2, α_1, α_2 - Wartości stałe nie uległy zmianie.
T - próbkowanie



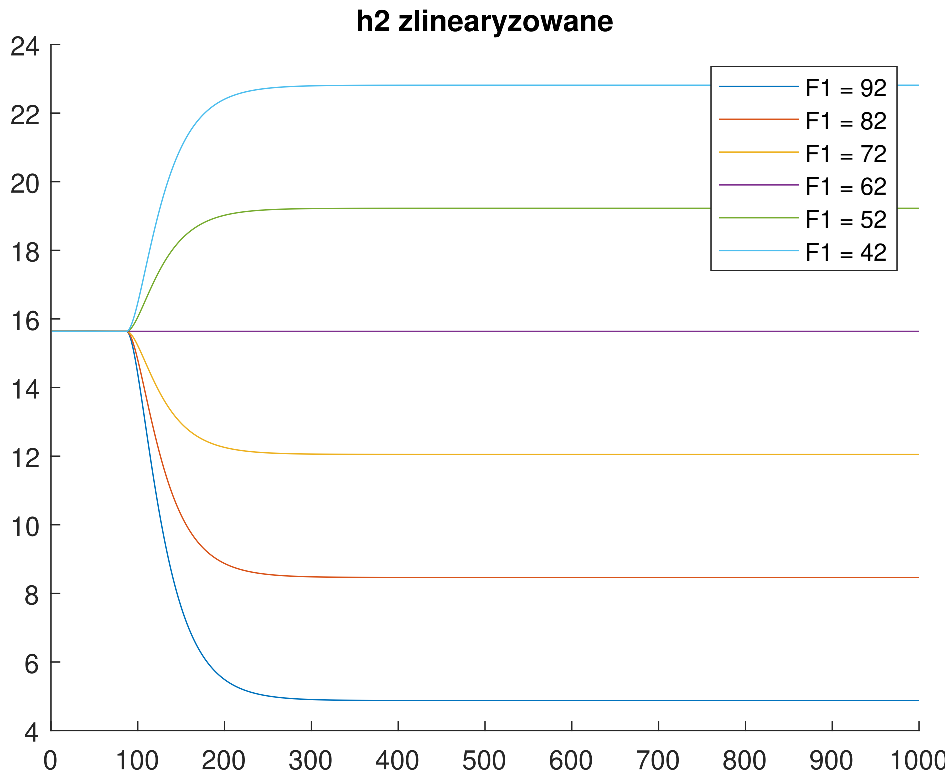
Rys. 1.3: nieliniowe h1



Rys. 1.4: liniowe h1



Rys. 1.5: nieliniowe h2



Rys. 1.6: liniowe h2

1.3. Porównanie działania modeli

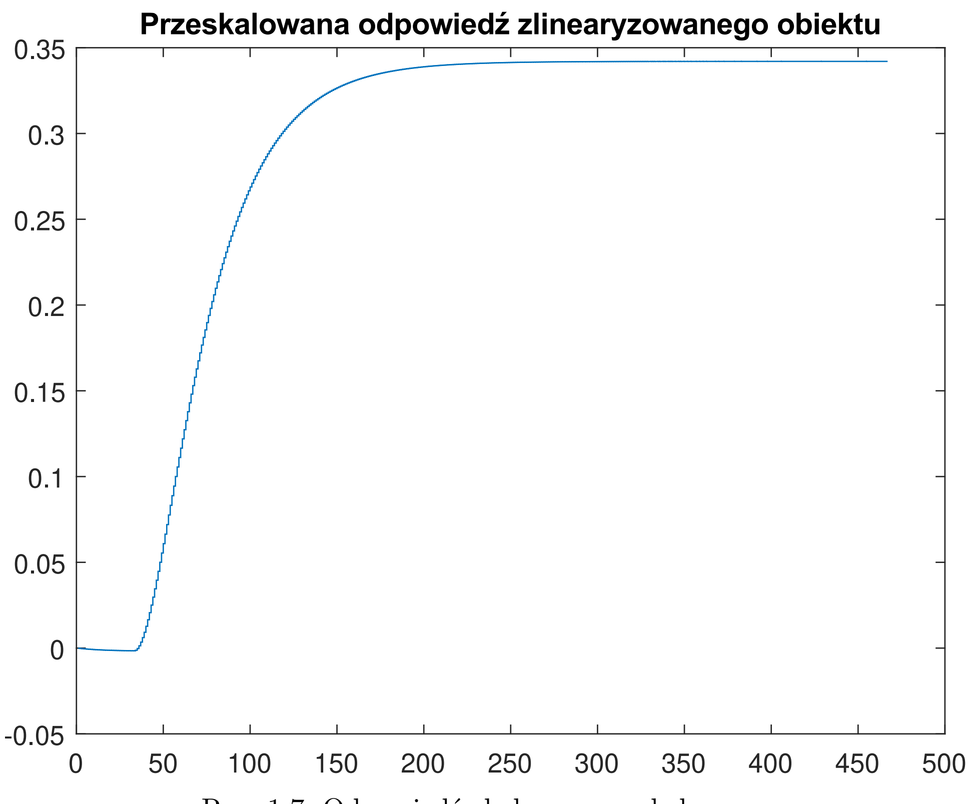
Na podstawie wykresów można zauważyć duże różnice. Dla modelu nieliniowego widoczna jest znacząca niesymetryczność. Widać różnice poziomie stabilizacji dla skoków sterowania, jak i również czas stabilizacji jest inny. Dla modelów liniowych skoki i czasy są identyczne między testami dla różnych sterowań. Widać również, że w odpowiedziach nieliniowych widać różnice w prędkości zbiegania do stabilnego poziomu.
Można dojść do wniosku, że linearyzacja w danym punkcje daje bardzo dobre przybliżenie tylko w okolicy punktu linearyzacji. Im dalej od niego się znajdujemy tym gorsze dostajemy przybliżenie.

1.4. PID czy DMC?

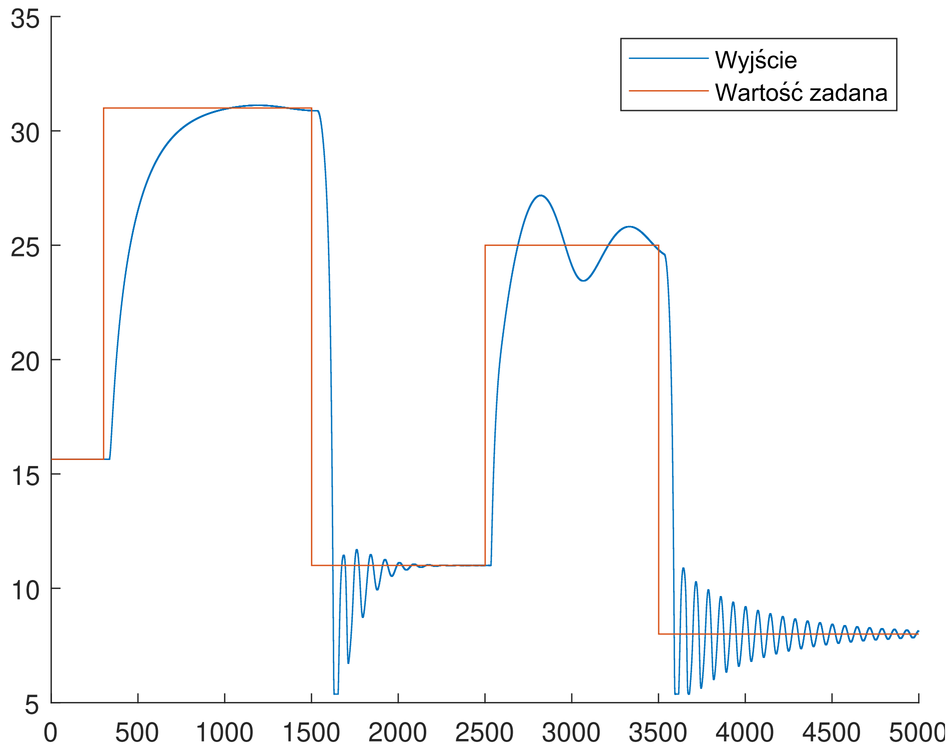
Do realizacji tego zadania, jak i następnych decydujemy się na użycie rozmytego regulatora DMC, gdyż owy regulator zdecydowanie lepiej powinien sobie radzić z opóźnieniem występującym w obiekcie.

1.5. Konwencjonalny DMC (nie rozmyty)

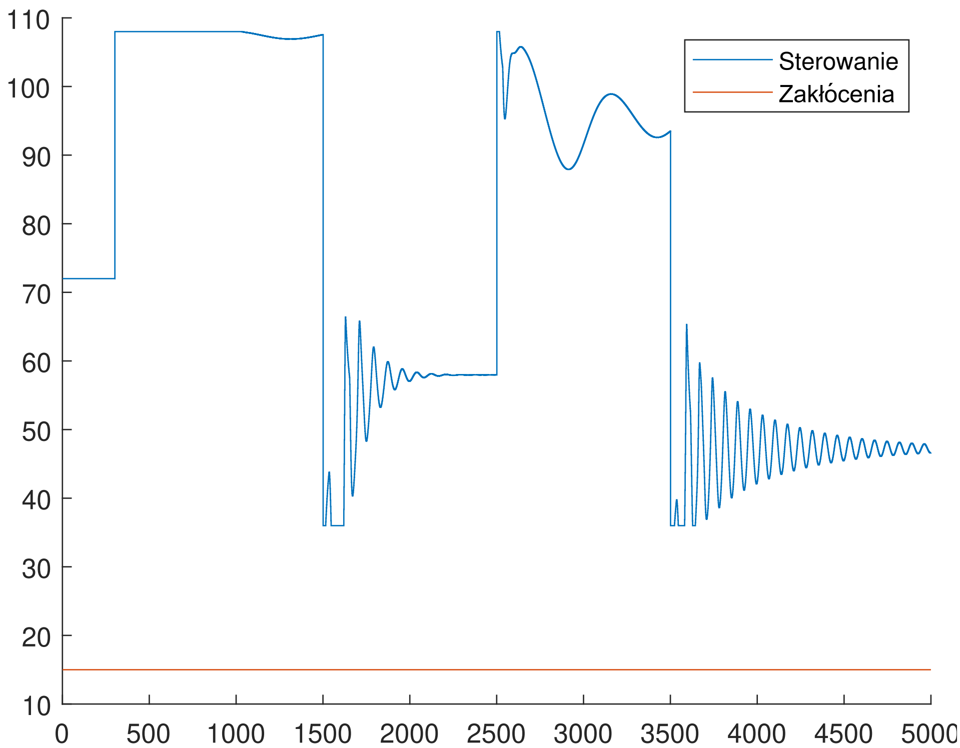
Do uruchomienia DMC pobieramy model (przeskalowana odpowiedź skokowa liniowego modelu). Ustalamy parametry regulatora, wartości zadane. Obliczamy macierz K (licząc macierz M), macierz M_p i inicjalizujemy wektor DU_p. W pętli głównej po symulacji obiektu i uzyskaniu jego obecnego stanu, obliczamy wektory DU_p, Y (pomiar wyjścia), Y_o, Y_{zad} (wartości zadane). W kolejnych linijkach obliczamy sterowanie, uwzględniamy ograniczenia. Do strojenie regulatora użyliśmy algorytmy genetycznego (ga). Parametry, dla których osiągany jest najmniejszy błąd: $N = 132$, $N_u = 1$ i $\lambda = 0.32$. Łączny błąd wyniósł $E = 9.4040 \cdot 10^4$



Rys. 1.7: Odpowiedź skokowa przeskalowana

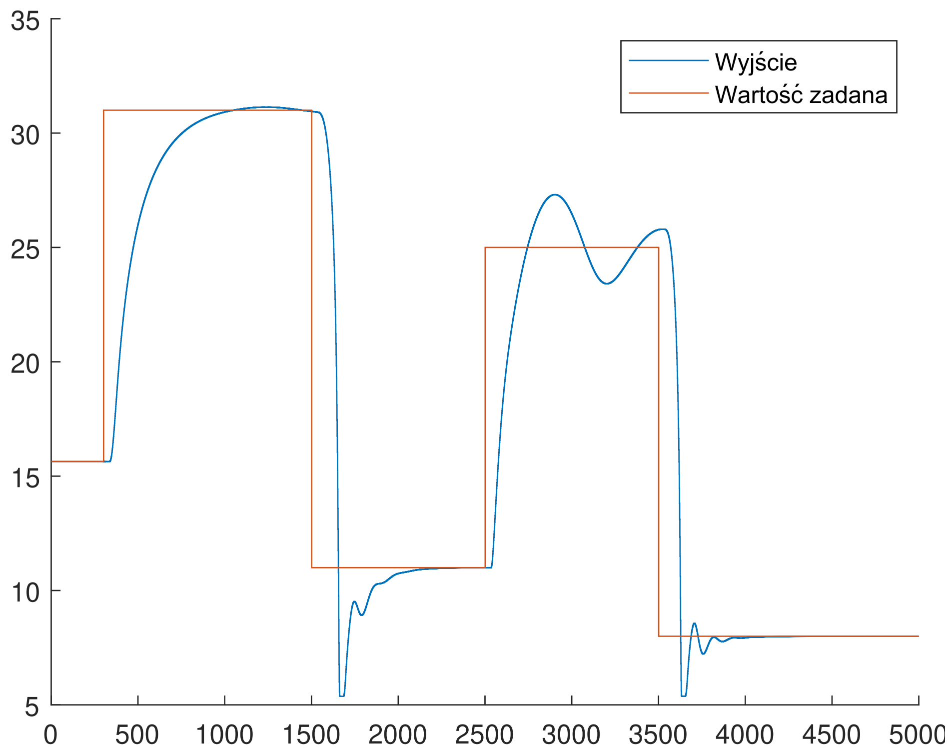


Rys. 1.8: Wyjście pojedynczego DMC

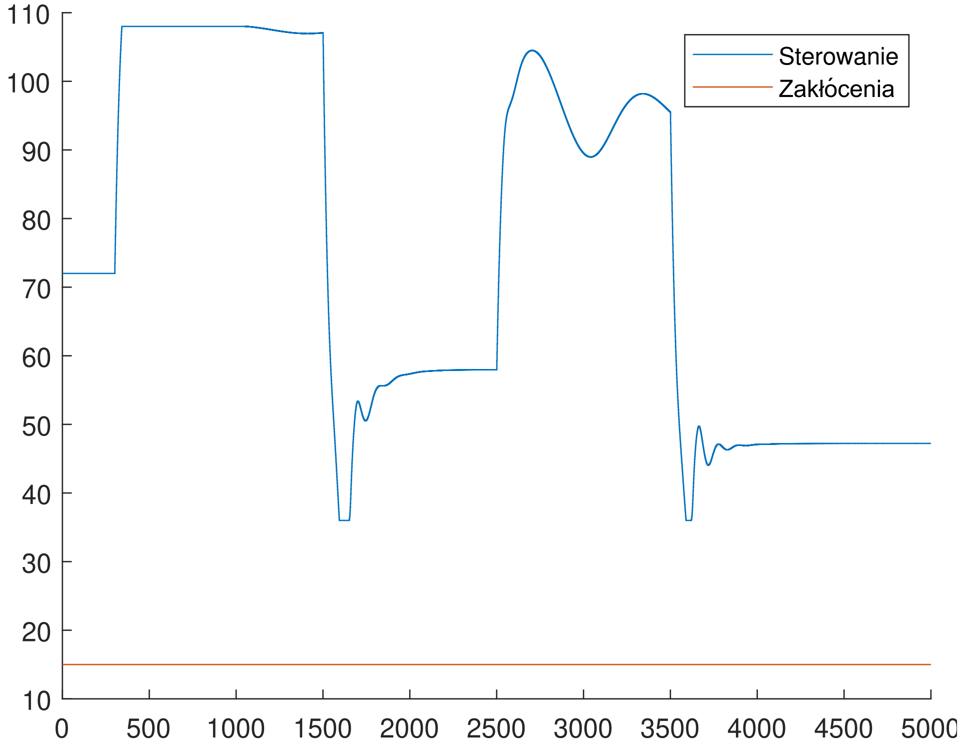


Rys. 1.9: Sterowanie pojedynczego DMC

Można zauważyć, że sama minimalizacja błędu to nie wszystko, ponieważ regulator ma bardzo gwałtowne skoki sterowania. Można również zauważyć, że pojedynczy regulator nie działa najlepiej dla nieliniowego obiektu. Z racji iż odpowiedź skokowa użyta w regulatorze była najbliższa do pierwszego skoku wartości zadanej to w jej okolicy regulator działał jeszcze akceptowalne (widać nieduże przeregulowanie). Dla innych skoków wartości zadanej oscylacje były duże (dla skoku w $t = 1500$ i w $t = 3500$). Skok w $t = 2500$ lekko oscylował.
Przy próbie poprawienia "na oko" czyli dużym zwiększeniu λ. Za cenę lekko późniejszego osiągnięcia wartości zadanej udało nam się uzyskać dużo lepsze sterowanie. Parametry: $N = 132$, $N_u = 1$ i $\lambda = 200$. Łączny błąd wyniósł $E = 1,2591 \cdot 10^5$.



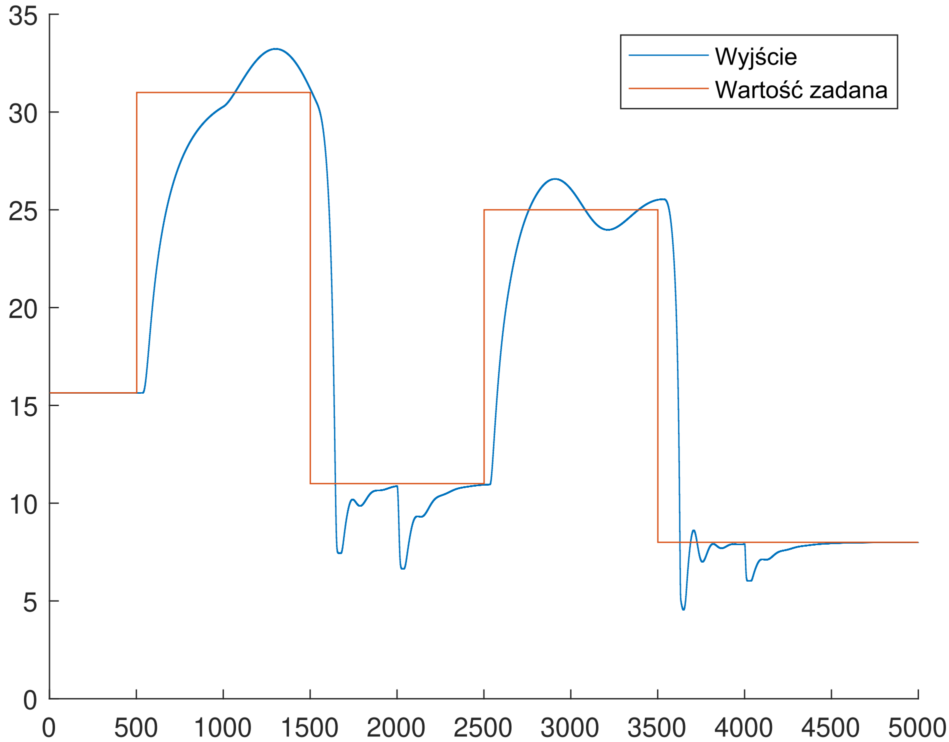
Rys. 1.10: Wyjście pojedynczego poprawionego DMC



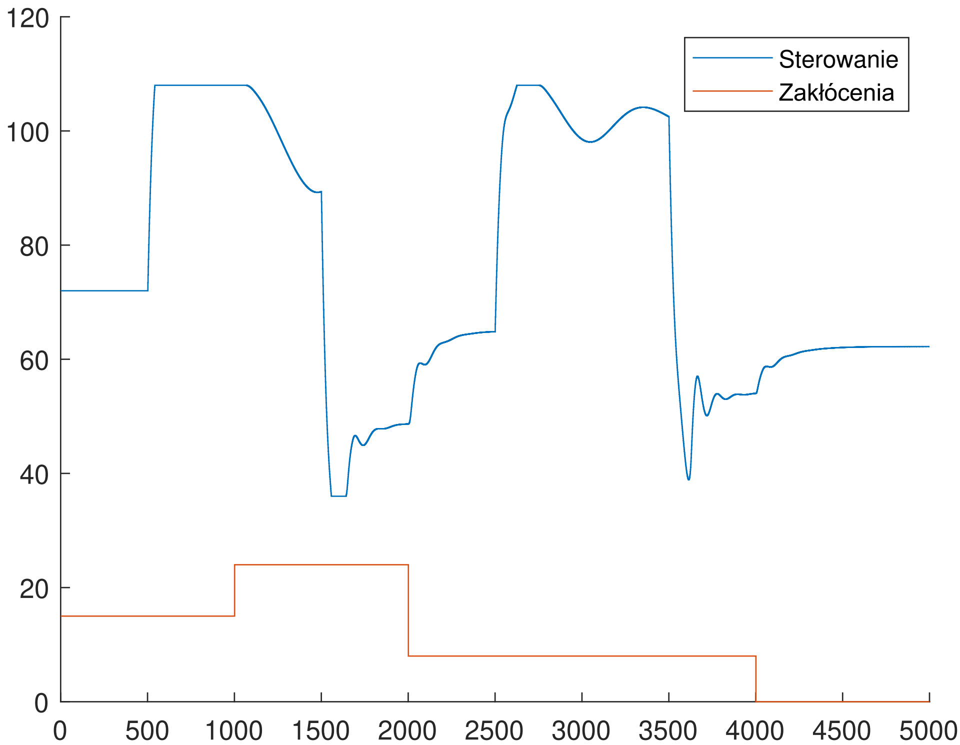
Rys. 1.11: Sterowanie pojedynczego poprawionego DMC

1.6. Zakłócenia

Używając takich samych nastaw regulatora testujemy podatność na zakłócenia: Błąd wyniósł: $8.9355 \cdot 10^4$.

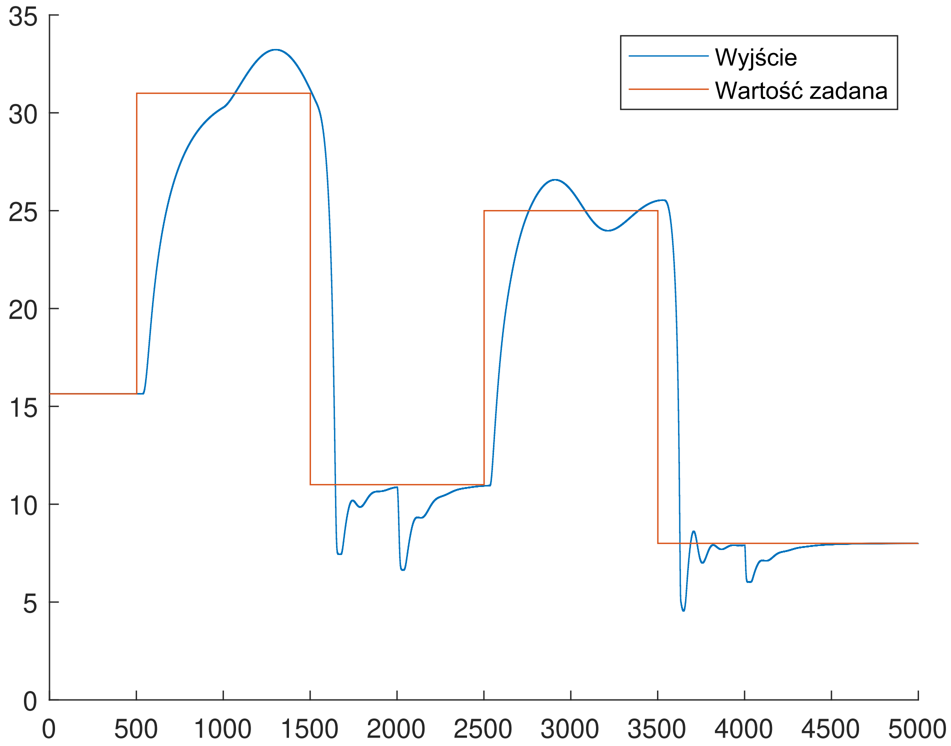


Rys. 1.12: Wyjście pojedynczego DMC z zmiennymi zakłóceniami

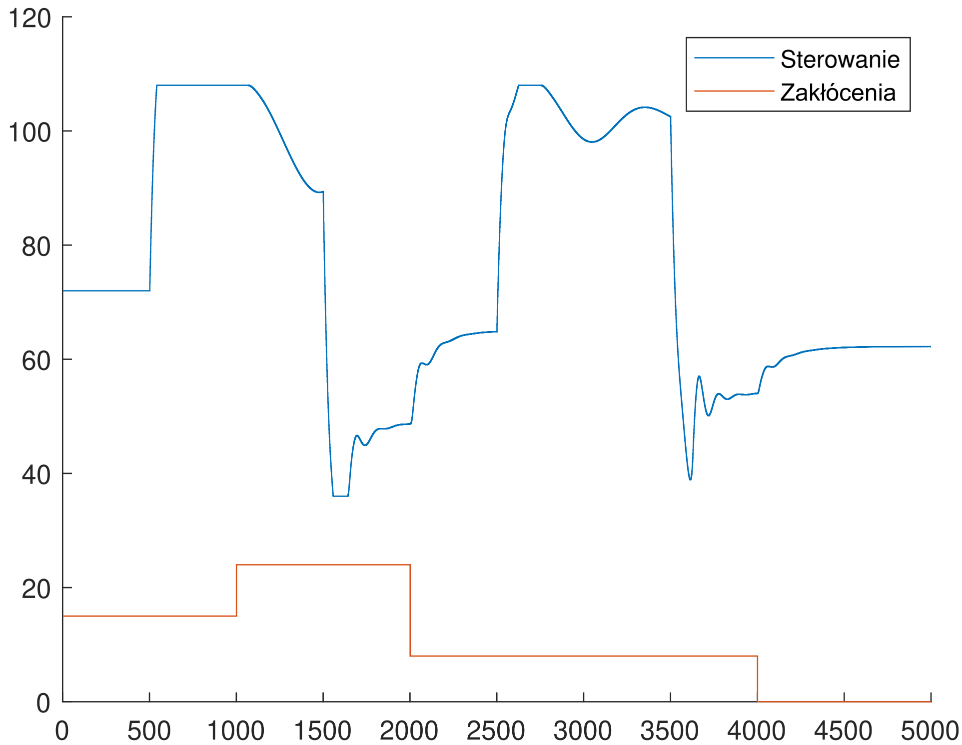


Rys. 1.13: Sterowanie pojedynczego DMC z zmiennymi zakłóceniami

Sprawdziliśmy też działania dla wersji z "lepszym sterowaniem": Błąd wyniósł: $1,1694 * 10^5$.



Rys. 1.14: Wyjście pojedynczego poprawionego DMC z zmiennymi zakłóceniami



Rys. 1.15: Sterowanie pojedynczego poprawionego DMC z zmiennymi zakłóceniami