

**Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska**

**Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)**

**Sprawozdanie z laboratorium nr 1**

**Sobolewski Konrad, Róžański Antoni, Giełdowski Daniel**

**Warszawa, 2017**

# Spis treści

<b>1. Zadanie 4: Algorytm DMC</b>	2
1.1. Analityczny algorytm DMC	2
1.2. Dobieranie nastaw analitycznego regulatora DMC	3
1.2.1. Horyzont predykcji $N$	3
1.2.2. Horyzont sterowania $N_u$	3
1.2.3. Parametr $\lambda$	5
<b>2. Zadanie 5: Regulacja obiektu z uwzględnieniem wpływu zakłóceń</b>	6
2.1. Zmiany w stosunku do podstawowej wersji regulatora analitycznego	6
2.2. Dobór parametru $Dz$	6
2.3. Porównanie jakości regulacji z i bez uwzględnienia zakłóceń	8

# 1. Zadanie 4: Algorytm DMC

## 1.1. Analityczny algorytm DMC

Do obliczeń wykorzystujemy następujące wzory:

$$\mathbf{Y}^{\text{zad}}(k) = \begin{bmatrix} Y^{\text{zad}}(k) \\ \vdots \\ Y^{\text{zad}}(k) \end{bmatrix}_{N \times 1} \quad (1.1)$$

$$\mathbf{Y}(k) = \begin{bmatrix} y(k) \\ \vdots \\ y(k) \end{bmatrix}_{N \times 1} \quad (1.2)$$

$$\Delta \mathbf{U}(k) = \begin{bmatrix} \Delta u(k|k) \\ \vdots \\ \Delta u(k + N_u - 1|k) \end{bmatrix}_{N_u \times 1} \quad (1.3)$$

$$\Delta \mathbf{U}^P(k) = \begin{bmatrix} \Delta u(k-1) \\ \vdots \\ \Delta u(k - (D-1)) \end{bmatrix}_{(D-1) \times 1} \quad (1.4)$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & \dots & 0 \\ s_2 & s_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_N & s_{N-1} & \dots & s_{N-N_u+1} \end{bmatrix}_{N \times N_u} \quad (1.5)$$

$$\mathbf{M}^P = \begin{bmatrix} s_2 - s_1 & s_3 - s_2 & \dots & s_D - s_{D-1} \\ s_3 - s_1 & s_4 - s_2 & \dots & s_{D+1} - s_{D-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{N+1} - s_1 & s_{N+2} - s_2 & \dots & s_{N+D-1} - s_{D-1} \end{bmatrix}_{N \times D-1} \quad (1.6)$$

$$\mathbf{Y}^0(k) = \mathbf{Y}(k) + \mathbf{M}^P \Delta \mathbf{U}^P(k) \quad (1.7)$$

$$\mathbf{K} = (\mathbf{M}^T \mathbf{M} + \lambda * \mathbf{I})^{-1} \mathbf{M}^T \quad (1.8)$$

$$\Delta \mathbf{U}(k) = \mathbf{K}(\mathbf{Y}^{\text{zad}}(k) - \mathbf{Y}^0(k)) \quad (1.9)$$

W naszej regulacji potrzebujemy wyznaczyć tylko pierwszy element macierzy  $\Delta \mathbf{U}(k)$  czyli  $\Delta u(k|k)$ . W tym celu rozwijamy wzór do postaci:

$$\Delta u(k|k) = k_e e(k) - k_u \Delta \mathbf{U}^P \quad (1.10)$$

gdzie:

$$e(k) = Y^{\text{zad}}(k) - Y(k) \quad (1.11)$$

$$k_e = \sum_{i=1}^N K(1, i) \quad (1.12)$$

$$k_u = kM^P \quad (1.13)$$

$k$  to oznaczenie pierwszego wiersza macierzy  $K$ . Aktualne sterowanie otrzymujemy poprzez zsumowanie poprzedniego sterowania i aktualnie wyliczonego  $\Delta u(k|k)$ .

## 1.2. Dobieranie nastaw analitycznego regulatora DMC

Regulator *DMC* korzysta z odpowiedzi skokowej  $s$  uzyskanej w punkcie 3. Nastawy regulatora *DMC* zostały dobrane eksperymentalnie. Poniżej przedstawiamy nasz tok rozumowania podczas doboru każdego parametru.

Obserwując obiekt doszliśmy do wniosku, że jego horyzont dynamiki jest równy  $D = 300$ . Taką również przyjęliśmy wartość początkową  $N$ ,  $N_u$  zainicjowaliśmy pierwotną wartością  $N_u = 100$ , natomiast  $\lambda$  na początku jest równe  $\lambda = 1$ .

### 1.2.1. Horyzont predykcji $N$

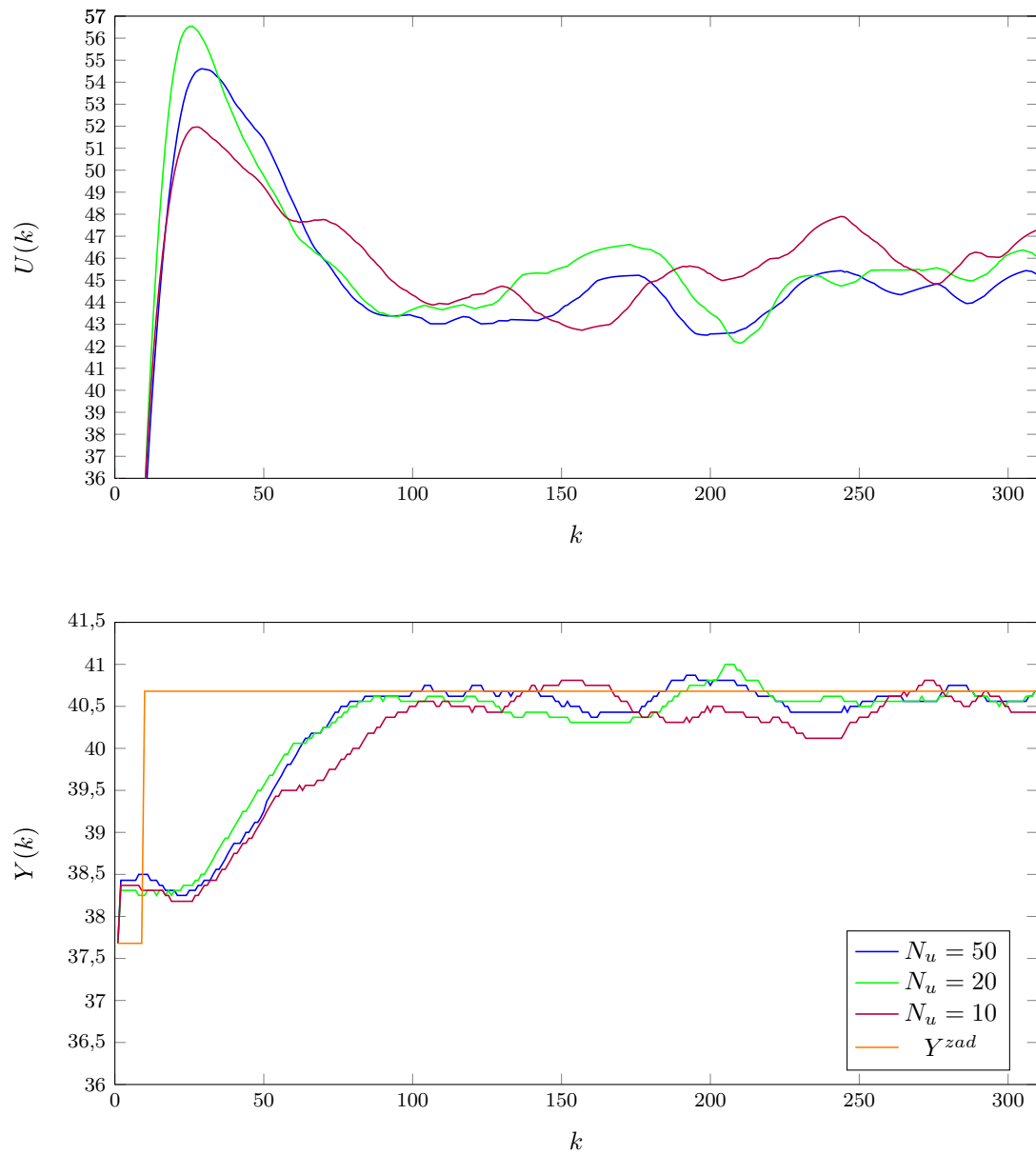
Sugerując się ograniczonym czasem trwania laboratorium, oraz wiedzą teoretyczną jak i doświadczeniami z układem sterowania (obiektem grzewczym) w laboratorium, z których wynika, że zmniejszanie parametru  $N$  skutkuje minimalnymi różnicami w jakości regulacji, postanowiliśmy nie zmieniać wartości horyzontu predykcji. Jego wielkość wpływa znacząco na złożoność obliczeniową, a ta, w obiekcie tak powolnym jak stanowisko grzewcze z okresem  $T_p = 1s$ , nie ma krytycznego znaczenia.

Tak więc  $N = 300$ .

### 1.2.2. Horyzont sterowania $N_u$

Następnie dobraliśmy parametr  $N_u$ : po wykonaniu szeregu testów, wskaźnik jakości regulacji był najkorzystniejszy dla wartości 20, natomiast sterowanie, na tle pozostałych pomiarów, niewiele ostrzejsze. Wskaźnik regulacji  $E$  dla tych nastaw :

- $N_u = 50$ :  $E = 207,7379$
- $N_u = 20$ :  $E = 190,5666$
- $N_u = 10$ :  $E = 256,8455$

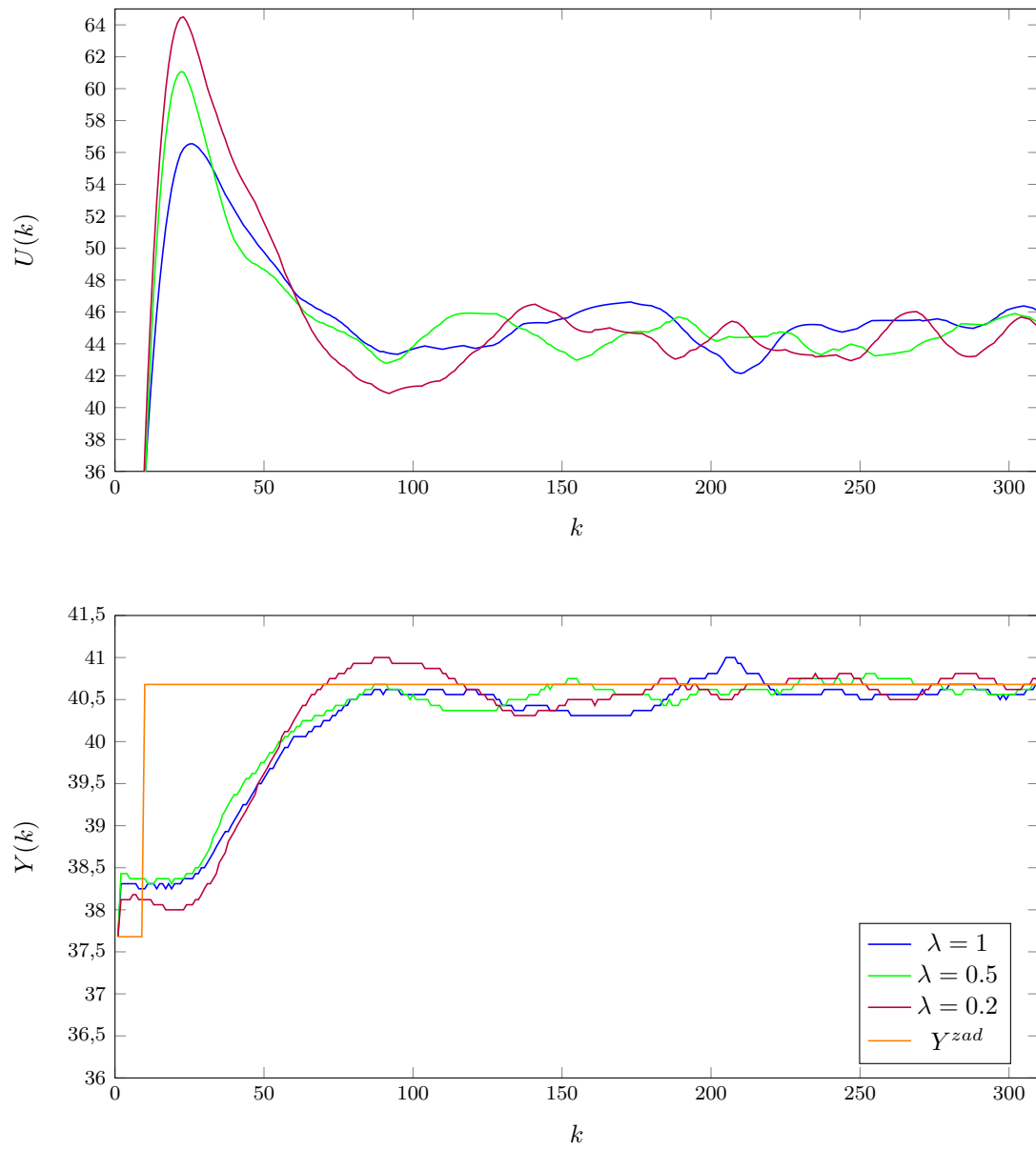
Rys. 1.1. Dobór parametru  $N_u$

### 1.2.3. Parametr $\lambda$

Zmniejszając  $\lambda$ , uzyskujemy drastyczną poprawę jakości regulacji, jednakże kosztem sterowania. Choć aproksymowany obiekt, stanowisko grzewcze, nie ma podatnych na uszkodzenia elementów wykonawczych, to bardzo ostre skoki sterowania z pewnością nie wpływają korzystnie na żywotność obiektu. Bazując na tym wniosku, jak i na spostrzeżeniu, że dla wartości  $\lambda = 0,2$  obiekt wpada w oscylacje i jakość regulacji się pogarsza, postanowiliśmy przyjąć wartość  $\lambda = 0,5$ .

Wskaźnik jakości regulacji  $E$  :

- $\lambda = 1$ :  $E = 190,5666$
- $\lambda = 0,5$ :  $E = 164,4191$
- $\lambda = 0,2$ :  $E = 220,9310$

Rys. 1.2. Dobór parametru  $\lambda$

## 2. Zadanie 5: Regulacja obiektu z uwzględnieniem wpływu zakłóceń

### 2.1. Zmiany w stosunku do podstawowej wersji regulatora analitycznego

Uwzględnienie zakłóceń w regulatorze *DMC* wymaga wprowadzenia kilku zmian w jego algorytmie.

Konieczne będzie obliczenie macierzy  $M^{zP}$ , danej wzorem:

$$M^{zP} = \begin{bmatrix} sz_1 & sz_2 - sz_1 & sz_3 - sz_2 & \dots & sz_{D_z} - sz_{D_z-1} \\ sz_2 & sz_3 - sz_1 & sz_4 - sz_2 & \dots & sz_{D_z+1} - sz_{D_z-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ sz_N & sz_{N+1} - sz_1 & sz_{N+2} - sz_2 & \dots & sz_{N+D_z-1} - sz_{D_z-1} \end{bmatrix}_{N \times D_z} \quad (2.1)$$

Macierz ta posłuży nam do wyznaczenia wektora  $k_z$ :

$$k_z = k M^{zP} \quad (2.2)$$

Uwzględnienie zakłóceń w algorytmie zmienia sposób obliczania  $\Delta u(k|k)$  - we wzorze zawarta jest teraz obliczoną powyżej wartość  $k_z$ :

$$\Delta u(k|k) = k_e e(k) - k_u \Delta U^P - k_z \Delta Z^P \quad (2.3)$$

Powyższa zmiana wynika bezpośrednio ze zmiany w obliczaniu  $Y^0$ :

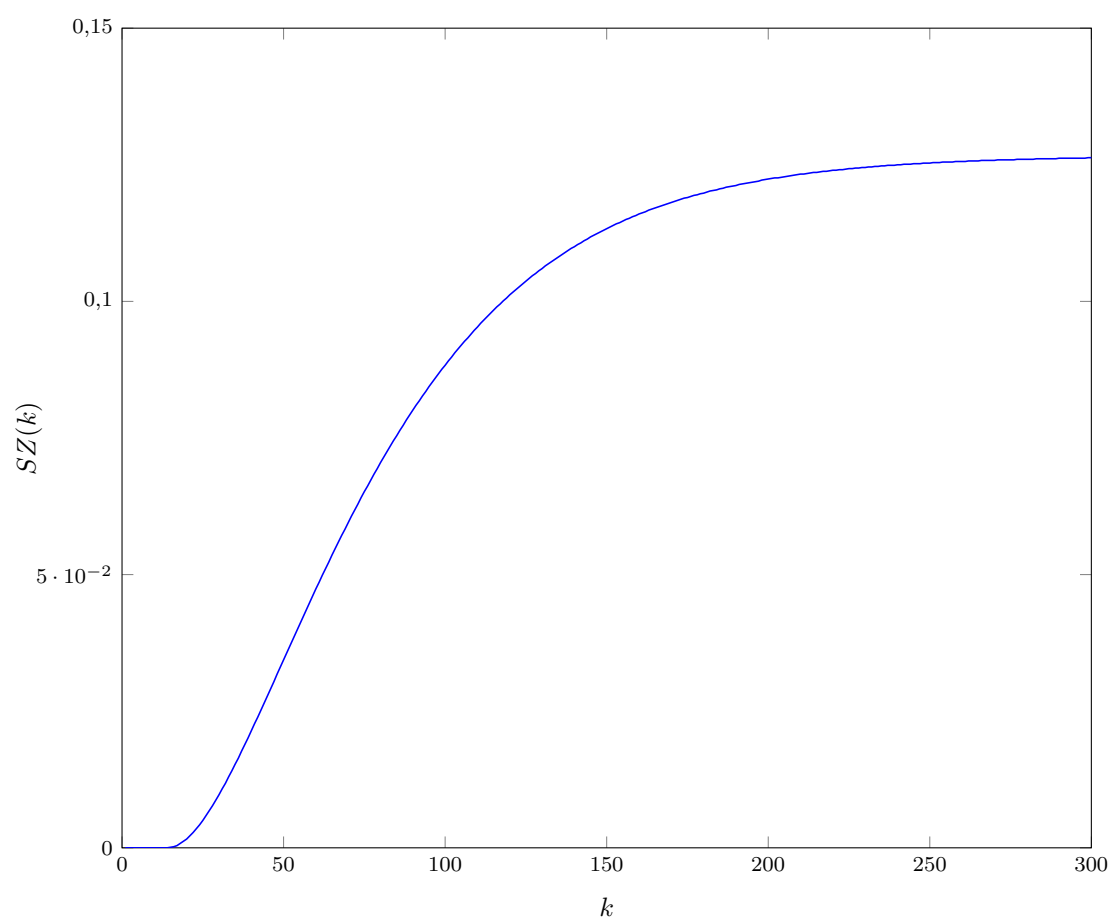
$$Y^0(k) = Y(k) + M^P \Delta U^P(k) + M^{zP} \Delta Z^P(k) \quad (2.4)$$

### 2.2. Dobór parametru $D_z$

Wartość parametru  $D_z$  regulatora *DMC* odczytaliśmy z wykresu aproksymowanej odpowiedzi skokowej toru zakłócenie-wyjscie procesu:

Widać na nim, że wartość funkcji aproksymującej dla  $k > 250$  zmienia się w sposób nieznaczny. Z tego powodu przyjęliśmy wartość horyzontu dynamiki  $D_z = 250$ .





Rys. 2.1. Aproxymowana odpowiedź skokowa toru zakłócenie-wyjście

### 2.3. Porównanie jakości regulacji z i bez uwzględnienia zakłóceń

Regulator *DMC* korzysta z aproksymowanych odpowiedzi skokowych  $s$  i  $sz$  uzyskanych w punkcie 3.

Wykres 2.2 przedstawia przebiegi wejścia i wyjścia obiektu sterowanego przy pomocy regulatora *DMC* w wersji z kolejno nieuwzględnieniem  $(U(k), Y(k))$  i uwzględnieniem  $(Uz(k), Yz(k))$  mierzonych zakłóceń.

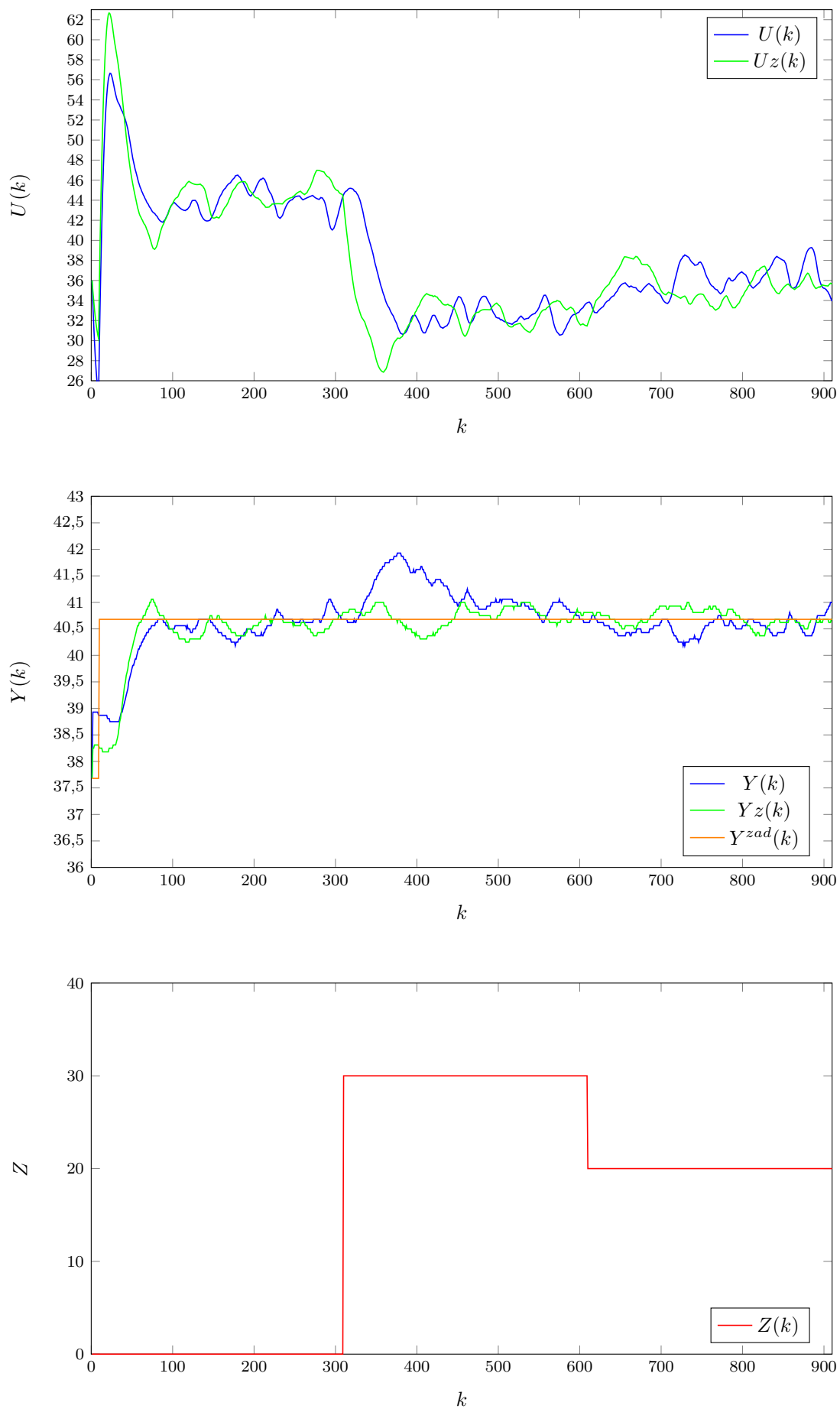
Widać znaczącą poprawę sterowania, gdy zakłócenia są uwzględniane w algorytmie *DMC*. Wizualnie oceniając przebiegi, w okresach następujących po zmianie sygnału zakłócenia, dla algorytmu, który nie uwzględnia zakłóceń, widoczne są duże przeregulowania, których brak w wersji uwzględniającej te zakłócenia.

Potwierdzają to poniższe wartości błędów:

Wskaźnik regulacji, gdy zakłócenia nie są brane pod uwagę:  $E = 260,5226$

Wskaźnik regulacji, gdy zakłócenia są brane pod uwagę:  $E = 202,2884$

Stąd wniosek, że gdy jest to możliwe, należy stosować wersję regulatora uwzględniającą zakłócenia.



Rys. 2.2. Porównanie regulacji z i bez uwzględniania zakłóceń w algorytmie sterowania