

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu i ćwiczenia laboratoryjnego  
nr 1, zadanie nr 1

Stanislau Stankevich, Rafał Bednarz, Ostrysz Jakub

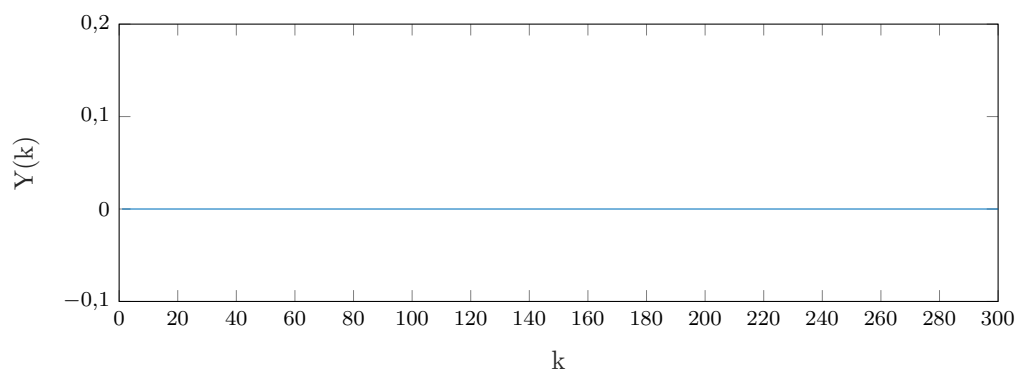
Warszawa, 2021

# Spis treści

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. Sprawdzenie poprawności podanych wartości . . . . .</b>          | <b>2</b> |
| <b>2. Odpowiedzi skokowe . . . . .</b>                                 | <b>3</b> |
| 2.1. Odpowiedzi skokowe . . . . .                                      | 3        |
| 2.2. Charakterystyka statyczna . . . . .                               | 3        |
| <b>3. Laboratorium . . . . .</b>                                       | <b>5</b> |
| 3.1. Określenie wartości pomiaru temperatury w punkcie pracy . . . . . | 5        |
| 3.2. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych . . . . .                        | 5        |
| 3.3. Przekształcenie i aproksymacja odpowiedzi skokowej . . . . .      | 7        |
| 3.4. DMC . . . . .   | 9        |
| 3.5. Dobór parametru $D^z$ . . . . .                                   | 14       |

## 1. Sprawdzenie poprawności podanych wartości

Żeby sprawdzić poprawność podanych wartości podajemy na wejście sterowanie  $u = 0$  i patrzymy na jakiej wartości się ustali  $y$ .



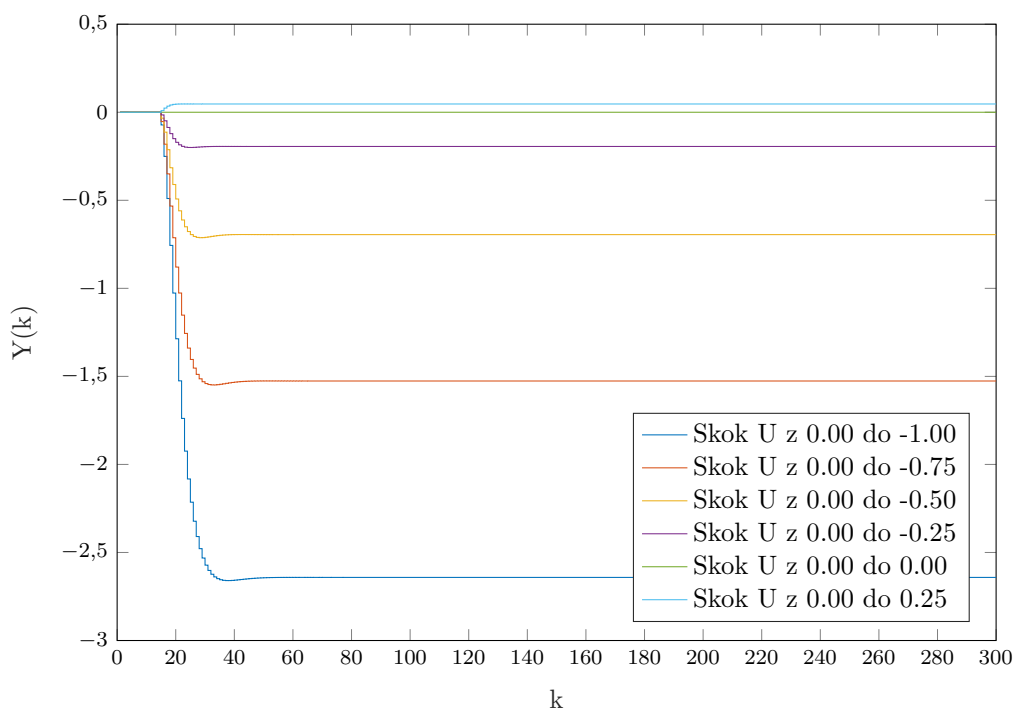
Rys. 1.1. Przebieg wyjścia obiektu przy stałym wejściu:  $u = 0$

Jak możemy obserwować wyjście się ustala na poprawnej wartości, czyli na 0.

## 2. Odpowiedzi skokowe

Rozważamy punkt pracy oraz 5 różnych wartości skoku, z zera do:  $-1$ ,  $-0,75$ ,  $-0,5$ ,  $-0,25$ ,  $0,25$ .

### 2.1. Odpowiedzi skokowe



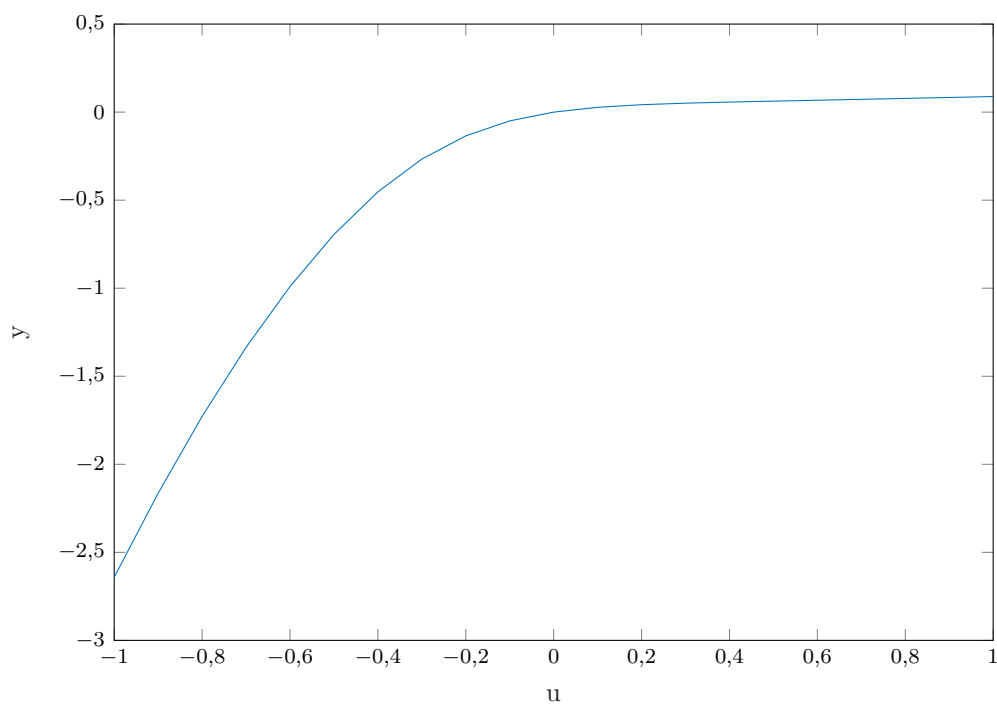
Rys. 2.1. Wykresy odpowiedzi skokowych

Jak widać wartość skoku na wyjściu jest nieproporcjonalna wartości skoku wejścia.

Rozważane były też większe skoki dodatnie, natomiast wyniki leżały bardzo blisko wyjściu ze skoku do  $0,25$ , więc dla lepszej czytelności wykresu nie są one na nim pokazane.

### 2.2. Charakterystyka statyczna

Po przeprowadzeniu badań o większej częstotliwości próbek dostajemy wykres charakterystyki statycznej:



Rys. 2.2. Wykresy odpowiedzi skokowych

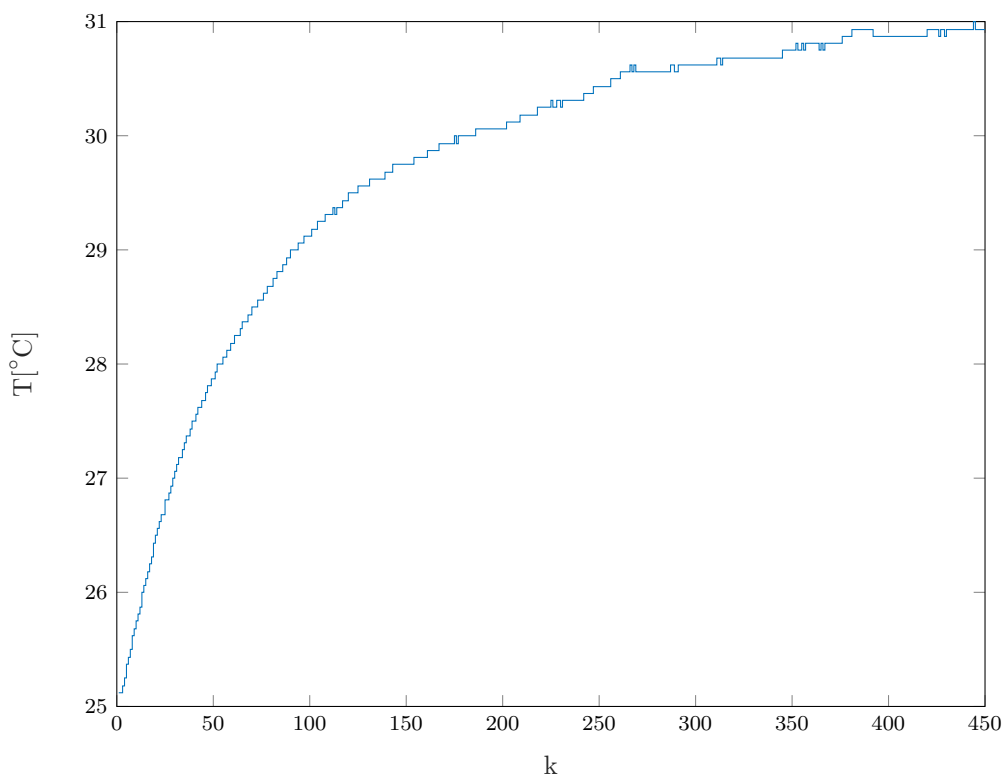
Nie jest to wykres prostej, więc charakterystyka jest nieliniowa.

## 3. Laboratorium

### 3.1. Określenie wartości pomiaru temperatury w punkcie pracy

W celu określenia wartości pomiaru temperatury w punkcie pracy ustawiono moc wentylatora  $W1 = 50\%$ , a moc grzałki  $G1 = 25\%$ . Po czasie około 8 minut temperatura odczytywana przez czujnik temperatury zaczęła się stabilizować na poziomie  $T1 = 30,93^{\circ}C$ .

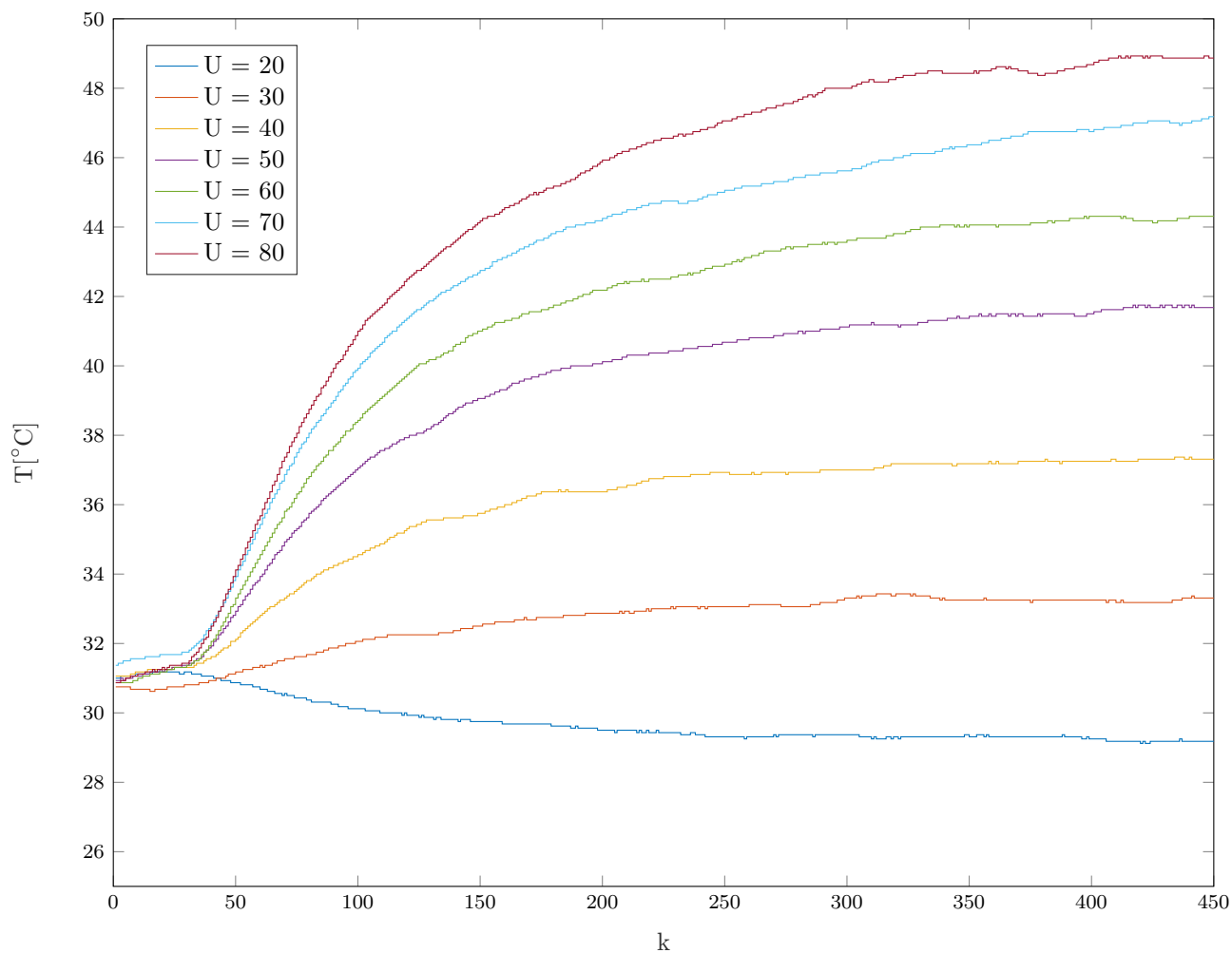
Niestety z powodu ciągłego ruchu powietrza związanego z przemieszczaniem się osób w sali i dużej ilości tych osób wpływających na temperaturę sali oraz czułość stanowiska pomiarowego temperatura odczytywana przez czujnik zaczęła odbiegać i lekko oscylować wokół tej temperatury.



Rys. 3.1. Pomiar temperatury w punkcie pracy

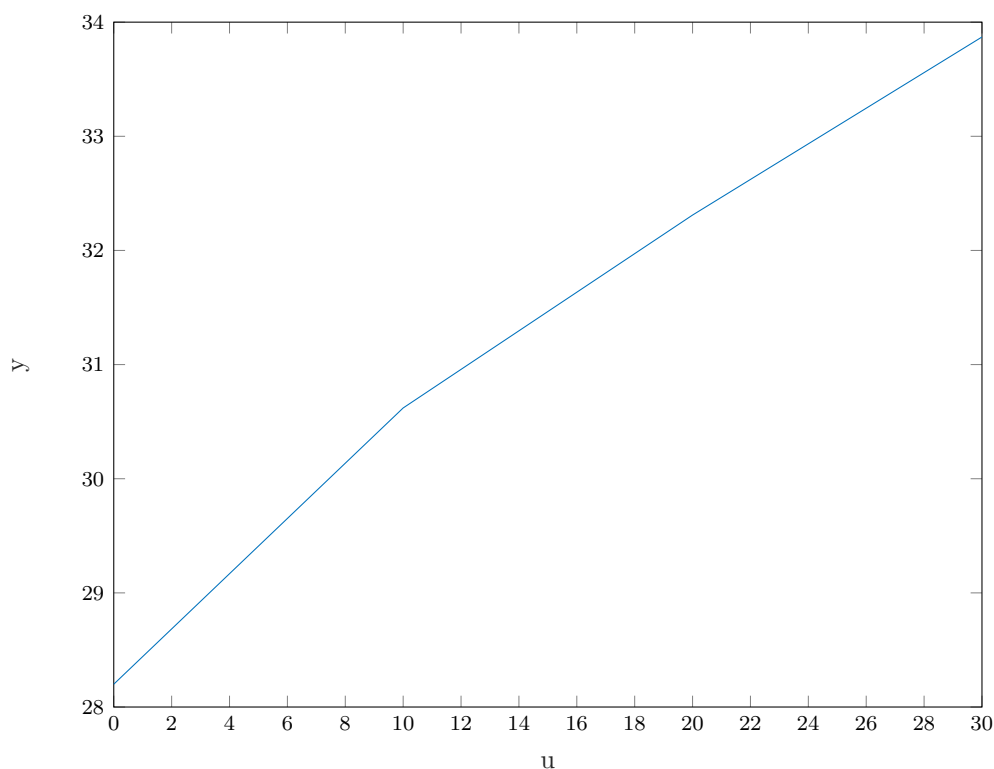
### 3.2. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych

Rozpoczynając z punktu pracy wyznaczono odpowiedzi skokowe dla trzech różnych skoków sygnału zakłócenia  $Z = 10\%$   $Z = 20\%$  i  $Z = 30\%$ .



Rys. 3.2. Odpowiedzi skokowe dla trzech różnych wartości sygnału sterującego

Analizując otrzymane wykresy można wywnioskować, że właściwości statyczne procesu są w przybliżeniu liniowe, zmiany wartości odpowiedzi skokowej dla tych samych chwil są w przybliżeniu proporcjonalne jak również sam kształt wykresów jest w przybliżeniu podobny. W celu sprawdzenia założeń narysowano charakterystykę statyczną procesu.



Rys. 3.3. Charakterystyka statyczna procesu

Która potwierdziła przypuszczenia, na jej podstawie można stwierdzić, że właściwości statyczne procesu są w dobrym przybliżeniu liniowe i w konsekwencji postanowiono wyznaczyć wzmocnienie statyczne procesu.

$$K_{stat} = 0,1890 \quad (3.1)$$

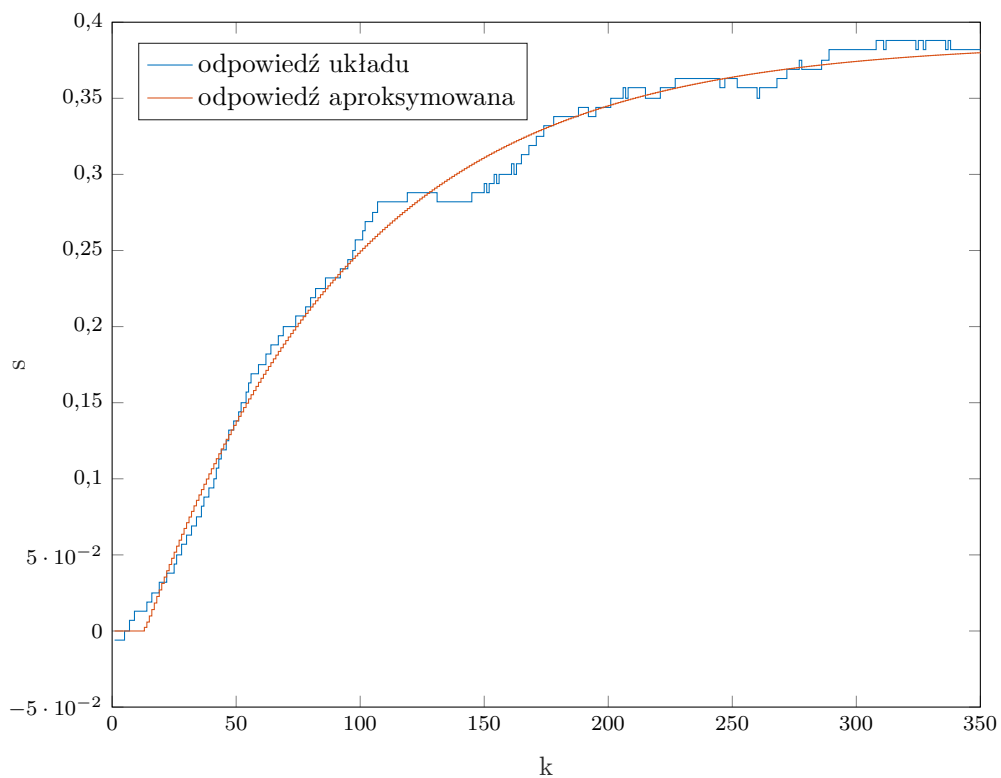
### 3.3. Przekształcenie i aproksymacja odpowiedzi skokowej

W celu przekształcenia odpowiedzi skokowej w taki sposób aby można ją było wykorzystać w algorytmie DMC skorzystano z poniższego wzoru:

$$S_i = \frac{Y(i) - Y_{pp}}{\Delta U}, \text{ dla } i = 1, 2 \dots D \quad (3.2)$$

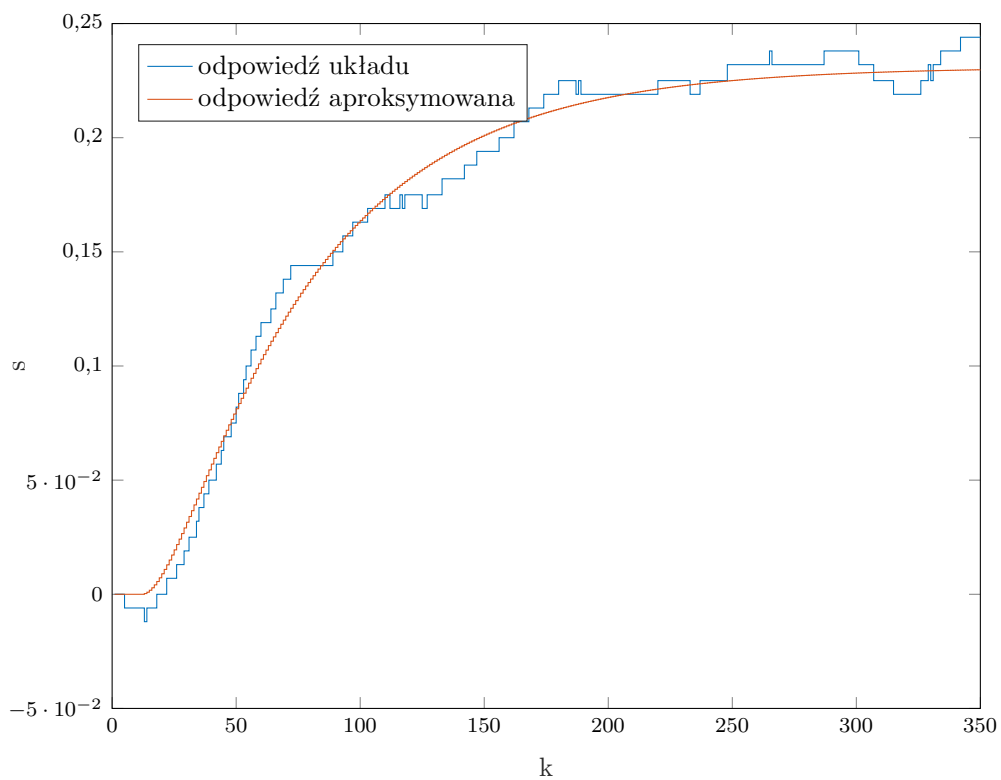
Dla odpowiedzi skokowej na torze wejście-wyjście otrzymanej w wyniku zmiany sygnału sterującego z  $G1 = 25\%$  na  $G1 = 35\%$  a następnie dokonano jej aproksymacji używając członu inercyjnego drugiego rzędu z opóźnieniem.





Rys. 3.4. Aproksymacja odpowiedzi skokowej U-Y

Taki sam proces aproksymacji przeprowadzony został dla toru zakłócenie-wyjście dla skoku zakłócenia od  $Z = 0$  do  $Z = 10$ .



Rys. 3.5. Aproksymacja odpowiedzi skokowe Z-Y

Do wyznaczenia optymalnych parametrów aproksymacji posłużono się algorytmem genetycznym o losowej populacji początkowej tak aby zminimalizować błąd dopasowania.

### 3.4. DMC

Prawo regulacji DMC przedstawia się następująco:

$$\Delta U(k) = K(Y^{zad}(k) - Y^0(k)) \quad (3.3)$$

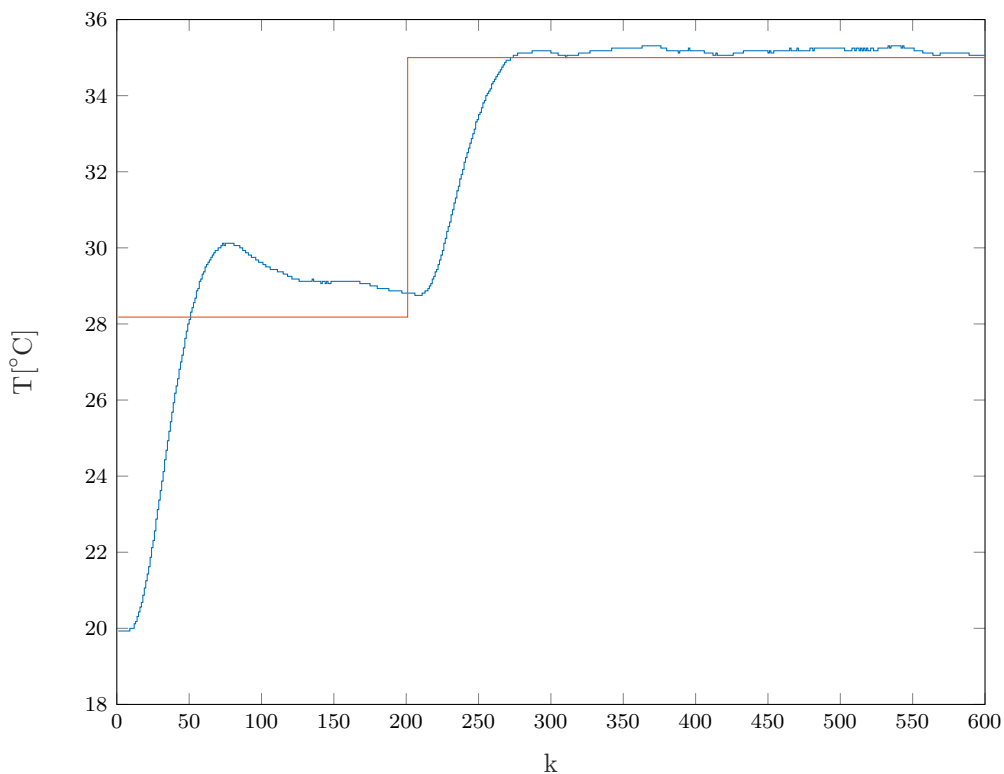
Gdzie  $\Delta U(k)$  to wektor  $N_u$  (horyzont sterowania) przyszłych wartości sterowania,  $Y^0(k)$  to przewidywana odpowiedź z modelu procesu,  $K$  - macierz policzona raz na początku ze współczynników odpowiedzi skokowej, uwzględniając wybrany współczynnik  $\lambda$  oraz horyzonty predykcji i sterowania.

W przypadku algorytmu DMC z pomiarem zakłóceń  $Y^0(k)$  oblicza się z następującego wzoru:

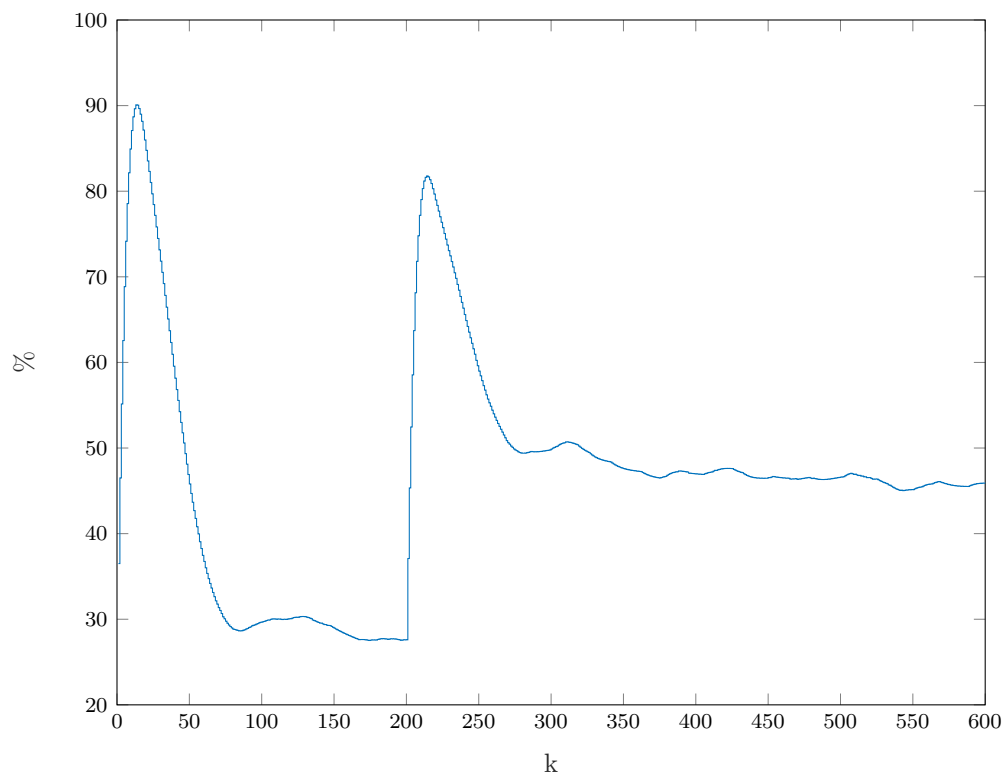
$$Y^0(k) = Y(k) + M^P \Delta U^P(k) + M^{Z^P} \Delta Z^P(k) \quad (3.4)$$

W powyższym wzorze dwa pierwsze elementy sumy odnoszą się do toru sterowanie-wyjście a ostatni element do toru zakłócenie-wyjście:  $M^{Z^P}$  macierz wyznaczana przy pomocy współczynników odpowiedzi skokowej dla zakłócenia,  $\Delta Z^P(k)$  jest wektorem przyrostów mierzalnego zakłócenia.

Poniżej przedstawione są wyniki działania programu dla skoku wartości zadanej z punktu pracy 28,18 do 35 dla różnych parametrów regulatora:

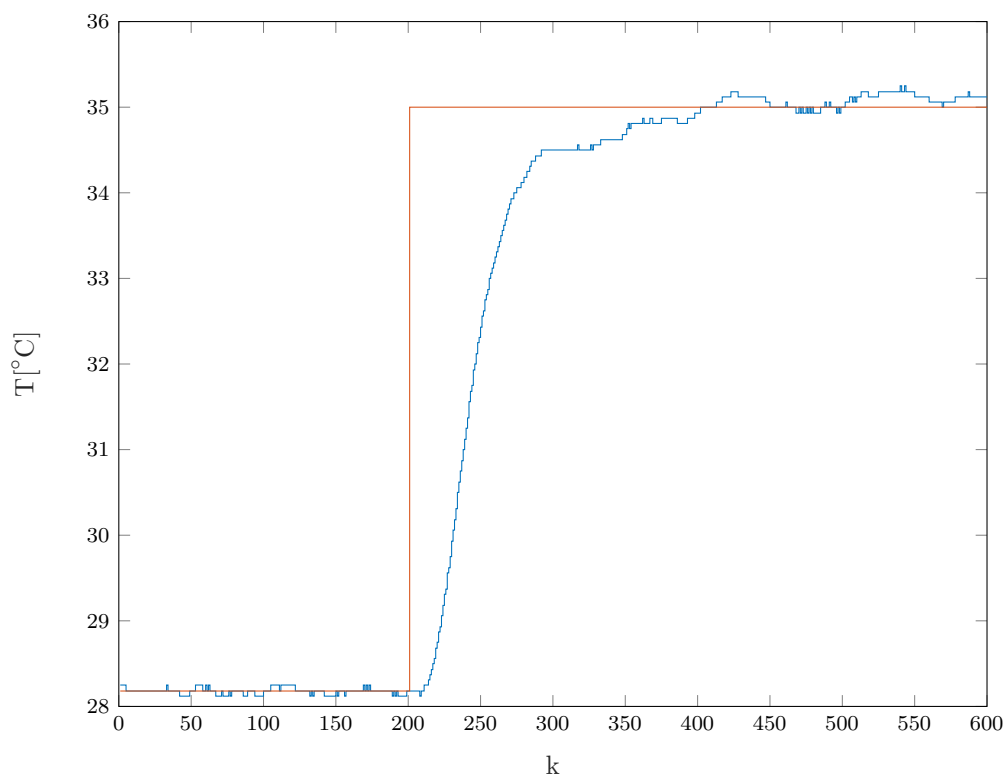


Rys. 3.6. Wyjście procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 90$ ,  $N_u = 10$ ,  $\lambda = 0.4$

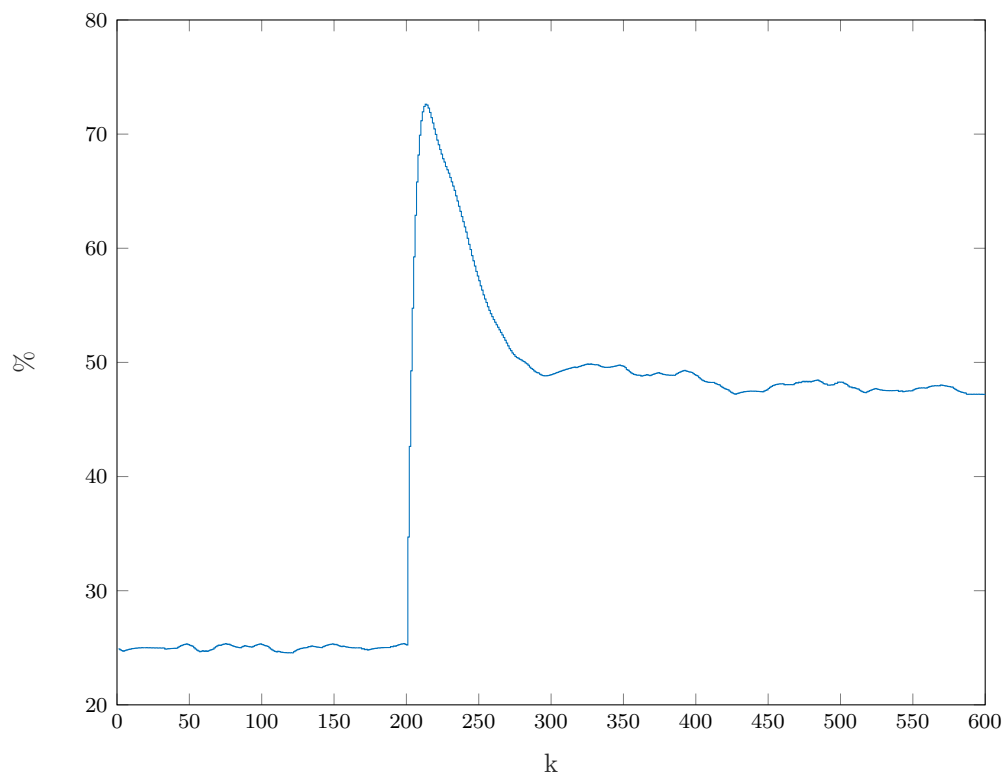


Rys. 3.7. Sterowanie procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 90$ ,  $N_u = 10$ ,  $\lambda = 0,4$

$$E = 3,1023 \cdot 10^3 \quad (3.5)$$

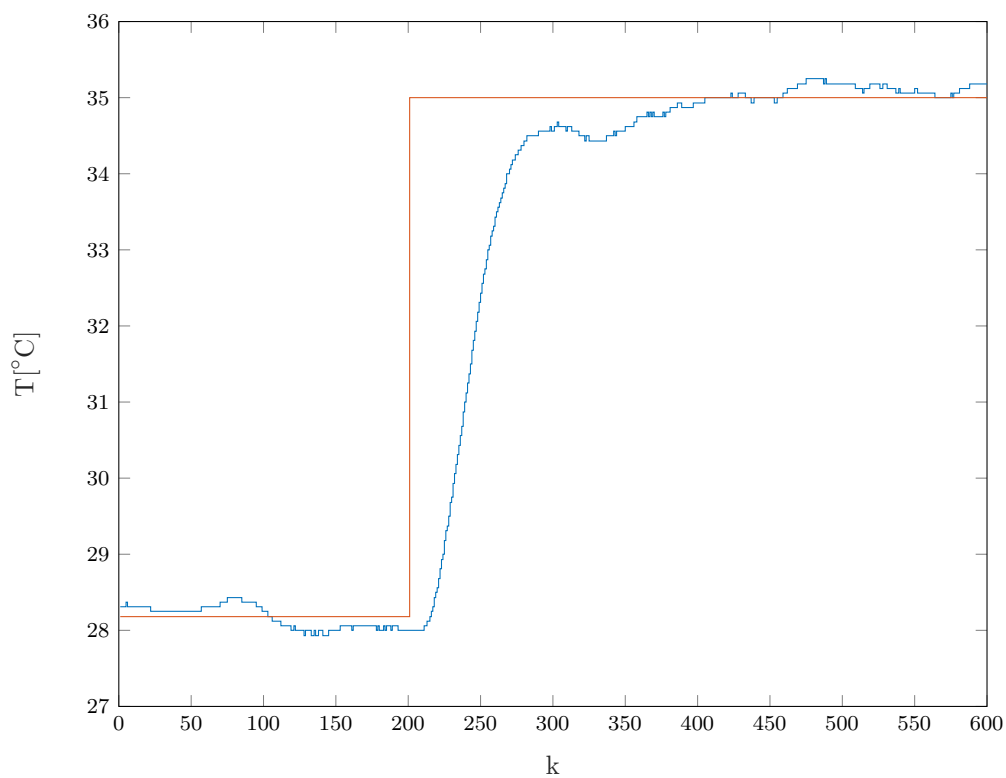


Rys. 3.8. Wyjście procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 60$ ,  $N_u = 5$ ,  $\lambda = 1$

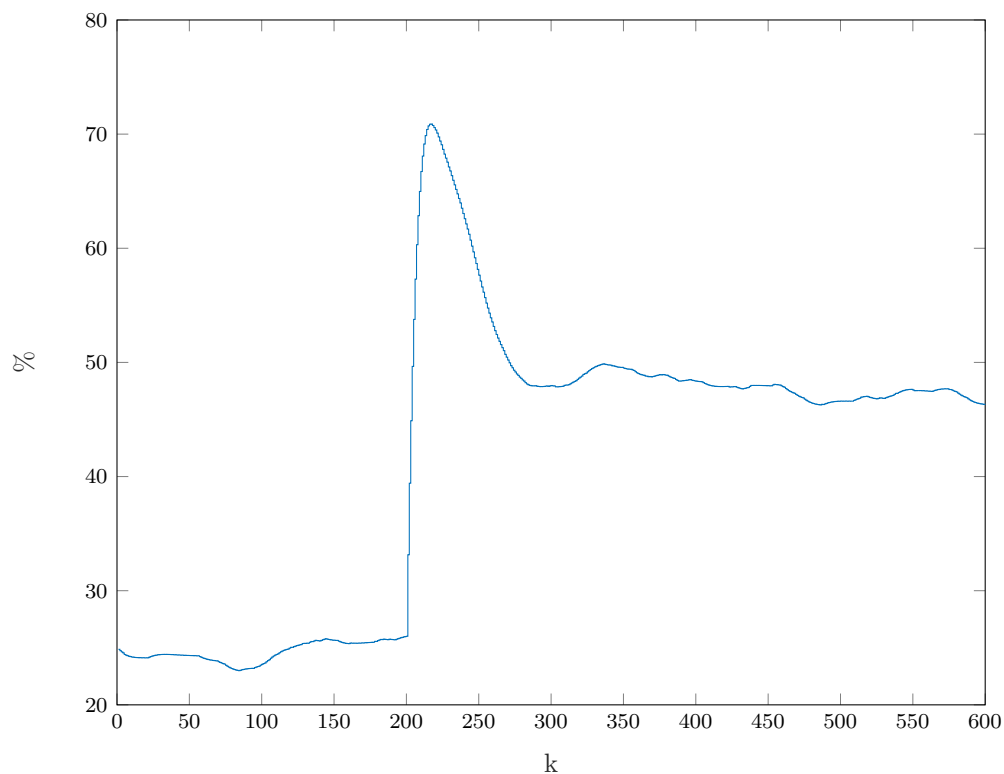


Rys. 3.9. Sterowanie procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 60$ ,  $N_u = 5$ ,  $\lambda = 1$

$$E = 1,5950 * 10^3 \quad (3.6)$$

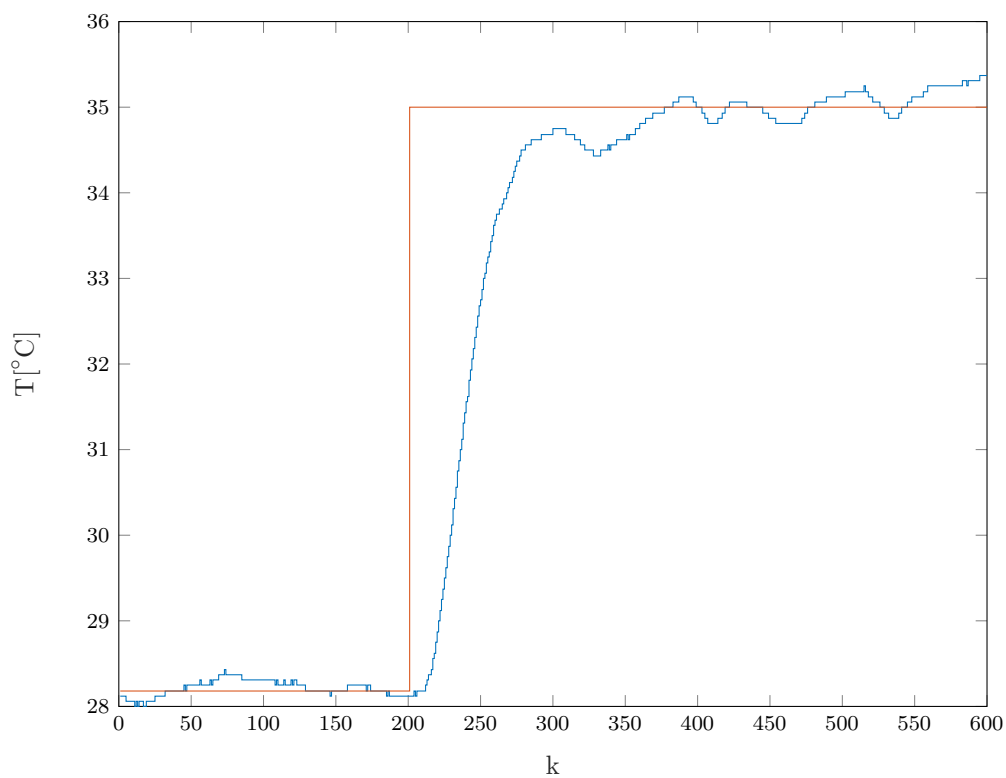


Rys. 3.10. Wyjście procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 60$ ,  $N_u = 5$ ,  $\lambda = 2$

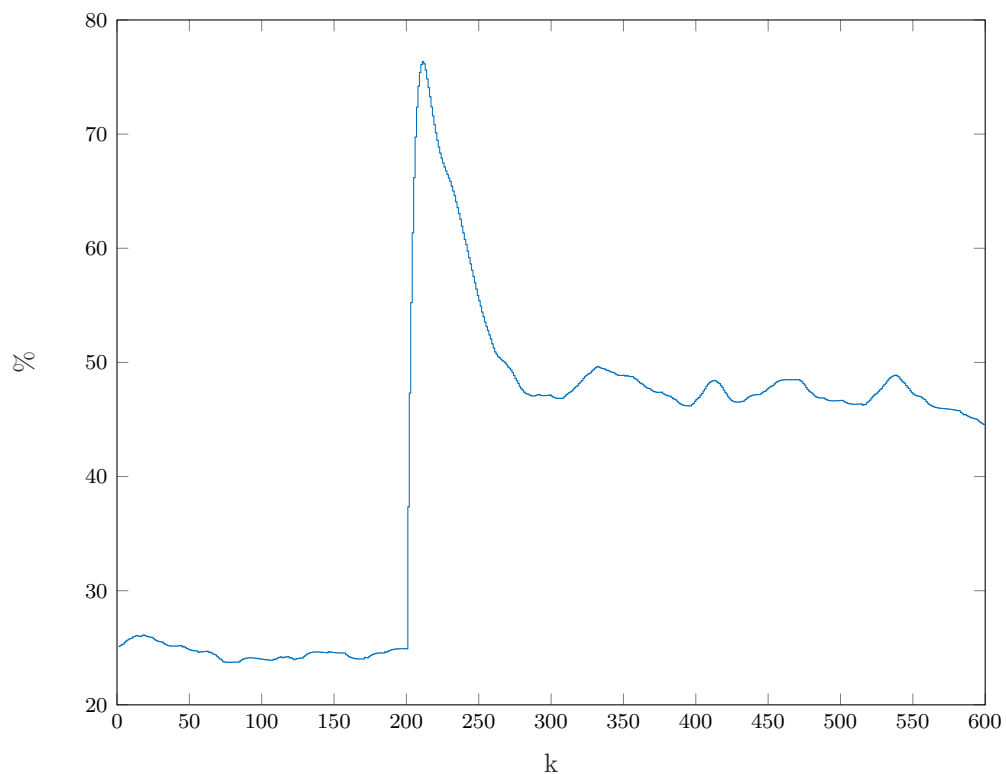


Rys. 3.11. Sterowanie procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 60$ ,  $N_u = 5$ ,  $\lambda = 2$

$$E = 1,6698 * 10^3 \quad (3.7)$$

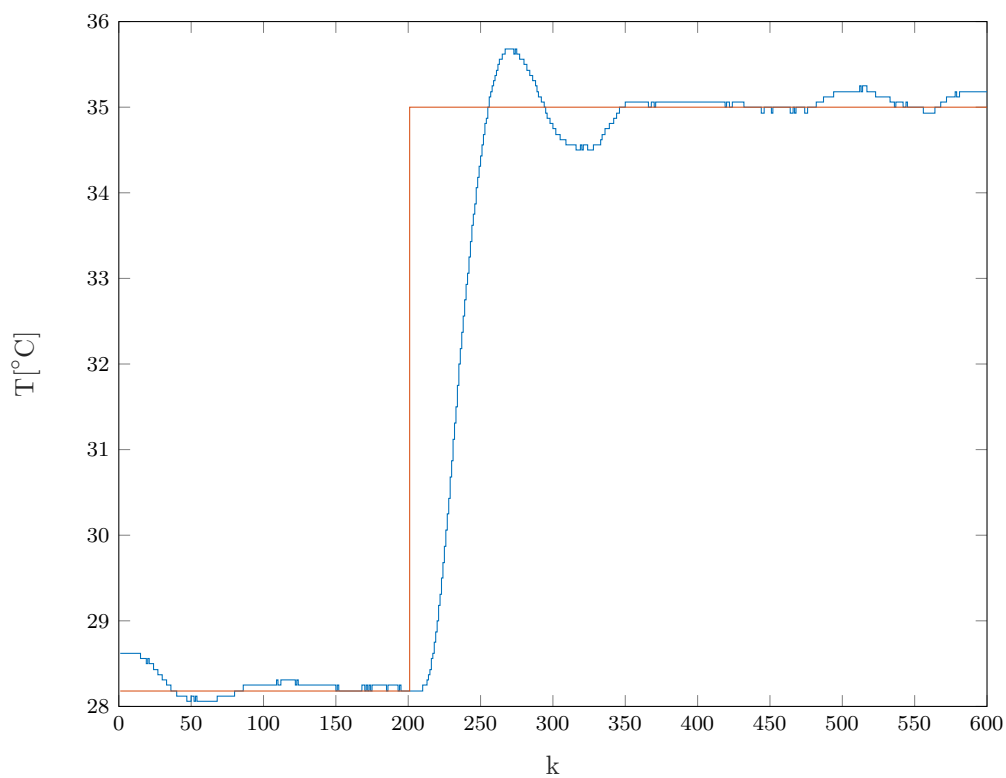


Rys. 3.12. Wyjście procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 60$ ,  $N_u = 5$ ,  $\lambda = 0,4$

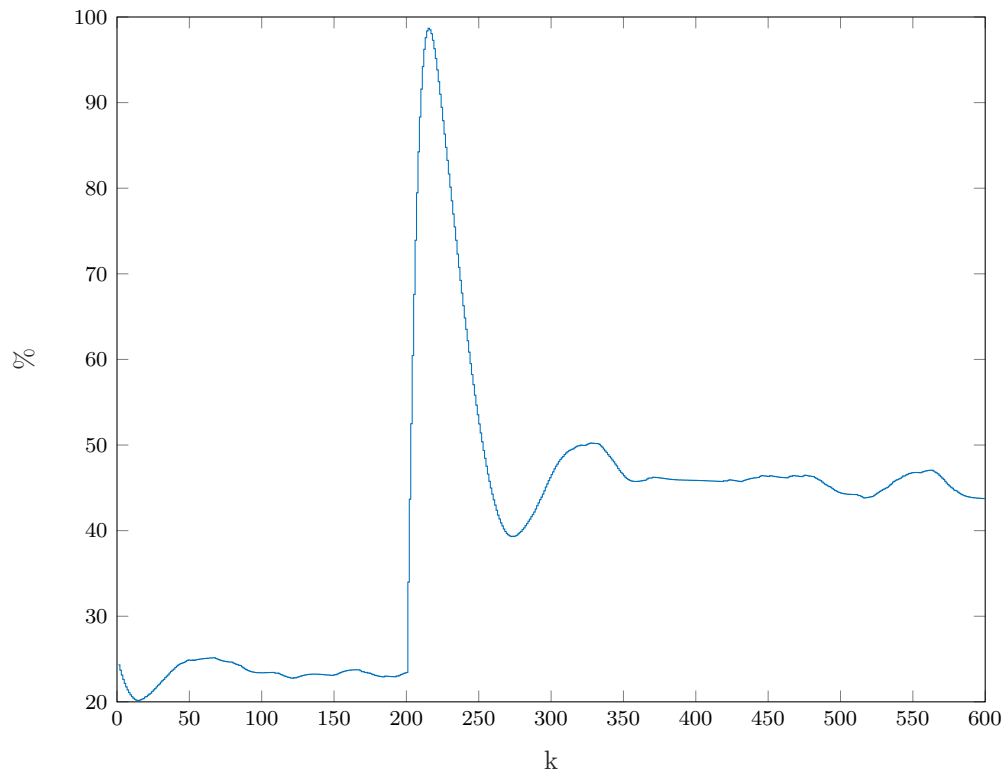


Rys. 3.13. Sterowanie procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 60$ ,  $N_u = 5$ ,  $\lambda = 0,4$

$$E = 1,5041 * 10^3 \quad (3.8)$$



Rys. 3.14. Wyjście procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 30$ ,  $N_u = 1$ ,  $\lambda = 0,4$



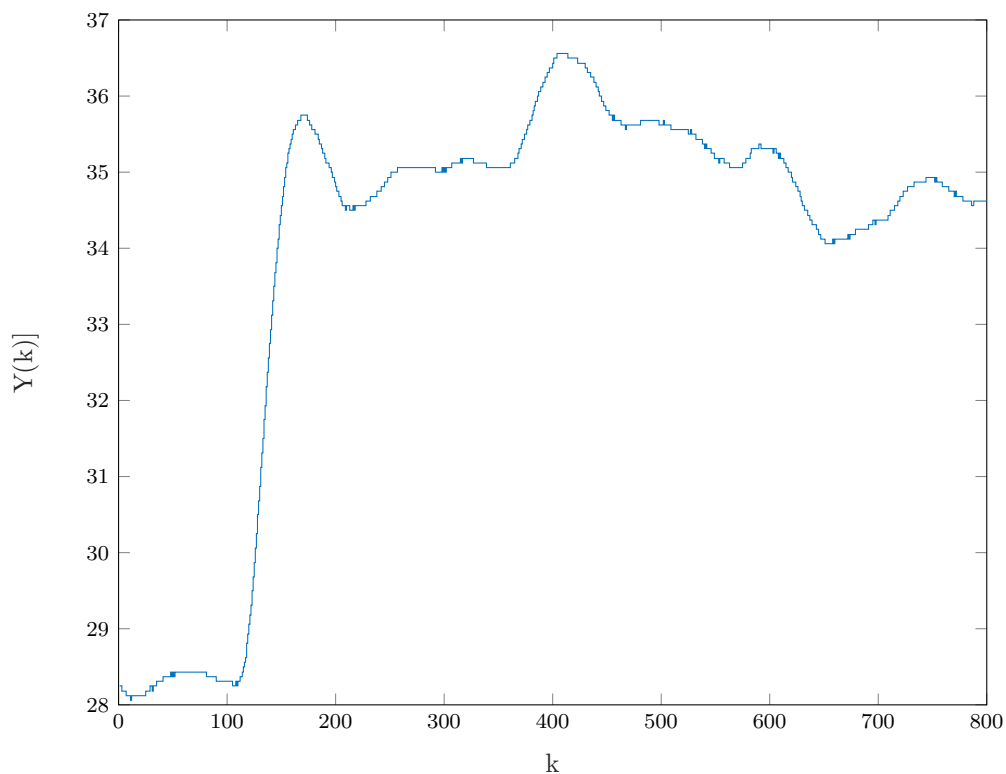
Rys. 3.15. Sterowanie procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 30$ ,  $N_u = 1$ ,  $\lambda = 0,4$

$$E = 1,2676 * 10^3 \quad (3.9)$$

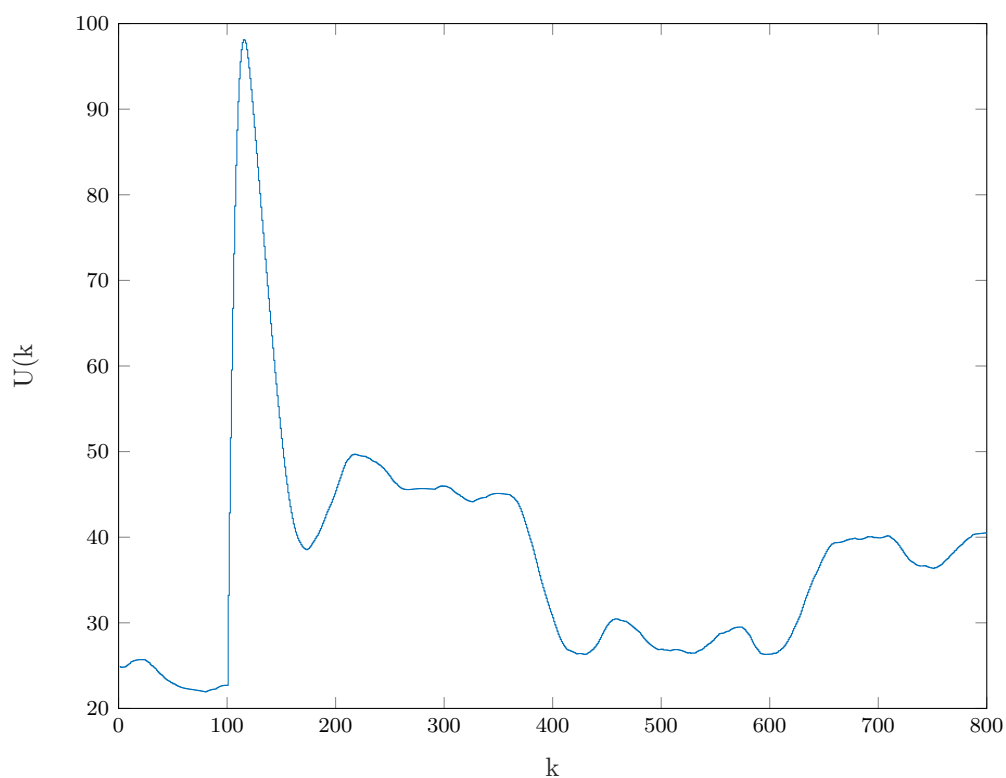
### 3.5. Dobór parametru $D^z$

W wyniku eksperymentów dobraliśmy wartość  $D^z = 320$ .

Poniżej są przedstawione wyniki regulacji najpierw bez pomiaru zakłócenia, a potem z pomiarem dla skoków sygnału zakłócenia w chwili  $k=350$  z wartości 0 do 30 oraz w  $k=600$  z 30 do 10.



Rys. 3.16. Wyjście procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 30$ ,  $N_u = 1$ ,  $\lambda = 0,4$  bez pomiaru zakłócenia

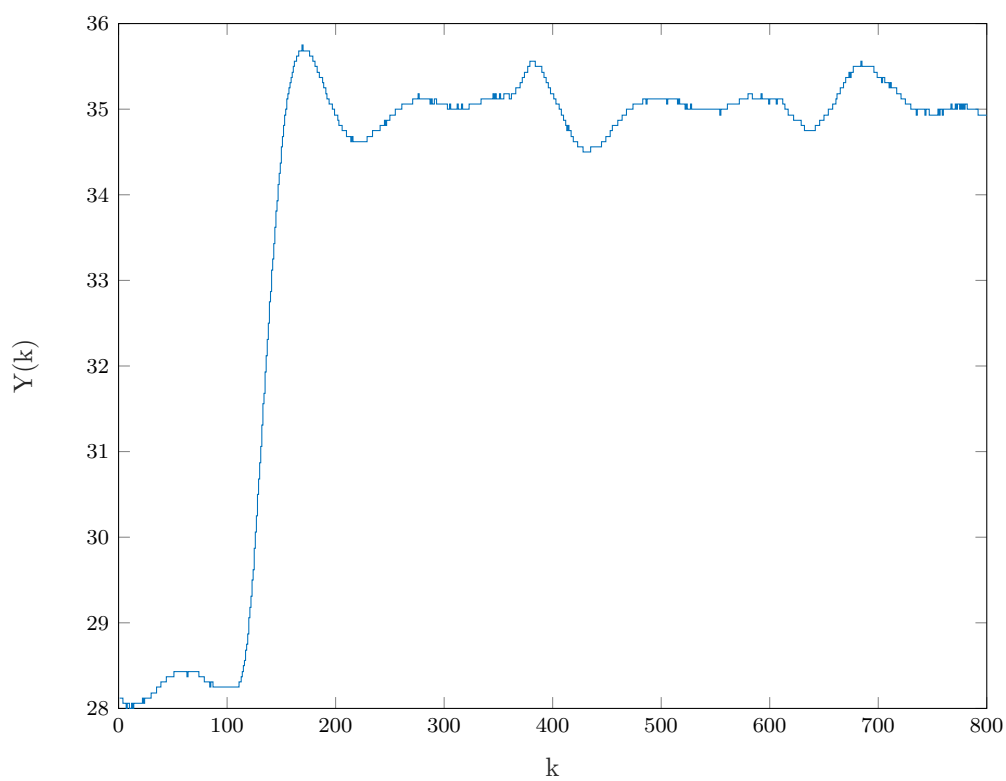


Rys. 3.17. Sterowanie procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 30$ ,  $N_u = 1$ ,  $\lambda = 0,4$  bez pomiaru zakłócenia

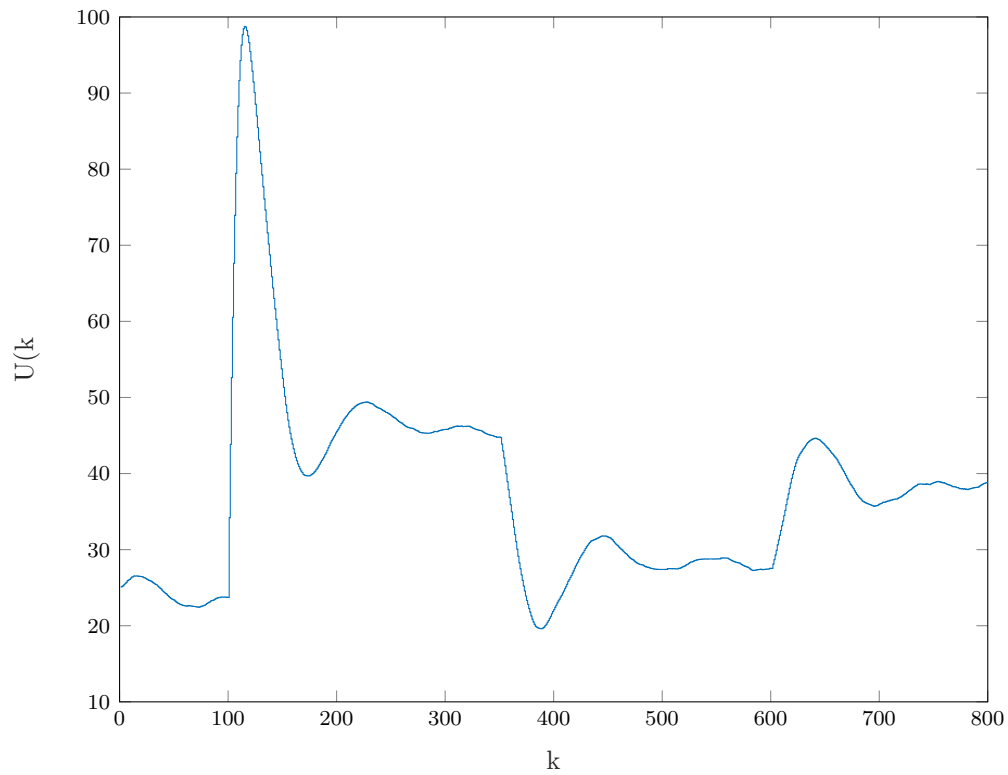


$$E = 1,4576 * 10^3 \quad (3.10)$$

Włączamy pomiar zakłóceń.



Rys. 3.18. Wyjście procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 30$ ,  $N_u = 1$ ,  $\lambda = 0,4$  z pomiarem zakłócenia



Rys. 3.19. Sterowanie procesu z regulatorem DMC dla parametrów  $D = 340$ ,  $N = 30$ ,  $N_u = 1$ ,  $\lambda = 0,4$  z pomiarem zakłócenia

$$E = 1,2734 * 10^3 \quad (3.11)$$

Jak widać, regulacja z pomiarem jest bardziej precyzyjna.