

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

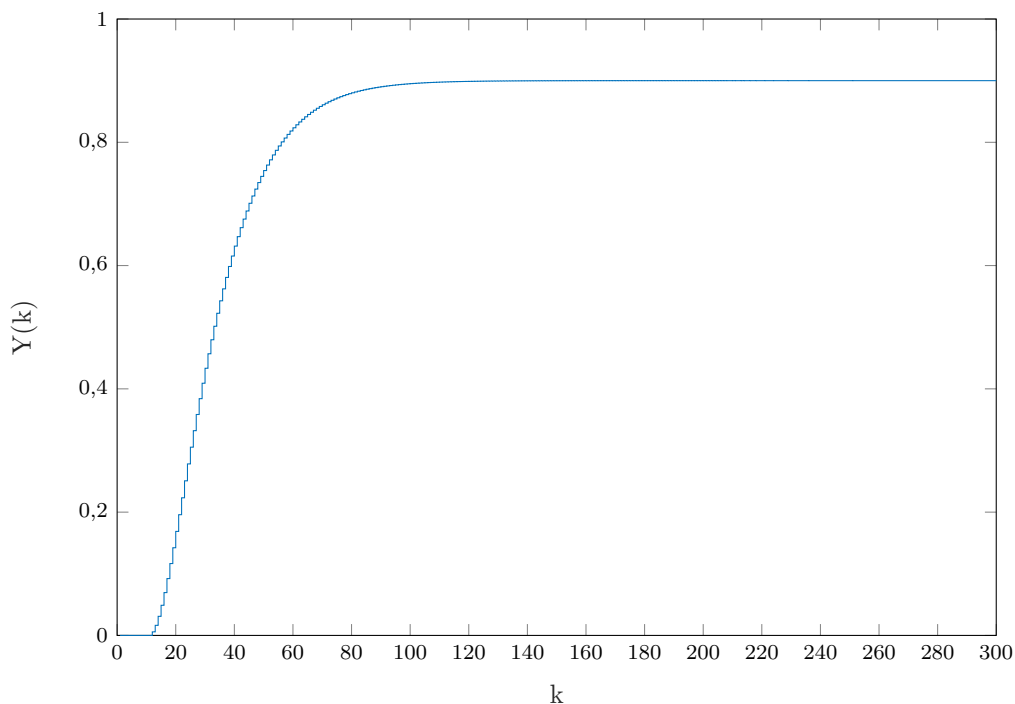
Warszawa, 2021

Spis treści

1. Sprawdzenie poprawności podanych wartości	2
2. Odpowiedzi skokowe	3
2.1. Odpowiedzi skokowe	3
2.2. Charakterystyka statyczna	3
2.3. Wzmocnienie statyczne	4
3. Przekształcenie odpowiedzi skokowej na potrzeby algorytmu DMC	5
3.1. Przekształcenie odpowiedzi	5
3.2. Wykres odpowiedzi skokowej	5
4. Algorytmy regulacji	7
4.1. Algorytm cyfrowy regulacji PID	7
4.2. Algorytm DMC w wersji analitycznej	7
5. Strojenie regulatorów	8
5.1. Strojenie regulatora PID	8
6. Laboratorium	11
6.1. Określenie wartości pomiaru temperatury w punkcie pracy	11
6.2. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych	11
6.3. Aproksymacja odpowiedzi skokowej	13
6.4. Dobranie nastaw regulatora PID i parametrów algorytmu DMC	14

1. Sprawdzenie poprawności podanych wartości

Żeby sprawdzić poprawność podanych wartości podajemy na wejście wartość U_{PP} i patrzymy na jakiej wartości się ustali Y_{PP} .



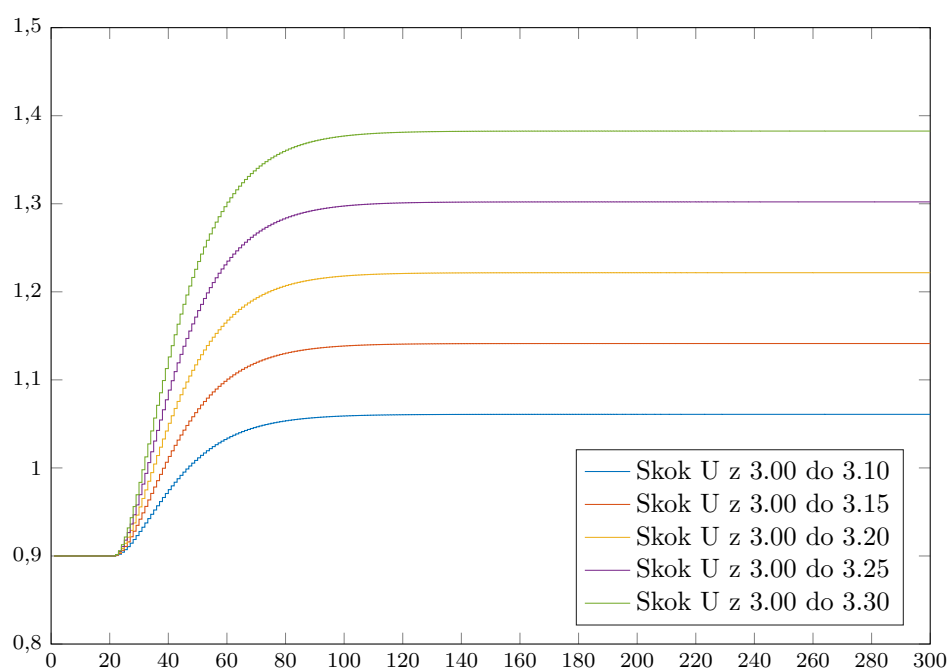
Rys. 1.1. Przebieg wyjścia obiektu przy stałym wejściu równym U_{PP}

Jak możemy obserwować wyjście się ustala na poprawnej wartości, czyli na 0,9.

2. Odpowiedzi skokowe

2.1. Odpowiedzi skokowe

Rozważamy 5 różnych wartości skoku: 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3.

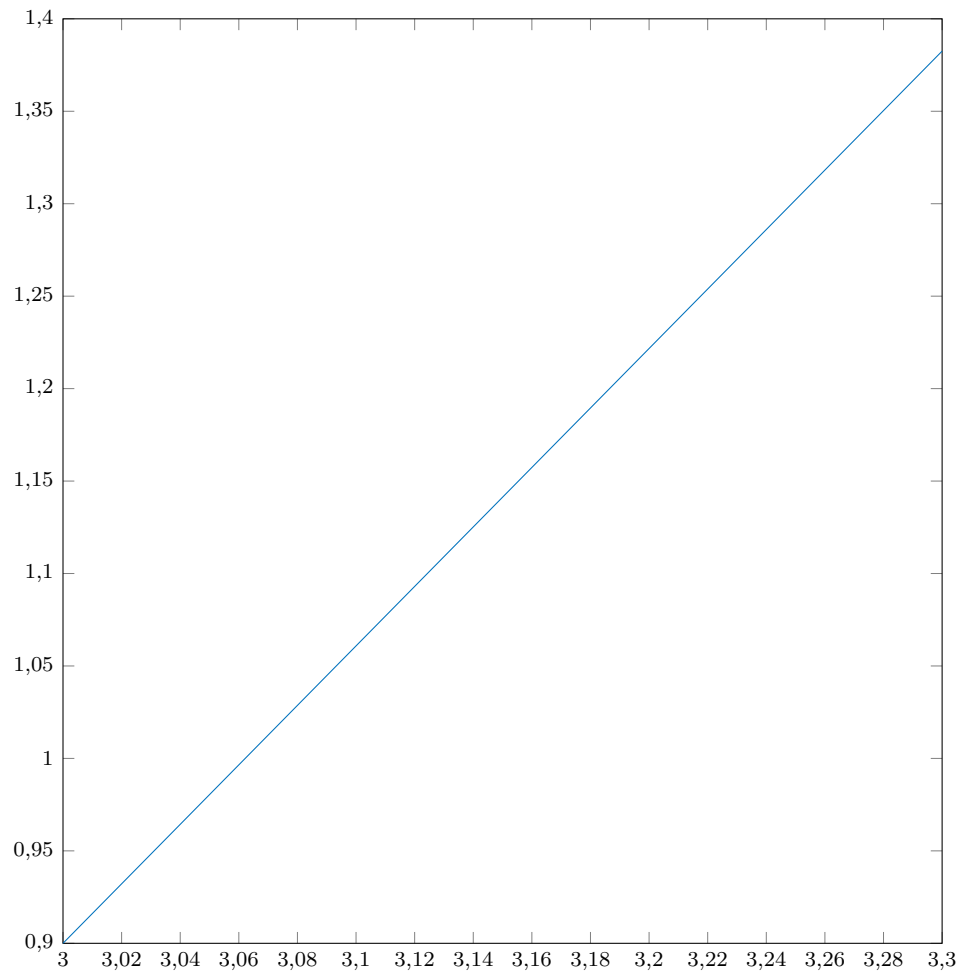


Rys. 2.1. Wykresy odpowiedzi skokowych

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

2.2. Charakterystyka statyczna

Jako dane do wykresu bierzemy 6 punktów. Pierwszy punkt to U_{PP} i Y_{PP} . Kolejne punkty to wejścia razem ze skokiem i odpowiednie wartości wyjścia.

Rys. 2.2. Charakterystyka statyczna $y(u)$

2.3. Wzmocnienie statyczne

Jak widać z powyższego wykresu, charakterystyka jest prawie idealnie liniowa. Wyliczone wzmocnienie statyczne:

$$K_{\text{stat}} = 1,6085 \quad (2.1)$$

3. Przekształcenie odpowiedzi skokowej na potrzeby algorytmu DMC

3.1. Przekształcenie odpowiedzi

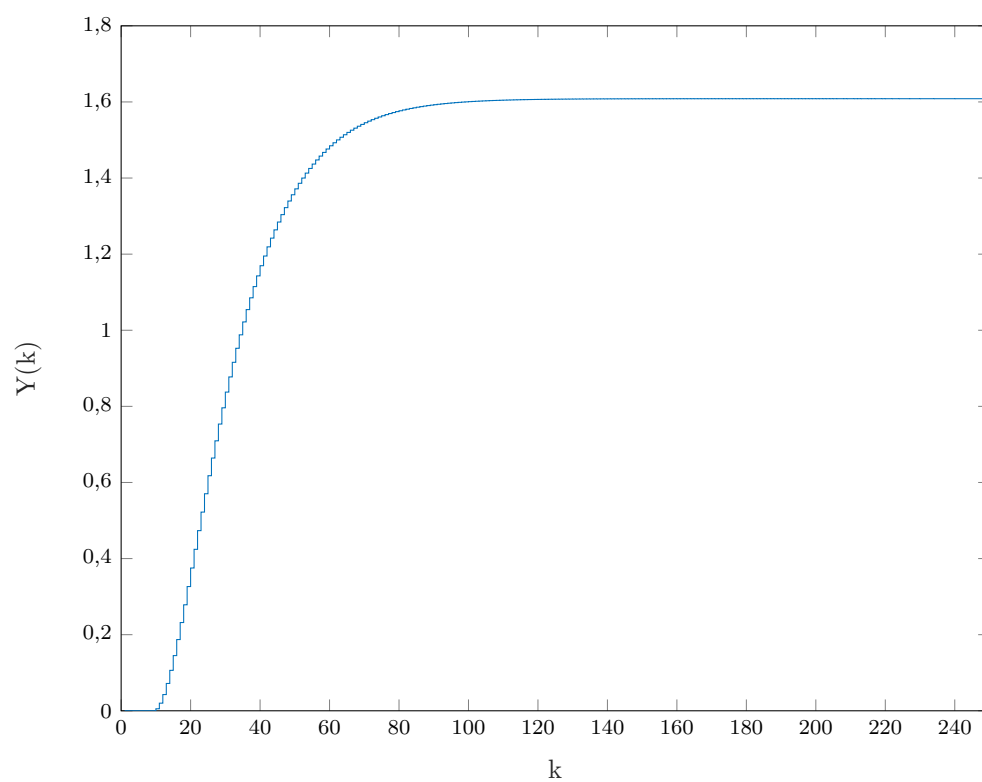
Odpowiedź skokowa wykorzystywana w algorytmach DMC tworzona jest przy skoku jednostkowym od chwili $k=0$ (od $k \geq 0$ sygnał sterujący ma wartość 1, a dla $k < 0$ wartość 0). Żadna z odpowiedzi skokowych z podpunktu 2 nie posiada tej własności, dlatego też należy skorzystać z poniższego wzoru:

$$S_i = \frac{Y(i) - Y_{pp}}{\Delta U}, \text{ dla } i = 1, 2 \dots D \quad (3.1)$$

Przy jego pomocy można wyznaczyć kolejne zestawy liczb $s_1, s_2 \dots$, które są kolejnymi wartościami wyznaczanej odpowiedzi skokowej. We wzorze Y_{pp} oznacza wyjście w punkcie pracy, ΔU wartość skoku sygnału sterującego. Natomiast $Y(i)$ to wartości przekształcanej odpowiedzi skokowej, dla kolejnych chwil od momentu wystąpienia skoku sygnału sterującego. Do przekształcenia odpowiedzi skokowej według powyższego wzoru wybrano odpowiedź procesu dla zmiany sygnału sterującego o $\Delta U = 0,3$ (skok z $U_{pp} = 3$ do $U = 3,3$). Skok sygnału sterującego zadany był w chwili $k=12$.

3.2. Wykres odpowiedzi skokowej

Po wyliczeniu kolejnych współczynników s i naniesieniu ich na wykres odpowiedź skokowa wygląda następująco:



Rys. 3.1. Odpowiedź skokowa przekształcona

4. Algorytmy regulacji

4.1. Algorytm cyfrowy regulacji PID

Prawo regulacji cyfrowego PID:

$$u(k) = r_2 e(k-2) + r_1 e(k-1) + r_0 e(k) + u(k-1), \text{ dla } k = 12, 13 \dots N \quad (4.1)$$

Współczynniki regulacji r_i są wyliczane ze standardowych wzorów i zależą od wzmocnienia członu proporcjonalnego K_p , parametru całkowania T_i , parametru różniczkowania T_d , które są parametrami dostrojalnymi regulatora, oraz od wartości okresu próbkowania $T = 0,5s$.

Wartości wejścia i wyjścia będą wystawiane na U_{PP} i Y_{PP} dla $k = 1, 2 \dots 11$, a dla następnych chwil czasu wejście będzie liczone z prawa regulacji, uwzględniając ograniczenia u_{min} , u_{max} , Δu^{max} .

4.2. Algorytm DMC w wersji analitycznej

Prawo regulacji DMC:

$$\Delta U(k) = K(Y^{zad}(k) - Y^0(k)) \quad (4.2)$$

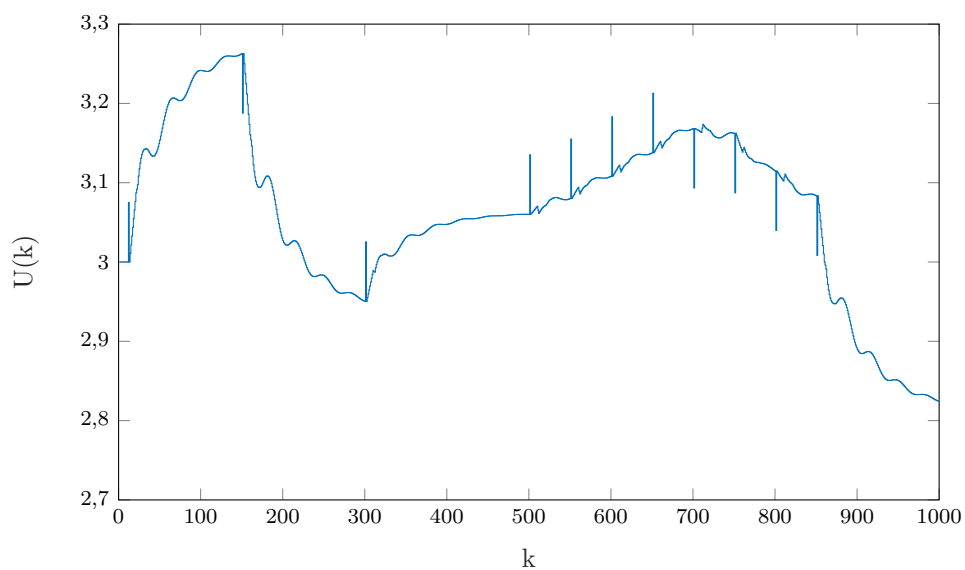
Gdzie $\Delta U(k)$ to wektor N_u (horyzont sterowania) przyszłych wartości sterowania, $Y^0(k)$ to przewidywana odpowiedź z modelu procesu, K - macierz policzona raz na początku ze współczynników odpowiedzi skokowej, uwzględniając wybrany współczynnik λ oraz horyzonty predykcji i sterowania.

5. Strojenie regulatorów

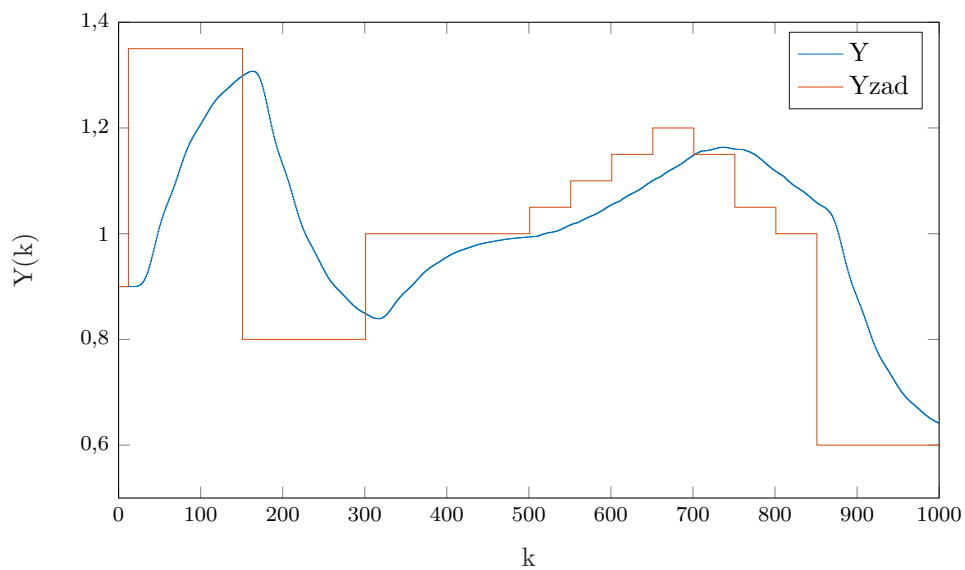
5.1. Strojenie regulatora PID

Otrzymane metodą ZN nastawy regulatora PID: $K_p = 1.212$, $T_i = 25$, $T_d = 6$.

Wyniki symulacji o długości $n = 1000$ dla parametrów:



Rys. 5.1. Sterowanie PID dla parametrów ZN

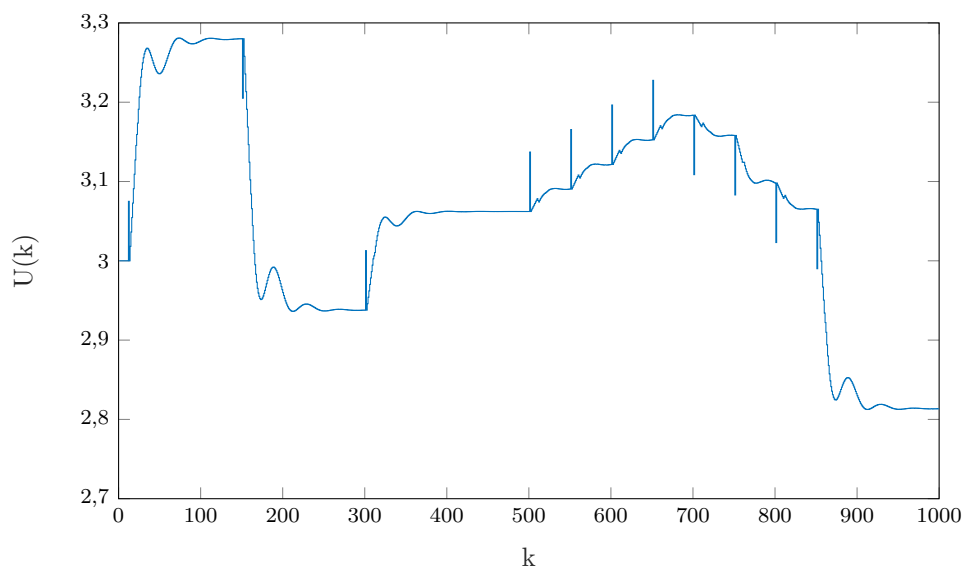


Rys. 5.2. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów ZN

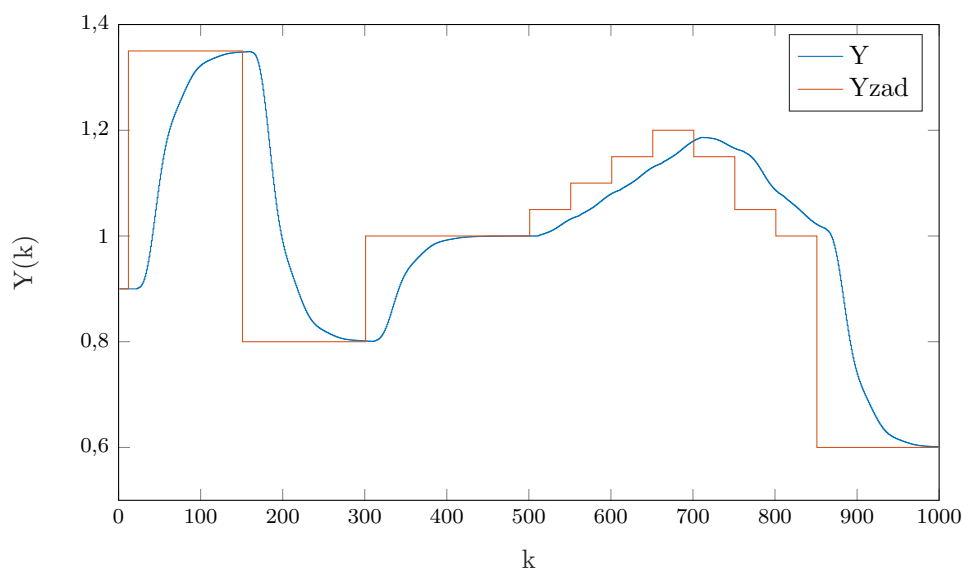
Wskaźnik jakości regulacji:

$$E = 36,0711 \quad (5.1)$$

Zmieniając T_i i T_d na 15 i 4 odpowiednio:



Rys. 5.3. Sterowanie PID dla parametrów $K = 1,212$, $T_i = 15$, $T_d = 4$



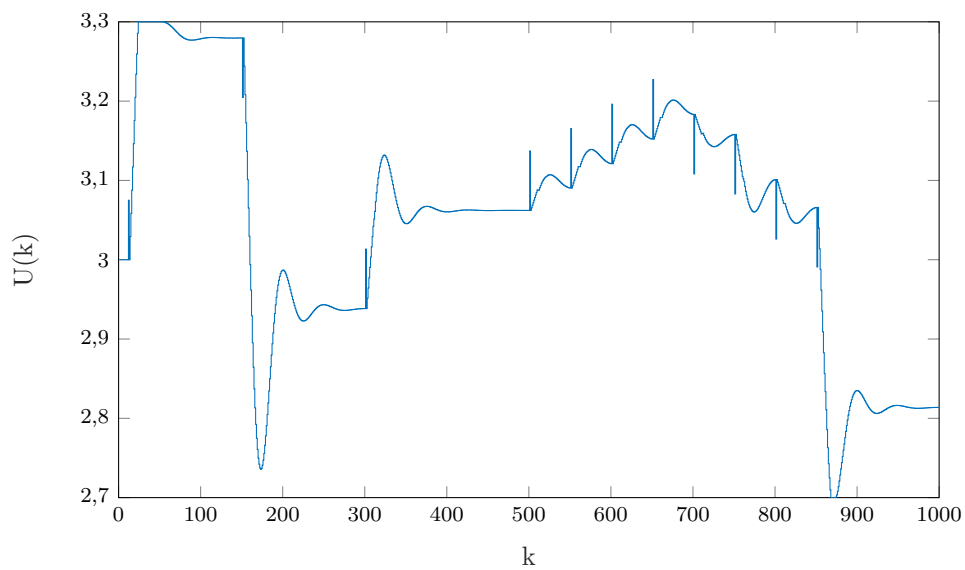
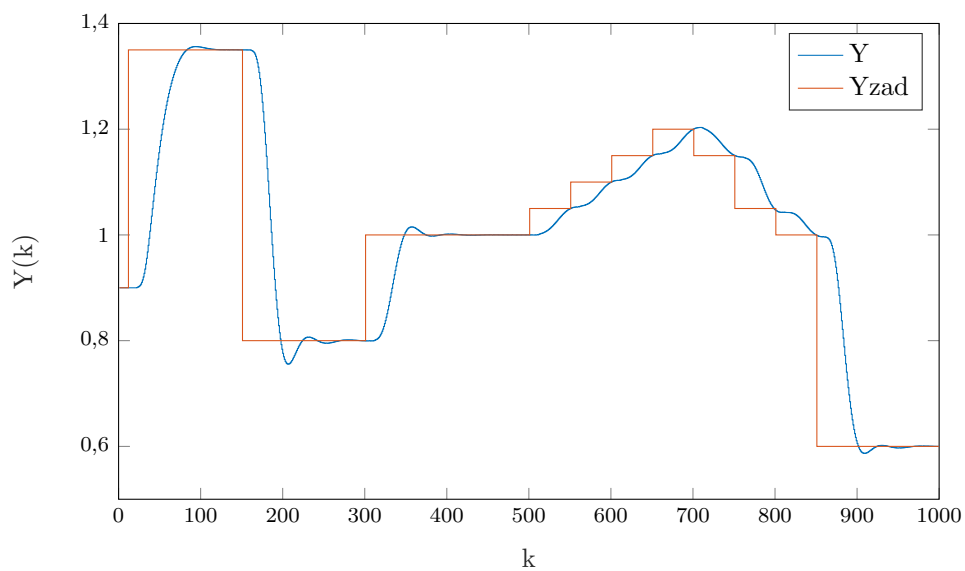
Rys. 5.4. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów $K = 1,212$, $T_i = 15$, $T_d = 4$

Wskaźnik jakości regulacji:

$$E = 25,6710 \quad (5.2)$$

Wartości parametrów dla których wartość wyjścia najlepiej śledzi wartość zadaną (na oko) to:

$$K = 1,3; T_i = 10; T_d = 3; \quad (5.3)$$

Rys. 5.5. Sterowanie PID dla parametrów $K = 1,3$, $T_i = 10$, $T_d = 3$ Rys. 5.6. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów $K = 1,3$, $T_i = 10$, $T_d = 3$

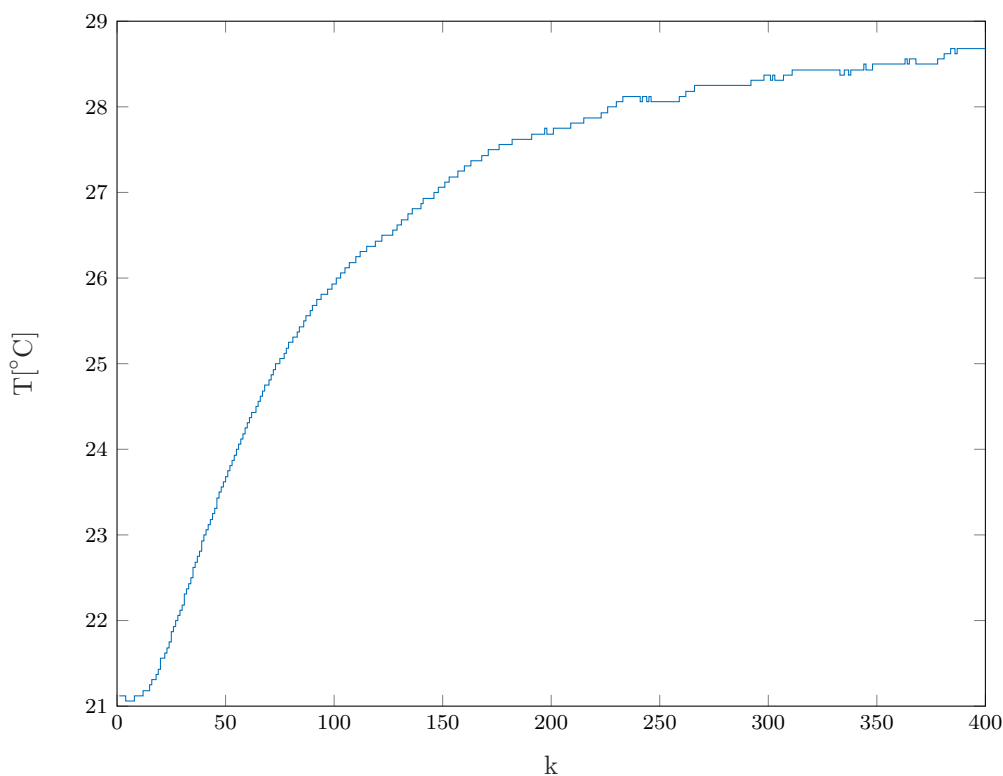
Wskaźnik jakości regulacji:

$$E = 20,5988 \quad (5.4)$$

6. Laboratorium

6.1. Określenie wartości pomiaru temperatury w punkcie pracy

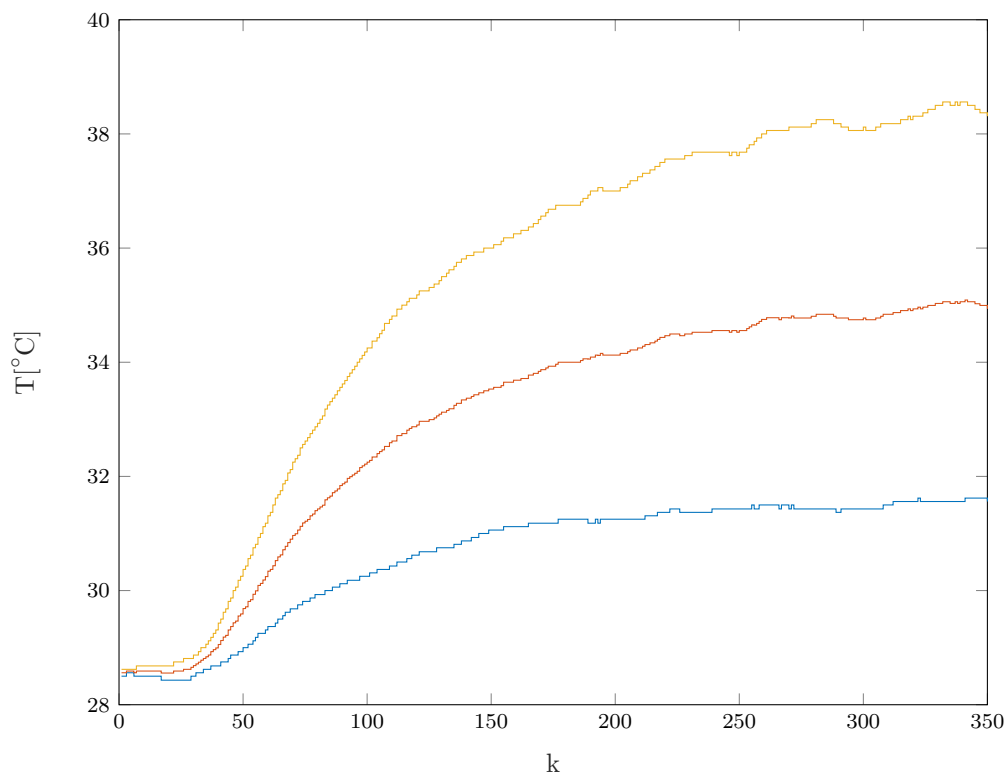
W celu określenia wartości pomiaru temperatury w punkcie pracy ustawiono moc wentylatora $W1 = 50\%$, a moc grzałki $G1 = 25\%$. Po czasie około 5 minut temperatura odczytywana przez czujnik temperatury zaczęła się stabilizować na poziomie $T1 = 28,4^{\circ}\text{C}$. Niestety z powodu ciągłego ruchu 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 od tej temperatury.



Rys. 6.1. Pomiar temperatury w punkcie pracy

6.2. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych

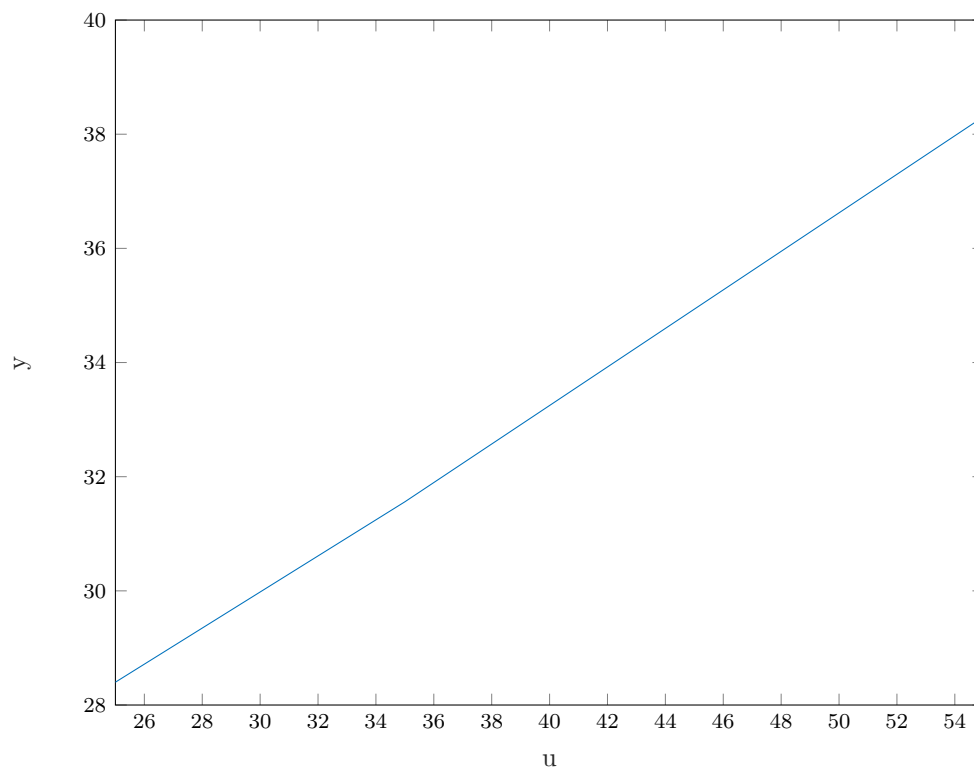
Rozpoczynając z punktu pracy wyznaczono odpowiedzi skokowe dla trzech różnych wartości sygnału sterującego $G1 = 35\%$ $G1 = 45\%$ i $G1 = 55\%$.



Rys. 6.2. 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 konsekwencji postanowiono wyznaczyć wzmocnienie statyczne procesu.

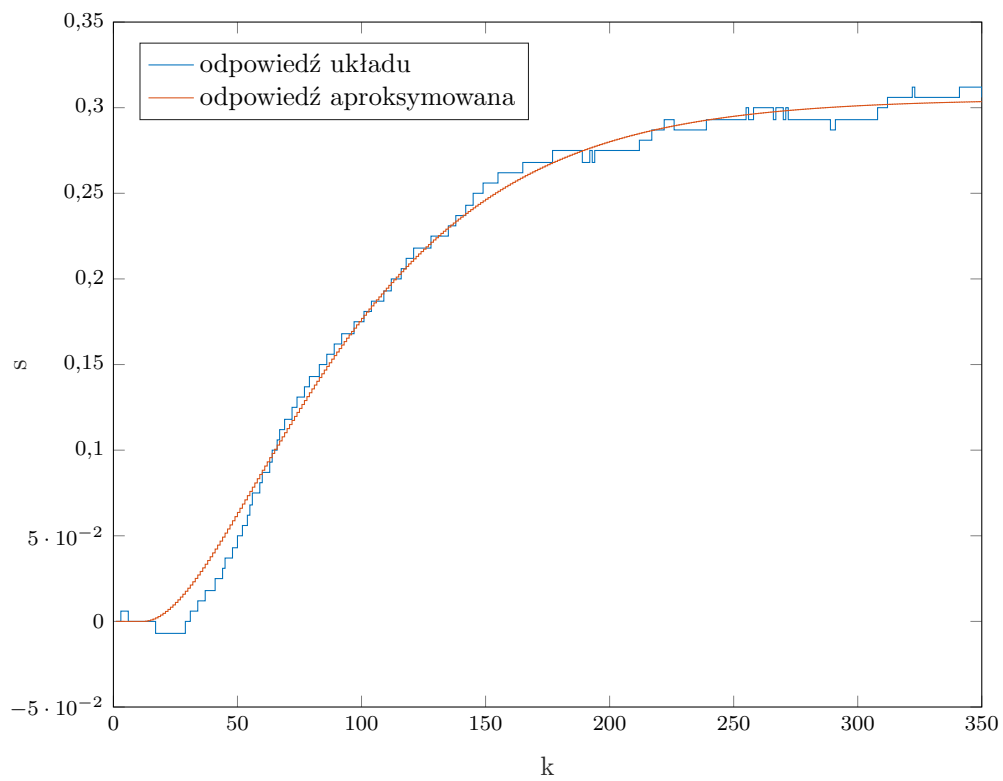
$$K_{stat} = 0.3303 \quad (6.1)$$



Rys. 6.3. Charakterystyka statyczna procesu

6.3. Aproksymacja odpowiedzi skokowej

Dokonano aproksymacji odpowiedzi skokowej dla wartości sygnału sterującego $G1 = 35\%$.



Rys. 6.4. Aproksymacja odpowiedzi skokowej

W celu wyznaczenia optymalnych parametrów optymalizacji posłużono się algorytmem genetycznym o losowej populacji początkowej

6.4. Dobranie nastaw regulatora PID i parametrów algorytmu DMC

Wartości nastaw regulatora PID

$$K = 30T_i = 35T_d = 4.5T_p = 1 \quad (6.2)$$

Wskaźnik jakości regulacji:

$$E = 20,5988 \quad (6.3)$$