

**Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska**

**Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)**

**Sprawozdanie z laboratorium nr 1**

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

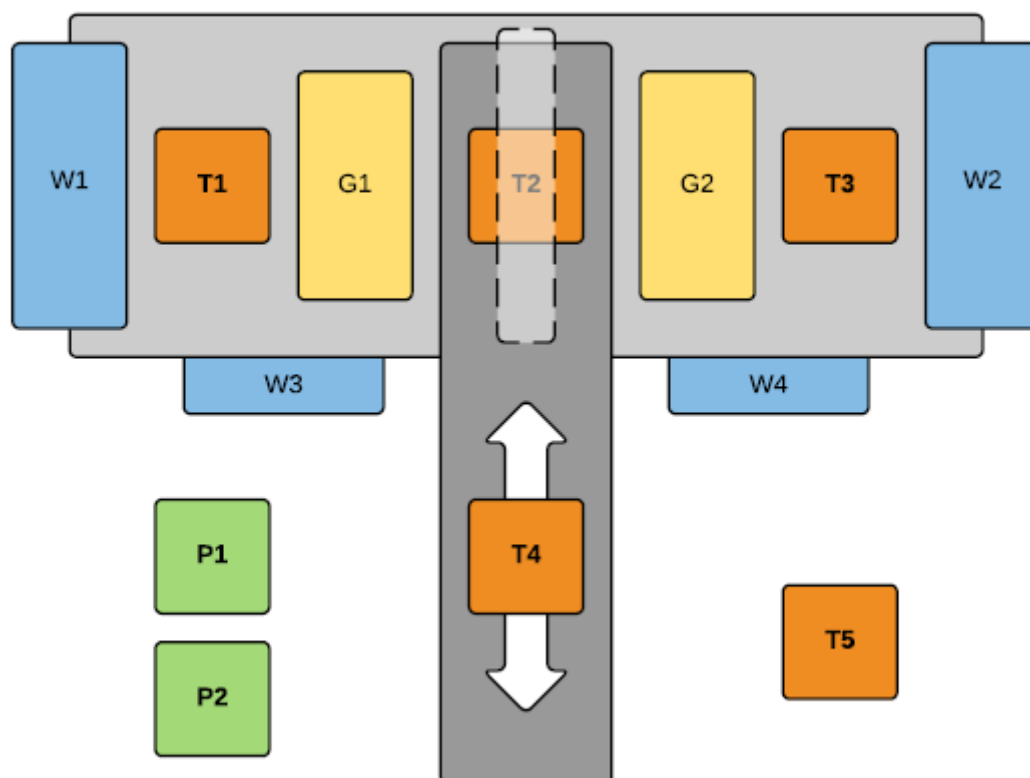
**Warszawa, 2017**

# Spis treści

1. Opis obiektu . . . . .	2
2. Zadanie 1: Punkt pracy . . . . .	3
3. Zadanie 2: Odpowiedzi skokowe . . . . .	4
4. Zadanie 3: Znormalizowana odpowiedź skokowa . . . . .	7

# 1. Opis obiektu

Obiektem używanym na laboratorium było stanowisko grzejąco-chłodzące przedstawione schematycznie na poniższym rysunku 1.1. Stanowisko składa się z 4 wentylatorów (W), 2 grzałek (G), 5 czujników temperatury (T), pomiaru prądu (P1) oraz napięcia (P2). Nie korzystaliśmy jednak ze wszystkiego naraz. Wyłączyliśmy wszystkie wentylatory oprócz W1, który ustawiliśmy na stałe na 50%, co pozwoli na szybszy spadek temperatury obiektu. Sterowaniem i źródłem zakłóceń naszego obiektu była grzałka G1 (grzałka G2 na stałe wyłączona). Jako wyjście przyjęliśmy czujnik temperatury T1. Nie odczytywaliśmy wartości z pozostałych czujników, nie były one ważne dla naszego eksperymentu. Ze względu na to, że mierzonym medium była temperatura, obiekt był narażony na różnego rodzaju szумы i zakłócenia. Jego położenie także nie sprzyjało dokładnym pomiarom (otwarte drzwi oraz wentylacja w pobliżu). Z tych powodów pomiary z niego otrzymane mogły zawierać (a dokładniej mówiąc na pewno zawierały) odchylenia od wartości właściwej, co zostało uwzględnione w trakcie analizy wyników.



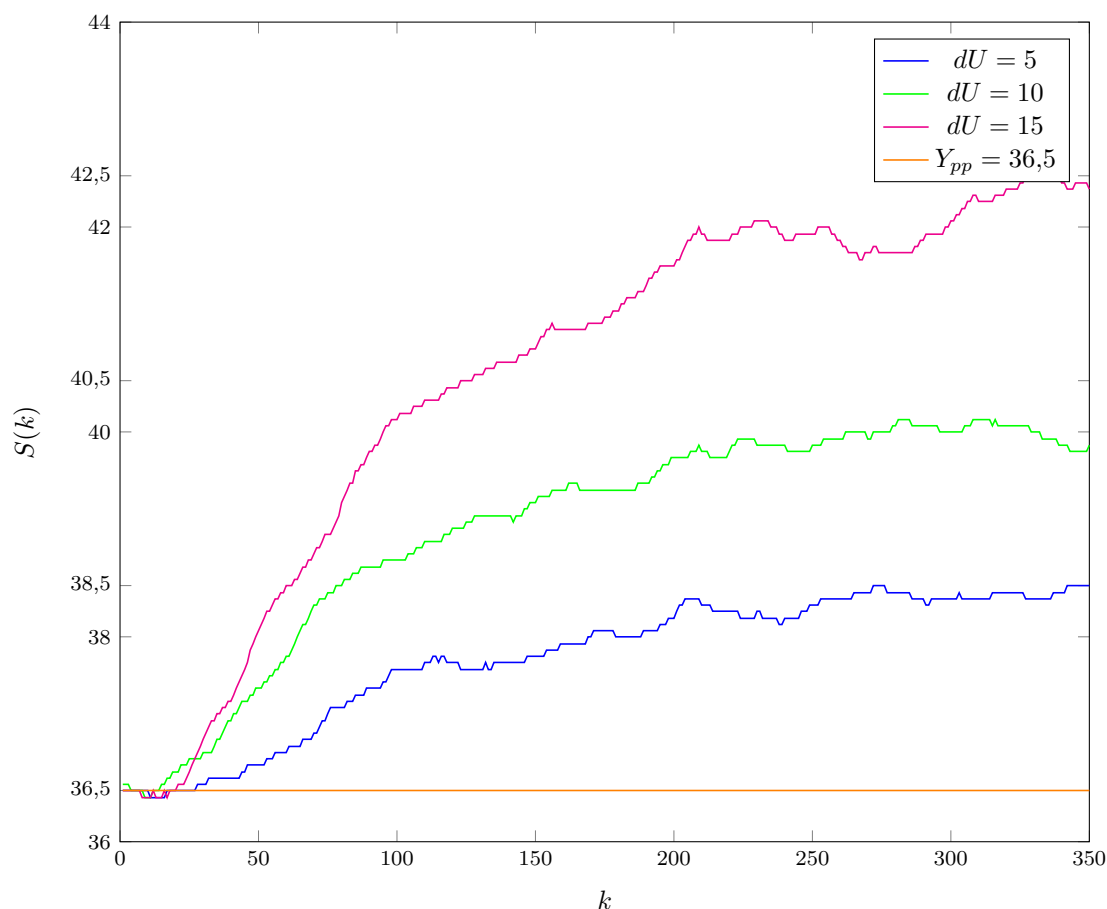
Rys. 1.1. Schemat stanowiska grzejąco-chłodzącego

## 2. Zadanie 1: Punkt pracy

Pierwszym poleceniem było określenie wartości wyjścia obiektu  $Y_{pp}$  ( pomiaru  $T1$  ) w punkcie pracy  $U_{pp} = 36$ . Osiągnęliśmy ją ustawiając wartość sterowania (moc grzania grzałki G1) na  $U_{pp}$  i odczekując znaczną ilość czasu (powyżej 5 minut). Z powodu narastającej temperatury w ciągu zajęć, znaczącej cyrkulacji powietrza wynikającej z wentylacji nad stanowiskiem oraz przejścia do innego pomieszczenia, punkt pracy zmieniał się w czasie trwania zajęć z 35,5, aż do około 38,5. Mając na uwadze całkujące właściwości algorytmu  $DMC$ , ostatecznie przyjęliśmy wartość  $Y_{pp} = 37,68$ , którą udokumentowaliśmy w dalszej części sprawozdania.

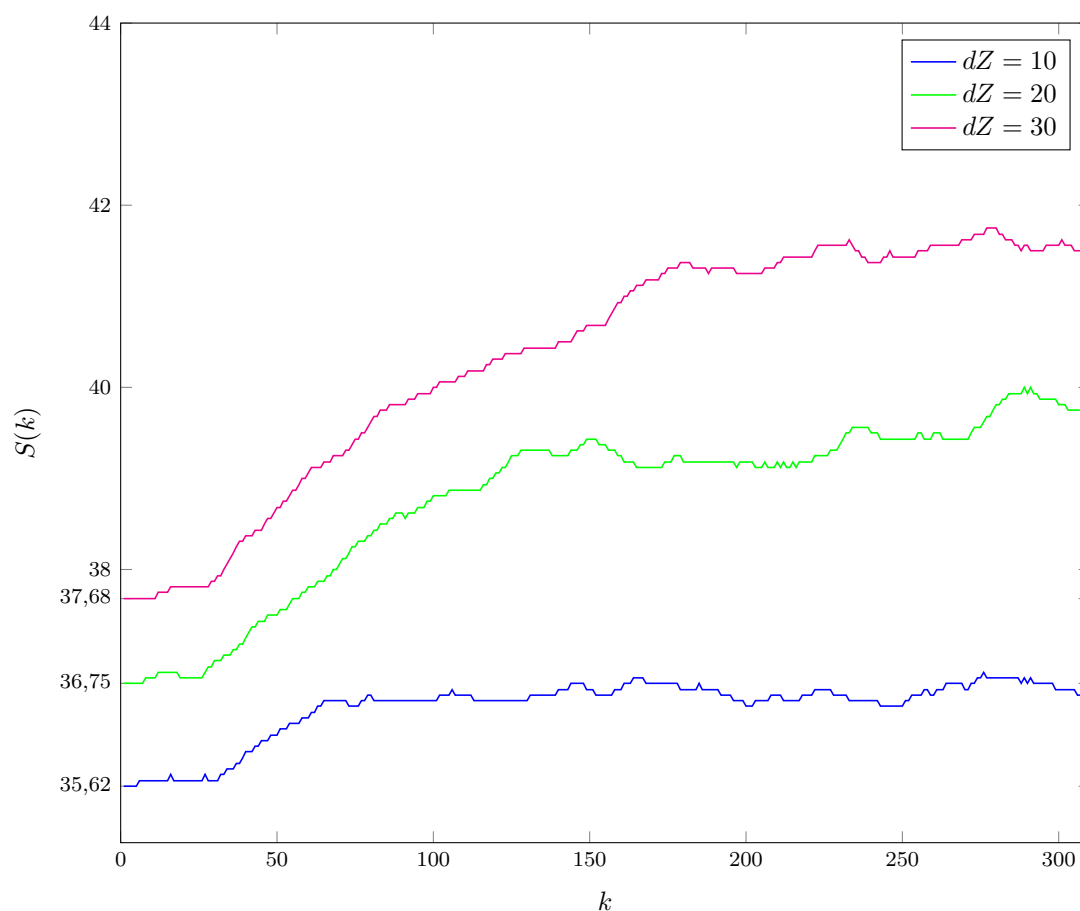
### 3. Zadanie 2: Odpowiedzi skokowe

Kolejnym zadaniem było zmierzenie kilku odpowiedzi skokowych obiektu dla skoków rozpoczynających się z punktu pracy. Odpowiedź skokowa dla toru sterowanie-wyjście znajdują się na rysunku 3.1. Jest ona wynikiem naszej pracy w trakcie trwania laboratorium nr. 1. Pierwszym aspektem wartym zauważenia jest inny punkt pracy, będący wynikiem innych warunków pogodowych na poprzednich zajęciach. Dla przedstawionych odpowiedzi skok sterowania następował w chwili  $k = 10$ , co oznacza, że dopiero od  $k = 11$  wykresy przedstawiają właściwe odpowiedzi skokowe. Trudności sprawiło nam określenie czy właściwości statyczne posiadanego obiektu są liniowe. Biorąc dosłownie końcowe wartości wyjścia dla różnych odpowiedzi skokowych należałoby stwierdzić, że nie są. Pamiętając jednak, że w okolicy obiektu występowały nieuchronne zakłócenia, można zauważyć pewne prawidłowości. Przy skoku sterowania o 5% temperatura podniosła się o około 2 stopnie, a przy skoku o 15% o około 6 stopni. Jak można zauważyć, wyjście wzrosło o 3 razy większą wartość przy 3 razy większym skoku, więc zachowało się liniowo. Gdyby założyć, że przy skoku o 10% nastąpiły większe zakłócenia niż przy innych i zamiast w 40 wyjście osiągnęłoby wartość około 40,5, to można by stwierdzić, że charakterystyka statyczna obiektu jest w przybliżeniu liniowa, a jej wzmocnienie statyczne wynosi około  $2/5 = 0,4$ .

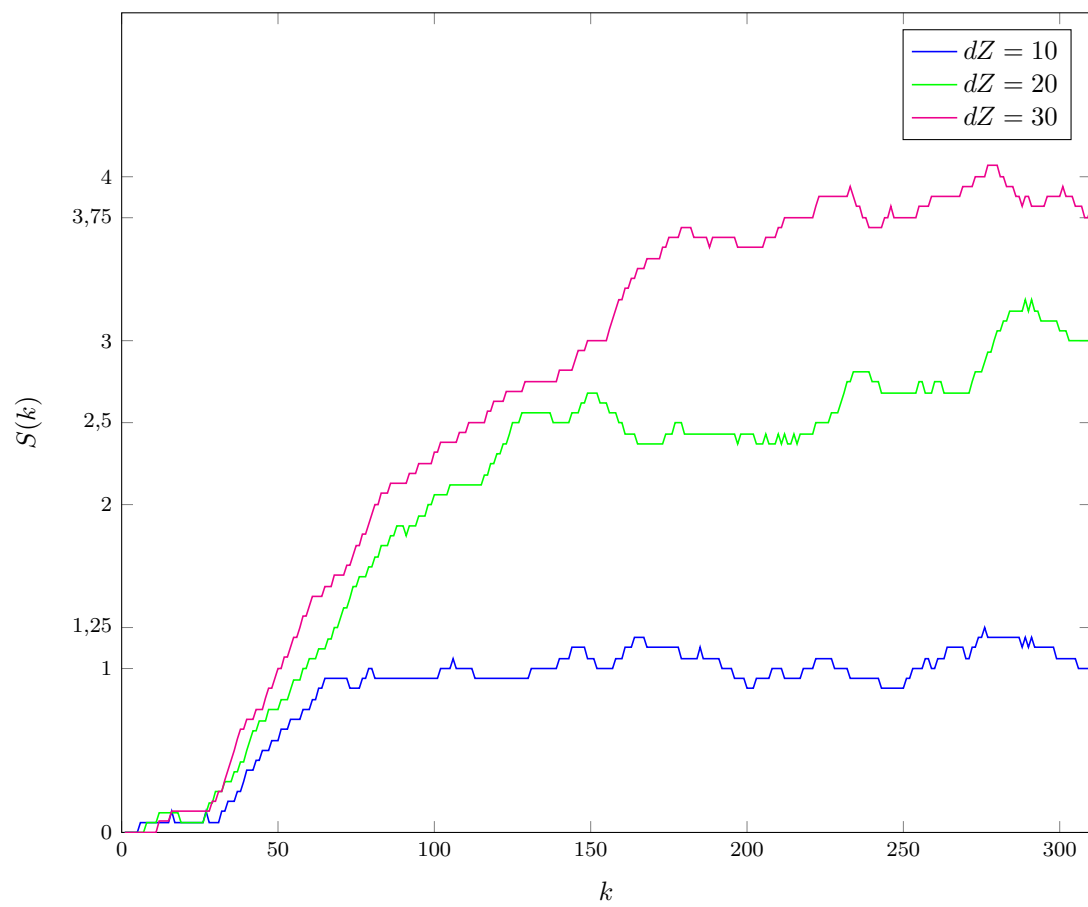


Rys. 3.1. Wykres  $S(k)$  dla różnych skoków sterowania z  $U_{pp} = 36$  o  $dU$

Następnie zebraliśmy odpowiedź skokową dla toru zakłócenia-wyjście 3.2. Jak widać na rysunku, punktu pracy był ruchomy, z tego powodu zebrany odpowiedzi skokowe posiadają różny początek. Najładniejszy przebieg - dla 37.68 - wykorzystaliśmy do *DMC*. Na wykresie 3.3 został przedstawiony przebieg tych samych prostych przesunięty o własny punkt pracy do 0. Zakładając wystąpienie znacznych zakłóceń w trakcie zbierania odpowiedzi dla  $dZ = 20$  od chwili 230 stwierdzamy, że właściwości są statyczne. Widać, że pomijając zakłócenia różnica pomiędzy wartościami końcowymi przebiegów wynosiłaby około 1.25. Wzmocnienie statyczne wynosi zatem 0,125.



Rys. 3.2. Wykres  $S(k)$  dla różnych skoków zakłócenia o  $dZ$

Rys. 3.3. Wykres  $S(k)$  dla różnych skoków zakłócenia o  $dZ$

## 4. Zadanie 3: Znormalizowana odpowiedź skokowa

Kolejnym poleceniem było wyznaczyć znormalizowaną odpowiedź skokową (taką jaką wymagana jest do algorytmu DMC) i zaproksymować ją, używając w tym celu członu inercyjnego drugiego rzędu z opóźnieniem. Człon posiada 4 parametry:  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $K$  (dalej oznaczane jako  $K_p$ ) i  $T_d$  (w dalszej części sprawozdania oznaczane jako  $TD$ ). Człon jest opisany wzorami powstałymi po przekształceniu jego transmitancji:

$$\alpha_1 = e^{-\frac{1}{T_1}} \quad (4.1)$$

$$\alpha_2 = e^{-\frac{1}{T_2}} \quad (4.2)$$

$$a_1 = -\alpha_1 - \alpha_2 \quad (4.3)$$

$$a_2 = \alpha_1 \alpha_2 \quad (4.4)$$

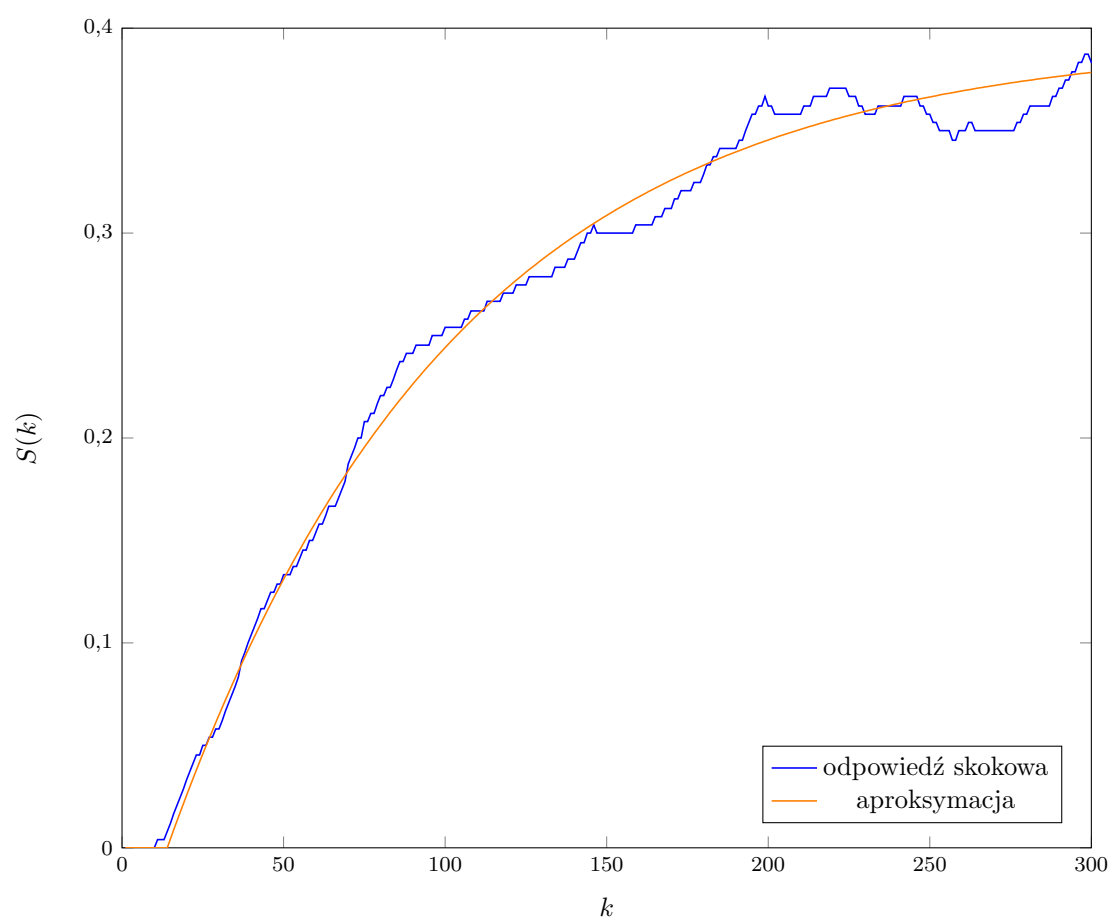
$$b_1 = \frac{K_p}{T_1 - T_2} [T_1(1 - \alpha_1) - T_2(1 - \alpha_2)] \quad (4.5)$$

$$b_2 = \frac{K_p}{T_1 - T_2} [\alpha_1 T_2(1 - \alpha_2) - \alpha_2 T_1(1 - \alpha_1)] \quad (4.6)$$

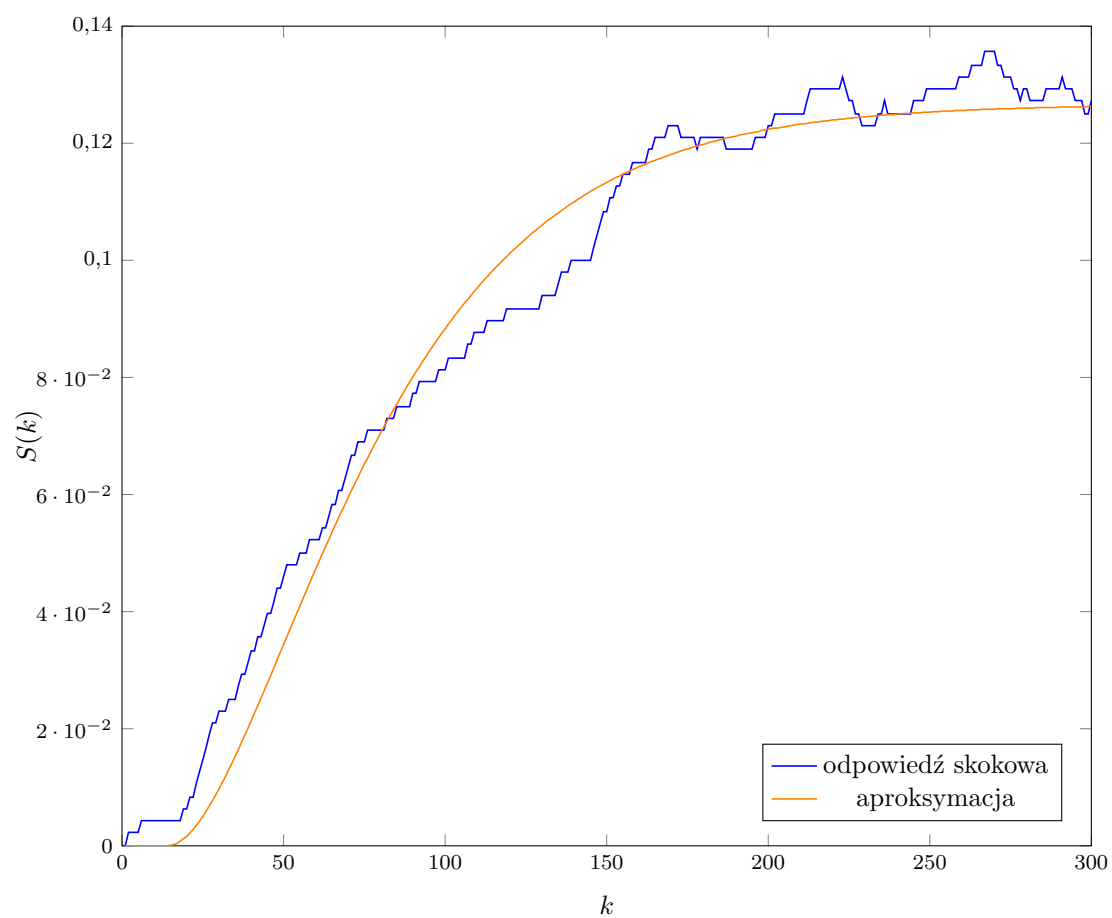
$$y(k) = b_1 u(k - TD - 1) + b_2 u(k - TD - 2) - a_1 y(k - 1) - a_2 y(k - 2) \quad (4.7)$$

W celu doboru parametrów członu wykorzystano funkcję *fmincon*. Jako początkowe wartości dobieranych parametrów wybraliśmy [11, 10, 1, 10], 11 i 10 dla  $T_1$  i  $T_2$  żeby nie były takie same, 1 dla  $K_p$ , bo przy dotychczas zebranych przebiegach nie spodziewaliśmy się dużego wzmocnienia dla tego obiektu i 10 dla  $TD$ , bo przez tyle czasu przy skoku o 15 wartości odpowiedzi skokowej nie wzrastają powyżej 0. Od dołu ograniczyliśmy wszystkie parametry zerami. Od góry ograniczyliśmy je wartościami [1000, 1000, 20, 30], tak by każdy parametr miał przedział dostosowany do swoich potrzeb (duże zmiany dla  $T_1$  i  $T_2$ , małe zmiany dla  $K_p$ ,  $TD$  sądząc po wykresach nie powinno przekroczyć 30). Jako odpowiedź toru sterowanie-wyjście do znormalizowania wybraliśmy tą dla skoku o 15, a dla toru zakłócenie-wyjście tą dla skoku o 30. W wyniku normalizacji przekształciliśmy je do odpowiedzi jakie mielibyśmy po skoku jednostkowym. Następnie po wykonaniu aproksymacji otrzymaliśmy parametry członu równe  $T_1=89,0864$ ,  $T_2=0,00031814$ ,  $K_p=0,39431$  i  $Td=14$  przy błędzie optymalizacji  $e=0,040621$  dla toru sterowanie-wyjście oraz  $T_1=40.0697$ ,  $T_2=30.9178$ ,  $K_p=0.1266$  i  $Td=14$  przy błędzie optymalizacji  $e=0,012445$  dla toru zakłócenie-wyjście. Znormalizowaną odpowiedź i ich aproksymację przedstawiliśmy na wykresach 4.1 i 4.2.





Rys. 4.1. Wykres znormalizowanej odpowiedzi skokowej i jej aproksymacji toru sterowanie-wyjście



Rys. 4.2. Wykres znormalizowanej odpowiedzi skokowej i jej aproksymacji toru zakłócenie-wyjście