



# Politechnika Wrocławska

---

Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów

*Sterowanie Procesami Ciągłymi*

---

## Sprawozdanie nr 3

### Układ Automatycznej Regulacji

---

*Prowadzący:*  
dr hab. inż. Grzegorz Mzyk

*Wykonała:*  
Zuzanna Mejer, 259382

*Termin zajęć:*  
czwartek TP, 9:15

Wrocław, 30 listopada 2022r.

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Cel ćwiczenia</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Badanie układu automatycznej regulacji w czasie ciągłym</b>	<b>2</b>
2.1	Układ automatycznej regulacji z regulatorem typu P . . . . .	2
2.2	Układ automatycznej regulacji z regulatorem typu PI . . . . .	3
2.3	Wskaźnik jakości regulacji . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Badanie układu automatycznej regulacji w czasie dyskretnym</b>	<b>6</b>
3.1	Odpowiedź UAR w zależności od czasu próbkowania . . . . .	6
3.2	Wskaźnik jakości regulacji . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Podsumowanie i wnioski</b>	<b>7</b>

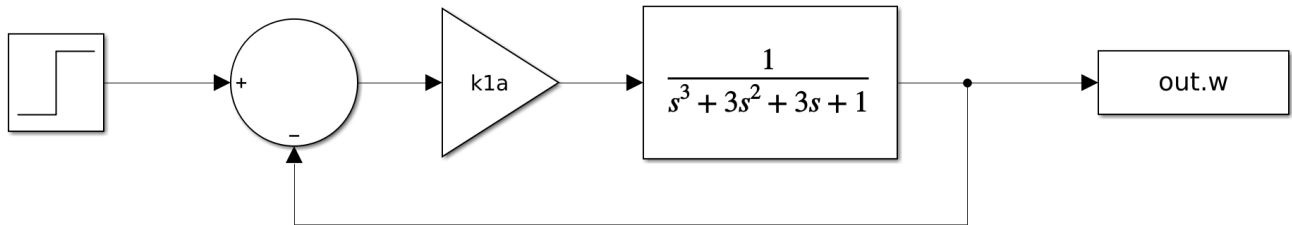
# 1 Cel ćwiczenia

Ćwiczenie było poświęcone badaniom układu automatycznej regulacji w czasie ciągłym oraz dyskretnym. Badano układy z regulatorami typu P oraz PI. Skupiono się na zależnościach między parametrami regulatorów ( $k_1, k_2$ ) a uchybem. W przypadku badań w czasie dyskretnym, analizowano wpływ czasu próbkowania  $T_d$  na uchyb.

## 2 Badanie układu automatycznej regulacji w czasie ciągłym

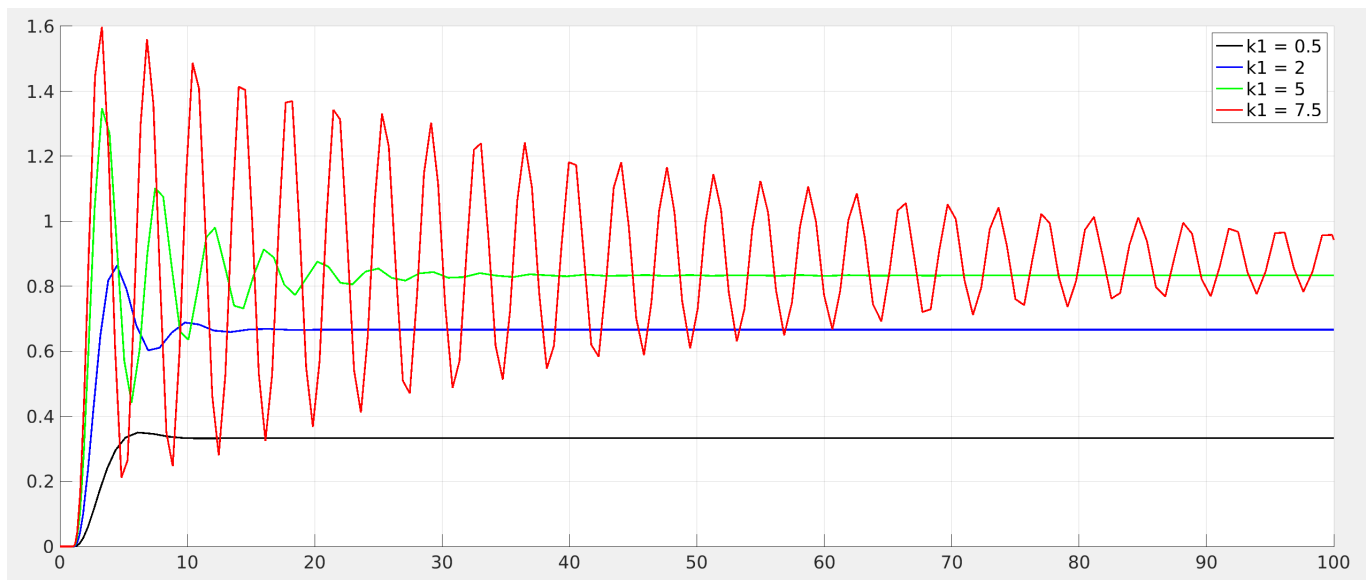
### 2.1 Układ automatycznej regulacji z regulatorem typu P

Dany jest obiekt regulacji o transmitancji  $K_O(s) = \frac{1}{(s+1)^3}$  połączony szeregowo z regulatorem proporcjonalnym o nieznanej transmitancji  $K_R(s) = k_1$ . Układ  $K_{OTW} = K_O(s) \cdot K_R(s)$  jest zamknięty sprzężeniem zwrotnym umożliwiającym powstanie uchybu regulacji  $\mathcal{E} = y_0(t) - y(t)$  jako sygnału wejścia na regulator. Schemat układu został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1: Schemat Simulink układu automatycznej regulacji z regulatorem typu P

Ten układ automatycznej regulacji jest stabilny dla  $k_1 \in (-1, 8)$ . Dla wybranych wartości  $k_1$  z przedziału stabilności  $k_1 = [0, 5; 2; 5; 7, 5]$  narysowano charakterystyki czasowe (rys. 2).

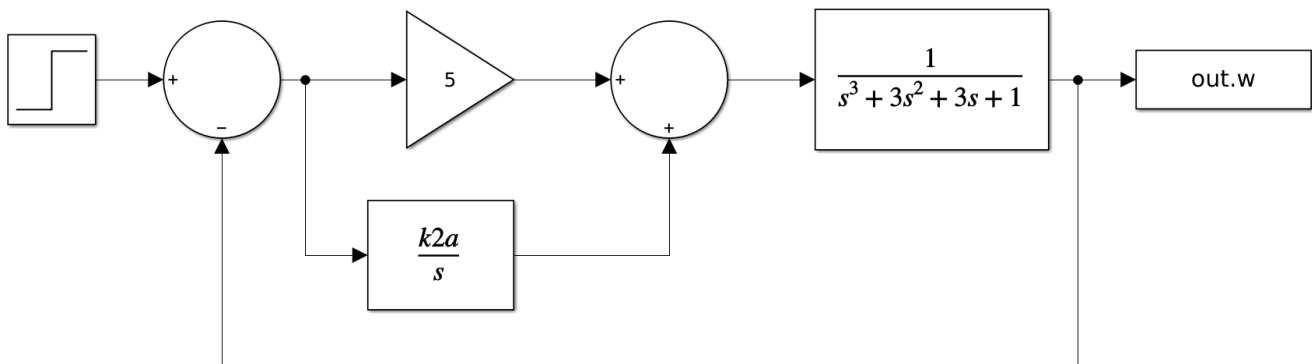


Rys. 2: Charakterystyki czasowe układu automatycznej regulacji dla wybranych wartości regulatora proporcjonalnego

Dla wartości  $k_1 = 5$  zauważa się, że układ ma przeregulowania na początku, później stabilizuje się na wartości około 0,82.

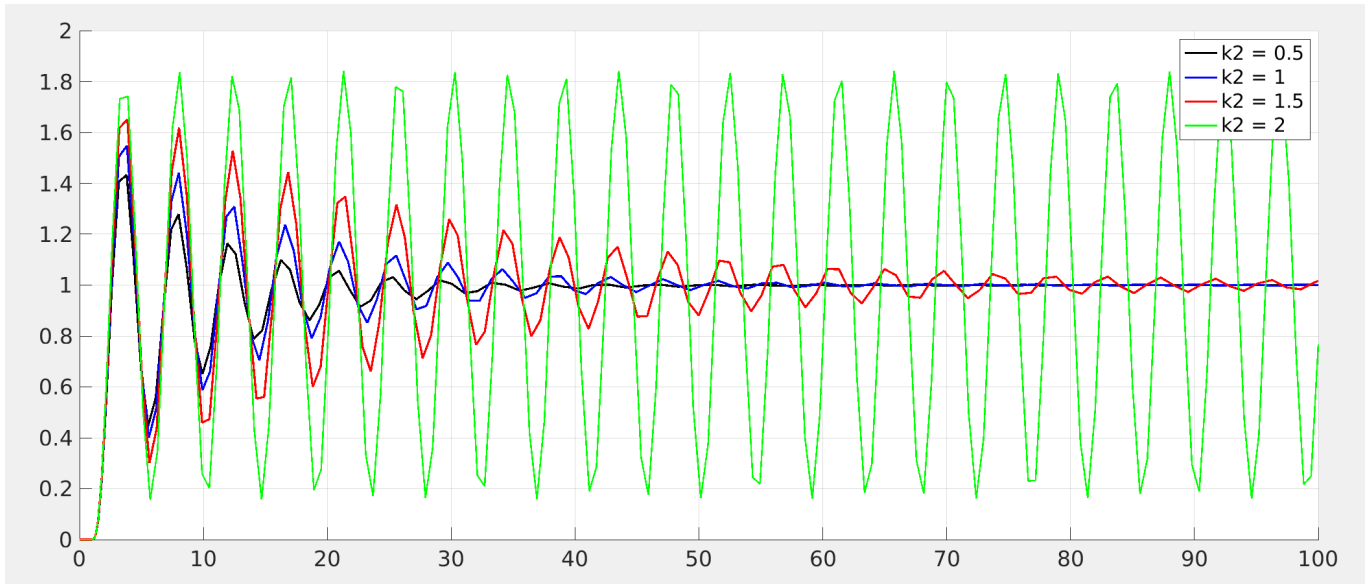
## 2.2 Układ automatycznej regulacji z regulatorem typu PI

Dla wybranej wartości  $k_1 = 5$  dołączono do regulatora równolegle gałąź z członem całkującym. Ta operacja ma na celu zmniejszenie uchybu.



Rys. 3: Schemat UAR z regulatorem typu PI

Ten UAR jest stabilny dla  $k_2 \in (0, 2)$ . Dla wybranych wartości  $k_2 = [0, 5; 1; 1, 5; 2]$  narysowano charakterystyki czasowe (rys. 4).



Rys. 4: Charakterystyki czasowe UAR z regulatorem typu PI

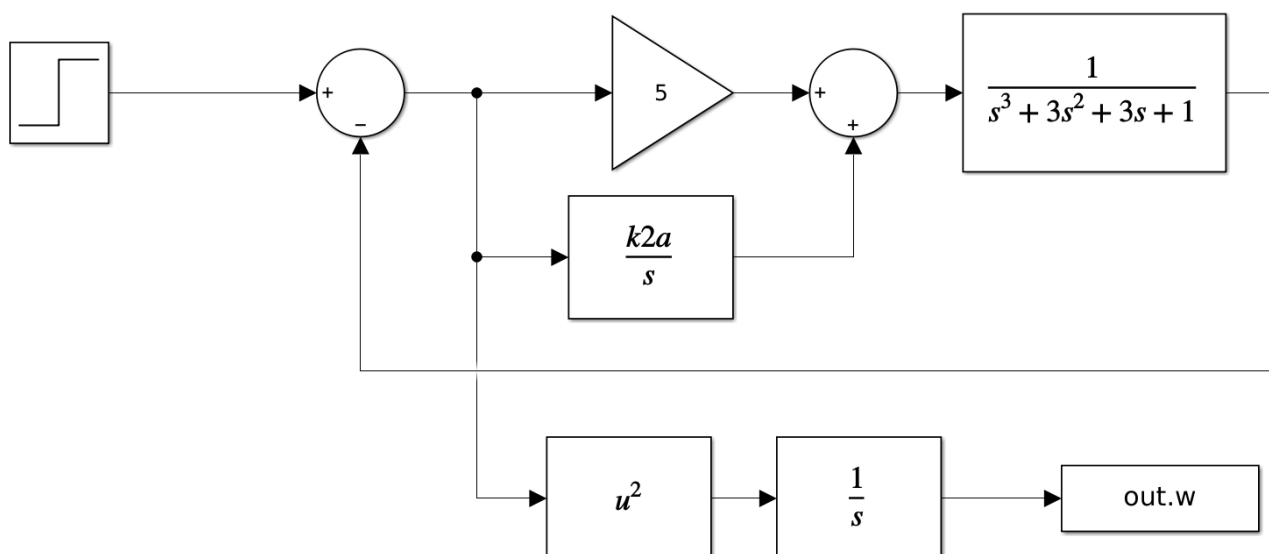
Dla  $k_2 = 2$  układ jest niestabilny. W pozostałych przypadkach dzięki dodaniu regulatora typu I, zminimalizowany został uchyb i charakterystyka czasowa stabilizuje się na wartości około 1. Im mniejsze  $k_2$  tym mniejsze przeregulowania i szybsza stabilizacja układu.

### 2.3 Wskaźnik jakości regulacji

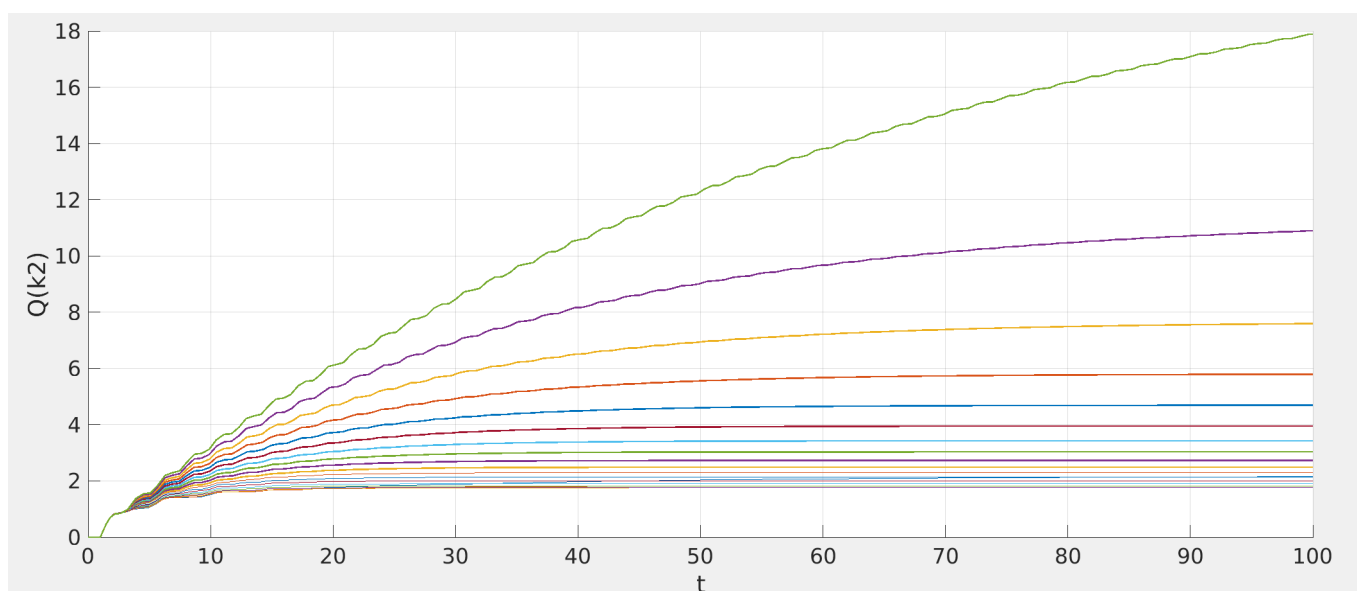
Właściwy dobór nastaw regulatora, czyli parametrów  $k_1, k_2$  zagwarantuje stabilną pracę układu regulacji automatycznej oraz odpowiednią jej jakość. Jednym ze wskaźników jakości regulacji jest całka z kwadratu uchybu:

$$Q = \int_0^{\infty} \mathcal{E}^2(t) dt \quad (1)$$

gdzie  $Q$  to wskaźnik jakości regulacji oraz  $\mathcal{E}$  to uchyb. W celu zbadania wpływu wartości  $k_2$  na parametr  $Q$ , zbudowano schemat w Simulinku (rys. 5) i wygenerowano wykres zależności  $Q(k_2)$  (rys. 6).



Rys. 5: Schemat w Simulinku do badania kryterium jakości



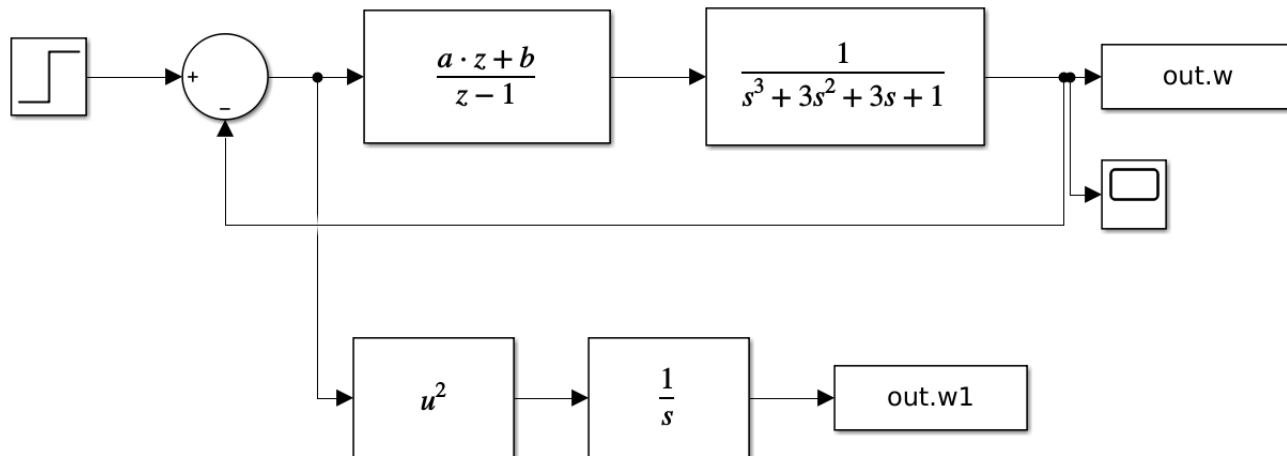
Rys. 6: Kryterium jakości w zależności od różnych wartości  $k_2$

Wartości  $k_2$  były zmieniane od 0,1 do 1,9 (czyli w granicach stabilności układu) co 0,1. Należy zaznaczyć, że tym lepsza jest jakość regulacji, im mniejsze wartości osiągają wskaźniki do badania jakości regulacji. Zatem, najlepszą jakość regulacji da układ z najmniejszą wartością  $k_2$  w granicach stabilności układu - z rysunku 6 będzie to  $k_2 = 0,1$ .

### 3 Badanie układu automatycznej regulacji w czasie dyskretnym

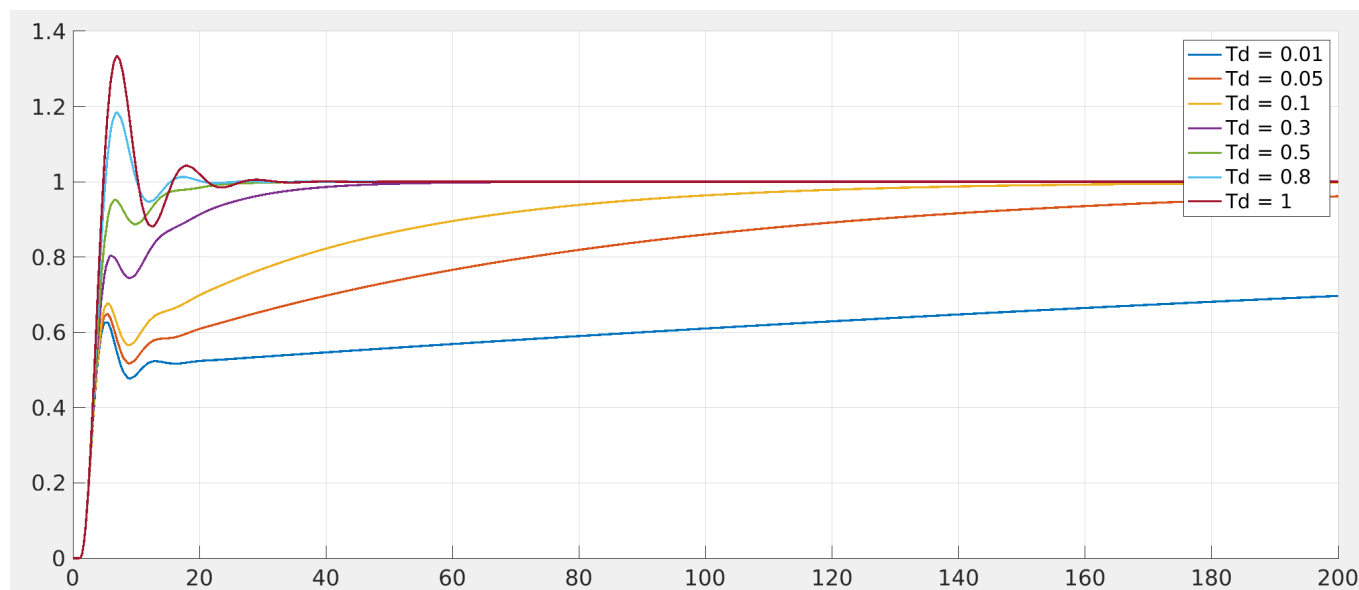
#### 3.1 Odpowiedź UAR w zależności od czasu próbkowania

Dla dyskretnego układu automatycznej regulacji typu PI i ustalonych wartości jego nastaw obserwowano wpływ różnych czasów próbkowania na charakterystykę układu dyskretnego. W tym celu utworzono schemat w Simulinku (rys. 7).



Rys. 7: Schemat w Simulinku do badania układu dyskretnego

Transmitancję regulatora zapisano w dziedzinie czasu dyskretnego:  $\frac{a \cdot z + b}{z - 1}$ , gdzie wartości  $a, b$  zostały wyznaczone przez funkcję  $c2d$ . Badania zostały przeprowadzone dla wartości regulatora  $k_1 = 1$  oraz  $k_2 = 0.5$ , od których zależy wartość regulatora dyskretnego. Na początku obserwowano charakterystykę czasową UAR dla różnych czasów próbkowania  $Td$  (rys. 8).

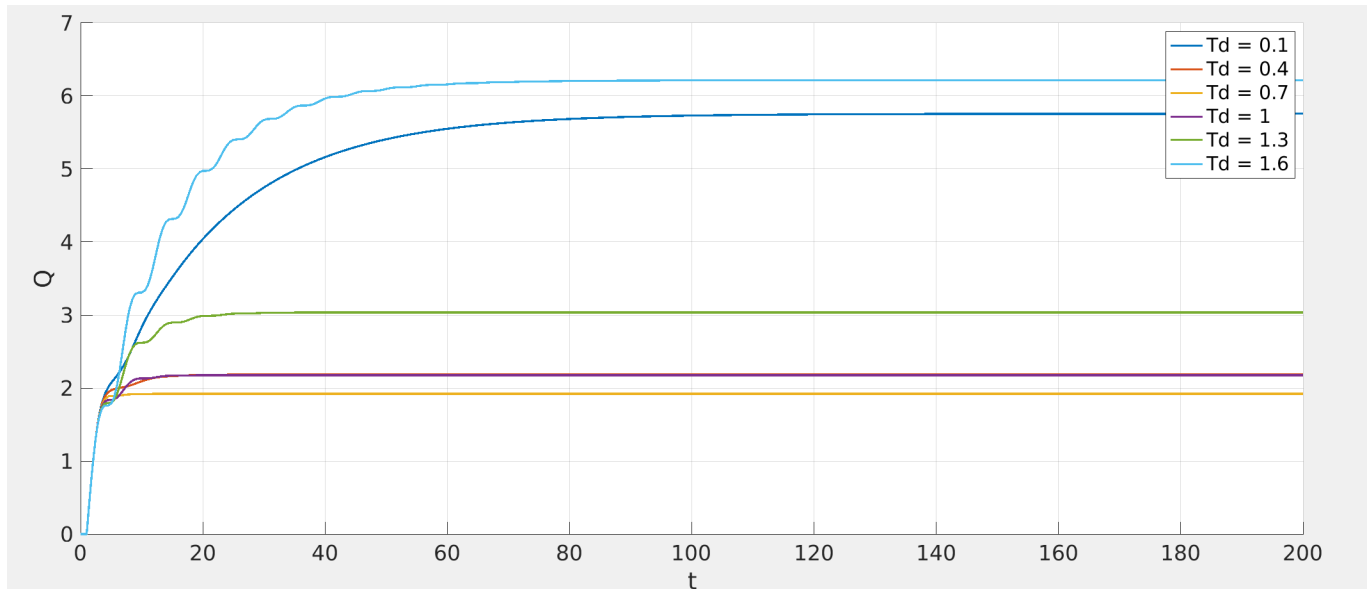


Rys. 8: Charakterystyka czasowa UAR dla różnych czasów próbkowania

Z badania wynika, że optymalne czasy próbkowania to na przykład  $T_d = 0,3$ ,  $T_d = 0,5$  czy  $T_d = 0,8$ . Dla większych wartości  $T_d$  zauważa się większe przeregulowania, podczas gdy czas stabilizacji jest porównywalny. Natomiast dla mniejszych wartości  $T_d$  czas stabilizacji znacznie się wydłuża.

### 3.2 Wskaźnik jakości regulacji

Następnie przeprowadzono badanie wskaźnika regulacji, jakim jest całka z kwadratu uchybu. Poniższe zdjęcie przedstawia zależność  $Q(T_d)$  dla różnych czasów próbkowania (rys. 9).



Rys. 9: Zależność kryterium jakości  $Q$  od czasu próbkowania  $T_d$ .

Badanie potwierdza, że optymalne czasy próbkowania (zapewniające najlepszą jakość regulacji) mieszczą się w zakresie  $T_d = [0.4, 1.3]$ . Zarówno mniejsze jak i większe wartości czasu próbkowania gwarantują gorszą jakość regulacji.

## 4 Podsumowanie i wnioski

Po przeprowadzeniu badań nad układem automatycznej regulacji wywnioskowano, że:

- regulator typu I dołączony równolegle do regulatora proporcjonalnego pozwala zmniejszyć uchyb
- całka z kwadratu uchybu pozwala wywnioskować jakość regulacji dla zadanych parametrów
- im mniejszy parametr  $k_2$  w regulatorze całkującym, tym mniejsza wartość  $Q$  (wskaźnika regulacji), czyli lepsza jakość regulacji
- czas próbkowania ma wpływ na odpowiedź UAR z regulatorem w czasie dyskretnym
- optymalne czasy próbkowania