

## 1) Treść projektu

ZADANIE: Układ regulacji poziomu w zbiorniku w oparciu o regulator PID.

Zaprojektować układ regulacji poziomu w zbiorniku w oparciu o regulator PID.

Najważniejsze założenia projektowe:

- Projekt w postaci programu PLC i wizualizacji HMI należy zrealizować w środowisku Automation Studio, natomiast symulację zbiornika zrealizować w środowisku Factory IO.
- Umożliwić obsługę podstawowych funkcji regulatora: wpisywanie nastaw, wybór struktury, praca NORMAL/REWERS, praca AUTO/MANUAL, śledzenie PV.
- Dokonać identyfikacji obiektu sterowania, wyznaczyć jego model w postaci transmitancji (układ inercyjny z opóźnieniem).
- Dobrać nastawy regulatorów P, PI, PID na podstawie modelu, korzystając z metod doboru nastaw podanych w skrypcie do wykładu (uzasadnić wybór).
- Wyznaczyć standardowe wskaźniki jakości regulacji w dziedzinie czasu, dla różnych regulatorów.

## 2) Realizacja projektu

Projekt został zrealizowany w środowisku Automation Studio V4.7, natomiast symulacja zostanie przeprowadzona w środowisku Factory I/O.

Stworzony projekt realizuje układ regulacji poziomu w zbiorniku za pomocą zaworu na odpływie i regulatora PID. W tym przypadku, otwarcie (podanie sygnału sterującego) zaworu będzie powodowało spadek wielkości regulowanej, dlatego regulator musi pracować w trybie REWERS w celu prawidłowego działania. Na podstawie zmierzonego poziomu w zbiorniku (PV – Process Variable) i wartości zadanej (SP – Set Point) jest obliczana wartość wykorzystywana do sterowania zaworem (CV – Control Variable). Jest to realizowane za pomocą algorytmu regulatora PID, do którego wykorzystano odpowiednią funkcję w środowisku Automation Studio (program w języku ST).

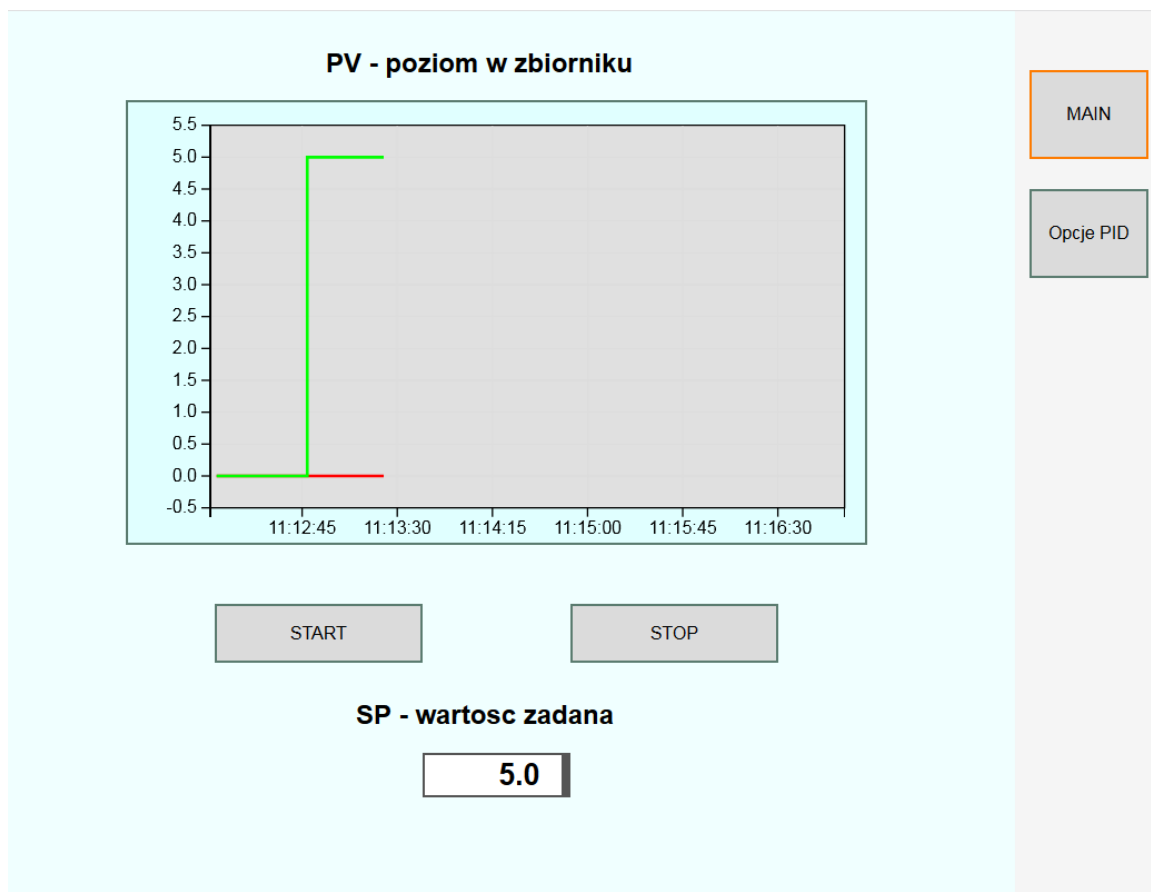
Za pomocą stworzonej wizualizacji HMI jest możliwe:

- rozpoczęcie i zatrzymanie pracy układu
- wpisywanie nastaw: parametry  $K_p$ ,  $T_i$  i  $T_d$
- wybór pracy NORMAL/REWERS
- wybór trybu pracy AUTO/MANUAL
- śledzenie PV (jako wykres wartości z ostatnich 5 minut)

Poniżej przedstawiono stworzoną wizualizację HMI. Aby ją zobaczyć i móc z niej korzystać należy otworzyć w przeglądarce internetowej adres:

[http://localhost:81/index.html?visuld=vis\\_1](http://localhost:81/index.html?visuld=vis_1)

Spowoduje to dostęp do wirtualnego sterownika z środowiska Automation Studio.



Rysunek 1 – Podgląd panelu HMI, strona główna.

**Konfiguracja regulatora**

MAIN  
Opcje PID

**Kp**  **CV manual**

**Ti**  ☐ Tryb auto ☒ **Manual**

**Td**  ☐ Tryb reverse

Rysunek 2 – Podgląd panelu HMI, zakładka „Opcje PID”.

W celu wyboru trybu Auto należy zaznaczyć odpowiednią opcję na panelu (regulator wtedy przełącza się w tryb auto, i przestaje być wyświetlana informacja o włączonym trybie Manual). W celu włączenia trybu Manual, należy odznaczyć tą opcję. Podobnie jest z włączeniem trybu REVERSE (jednak jest brak informacji że regulator pracuje w trybie normalnym – przyjęto że to jest domyślna konfiguracja).

W celu symulacji zbiornika wykorzystano Factory IO, gdzie wykorzystano gotowy szablon „Level Control”. Pozwala on na sterowanie zaworami na dopływie i odpływie zbiornika, pomiar poziomu w zbiorniku, a także przepływu cieczy na odpływie. Wszystkie te sygnały w tym środowisku przyjmują wartości z zakresu 0-10 V (i takie wartości przyjęto w programie sterującym, więc nie będzie potrzeby konwersji wartości). Dane do Factory IO są przesyłane z wykorzystaniem serwera OPC. Poniżej przedstawiono wygląd symulacji zbiornika w środowisku Factory IO.



Rysunek 3 – Wygląd symulacji zbiornika.

### 3) Identyfikacja obiektu sterowania

Na podstawie przebiegu odpowiedzi skokowej zostaną określone parametry obiektu. Przyjęto że obiekt ma postać układu inercyjnego pierwszego rzędu z opóźnieniem, więc jest transmitancja będzie miała następującą postać:

$$G_{ob}(s) = \frac{\Delta PV(s)}{\Delta CV(s)} = \frac{k_{ob}}{T_z * s + 1} * e^{-T_o * s}$$

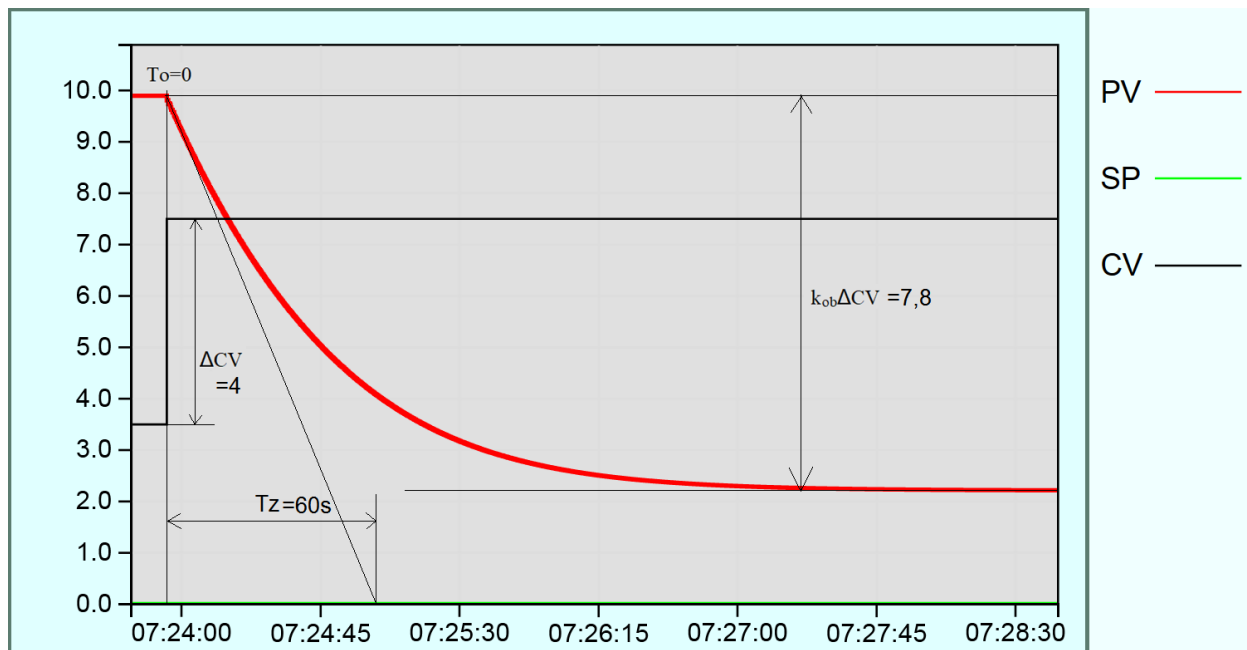
gdzie:

$k_{ob}$  – wzmacnienie obiektu, obliczane na podstawie wartości CV i wartości regulowanej w stanie ustalonym,

$T_z$  – zastępcza stała czasowa obiektu,

$T_o$  – czas opóźnienia.

Przyjęto, że w trakcie pracy zawór na dopływie jest otwarty na 50% (wartość sygnału sterującego 5V – wartość ta nie zmienia się w trakcie pracy). Charakterystykę skokową uzyskano napełniając zbiornik do wartości 100% (i szukając wartości otwarcia zaworu, gdy poziom nie spada), a następnie otwierając zawór na 75%. Poniżej przedstawiono jej przebieg z zaznaczonymi  $T_z$  i  $T_o$ .



Rysunek 4 – przebieg odpowiedzi skokowej poziomu w zbiorniku na otwarciu zaworu na odpływie.

Na jej podstawie ustalono następujące wartości parametrów:

$$k_{ob} = \frac{7,8}{4} = 1,95$$

$$T_z \approx 60,3 \text{ s} \approx 1 \text{ min}$$

$$T_o = 0 \text{ s}$$

$$G_{ob}(s) = \frac{1,95}{1 * s + 1}$$

Wynika z tego, że najlepiej będzie zastosować regulator typu P.

#### 4) Dobór nastaw regulatorów

W przypadku tego obiektu regulowanego, głównym zakłóceniem podlega poziom w zbiorniku - wielkość regulowana PV, dlatego mamy do czynienia z układem regulacji stałowartościowej. Jako kryterium regulacji przyjęto uzyskanie przebiegu przejściowego o charakterze aperiodycznym z minimalnym czasem regulacji. Korzystając z poniżej tabeli zostały obliczone nastawy regulatorów P, PI i PID (można było zastosować też inne metody doboru nastaw np. doświadczalna metoda Zieglera-Nicholsa, ale według polecenia w projekcie nastawy należało dobrać w oparciu o model obiektu).

W związku że  $T_o = 0$ , to do obliczeń wartości  $T_i$  i  $T_d$  zostanie przyjęte  $T_o = 1 \text{ s}$  (przyjęto taką wartość, ponieważ odpowiada ona czasowi odświeżania serwera OPC).

Prawdopodobnie, ze względu na tak niską wartość czasu  $T_o$ , obliczone nastawy regulatora nie będą zadowalające.

Tabela 1 – Wartości do obliczania nastaw regulatora.

Rodzaj regulacji	Kryterium jakości regulacji	Typ regulatora	$k_{ob} k_p T_0/T_z$	$T_i/T_0$	$T_d/T_0$
regulacja stało-wartościowa	$\chi = 0\%$ $\min t_r$	<i>P</i>	0.3	-	-
		<i>PI</i>	0.6	$0.8 + 0.5 T_z/T_0$	-
		<i>PID</i>	0.95	2.4	0.4
	$\chi = 20\%$ $\min t_r$	<i>P</i>	0.7	-	-
		<i>PI</i>	0.7	$1 + 0.3 T_z/T_0$	-
		<i>PID</i>	1.2	2.0	0.4
	$\min \int e^2 dt$	<i>P</i>	Nie dobiera się nastaw wg tego kryterium		
		<i>PI</i>	1.0	$1 + 0.35 T_z/T_0$	-
		<i>PID</i>	1.4	1.3	0.5
regulacja nadążna	$\chi = 0\%$ $\min t_r$	<i>P</i>	0.3	-	-
		<i>PI</i>	0.35	$1.17 T_z/T_0$	-
		<i>PID</i>	0.6	$T_z/T_0$	0.5
	$\chi = 20\%$ $\min t_r$	<i>P</i>	0.7	-	-
		<i>PI</i>	0.6	$T_z/T_0$	-
		<i>PID</i>	0.95	$1.36 T_z/T_0$	0.64
	$\min \int e^2 dt$	Nie dobiera się nastaw według tego kryterium			

Nastawy dla regulatora P:

$$k_p = 0,3 * \frac{T_z}{T_0 * k_{ob}} = 0,3 * \frac{1}{1 * 1,95} \approx 0,154$$

$$T_i = 0$$

$$T_d = 0$$

Nastawy dla regulatora PI:

$$k_p = 0,6 * \frac{T_z}{T_0 * k_{ob}} = 0,6 * \frac{1}{1 * 1,95} \approx 0,308$$

$$T_i = 0,8 * T_0 + 0,5 * T_z = 0,8 * 1 \text{ s} + 0,5 * 60 \text{ s} \approx 31$$

$$T_d = 0$$

Nastawy dla regulatora PID:

$$k_p = 0,95 * \frac{T_z}{T_0 * k_{ob}} = 0,95 * \frac{1}{1 * 1,95} \approx 0,487$$

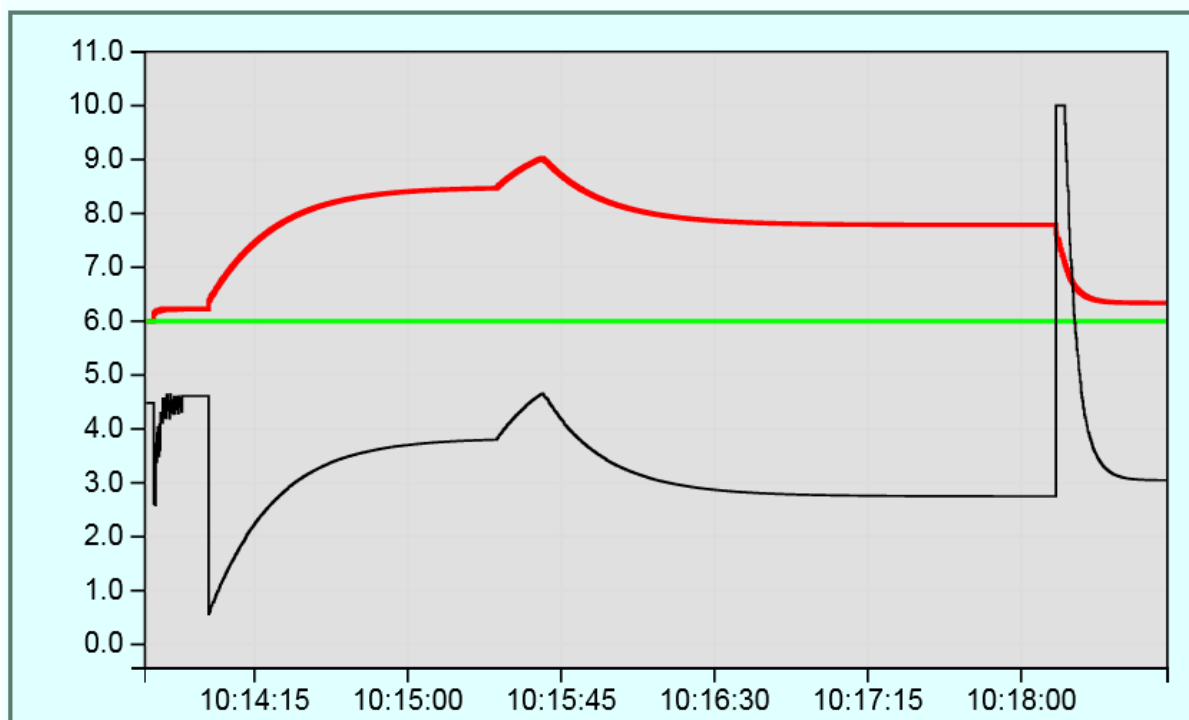
$$T_i = 2,4 * T_0 = 2,4 * 1 \approx 2,4 \text{ (wartość zdecydowanie za mała)}$$

$$T_d = 0,4 * T_0 = 0,4 * 1 \approx 0,4$$

## 5) Wskaźniki regulacji dla różnych regulatorów.

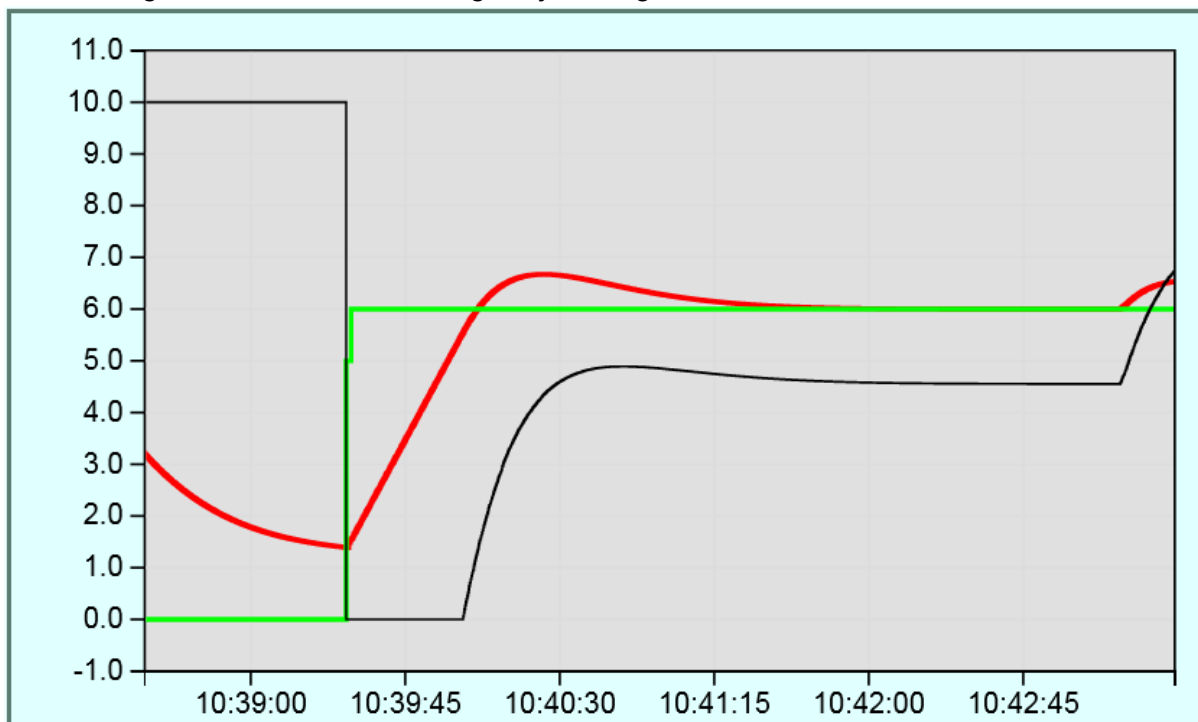
Typowe wskaźniki regulacji to: błąd statyczny, czas regulacji i przeregulowanie.  
Przyjęto że czas regulacji to czas, gdy oscylacje są mniejsze niż 5% w stanie ustalonym.

Przebiegi czasowe i wskaźniki regulacji dla regulatora P:



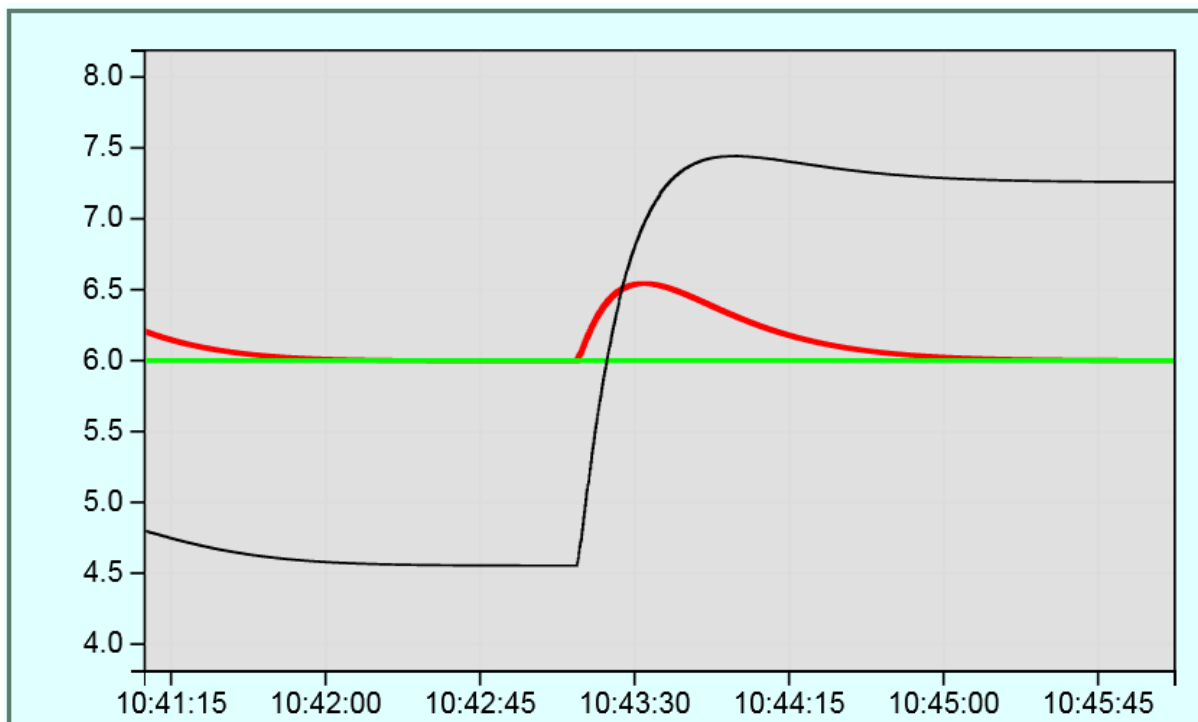
W początkowej fazie (czas ok. 10:14:00) - zmieniono wartość nastaw dla regulatora typu P ( $k_p = 0,154$ ). Skutkowało to zwiększeniem się wartości PV i CV. Można zauważyć że w stanie ustalonym jest bardzo duży uchyb statyczny (można więc uznać że nastawy były niepoprawne). W czasie 10:15:30 zasymulowano zakłócenie PV w postaci zmiany dopływu cieczy do zbiornika (najpierw wzrost, a następnie spadek – zawór dopływu otwarty na 34%). Odchyłka statyczna jest zbyt duża. W końcowej fazie (ok. 10:18:10) zmieniono nastawę  $k_p$  do wartości 0,9. Poskutkowało to zmniejszeniem odchyłki statycznej do wartości ok. 5%, przy czym nie wystąpiły oscylacje. Można stwierdzić na tej podstawie, że zastosowana metoda nie nadaje się do obiektów o opóźnieniu czasowym równym zero.

Przebiegi czasowe i wskaźniki regulacji dla regulatora PI:



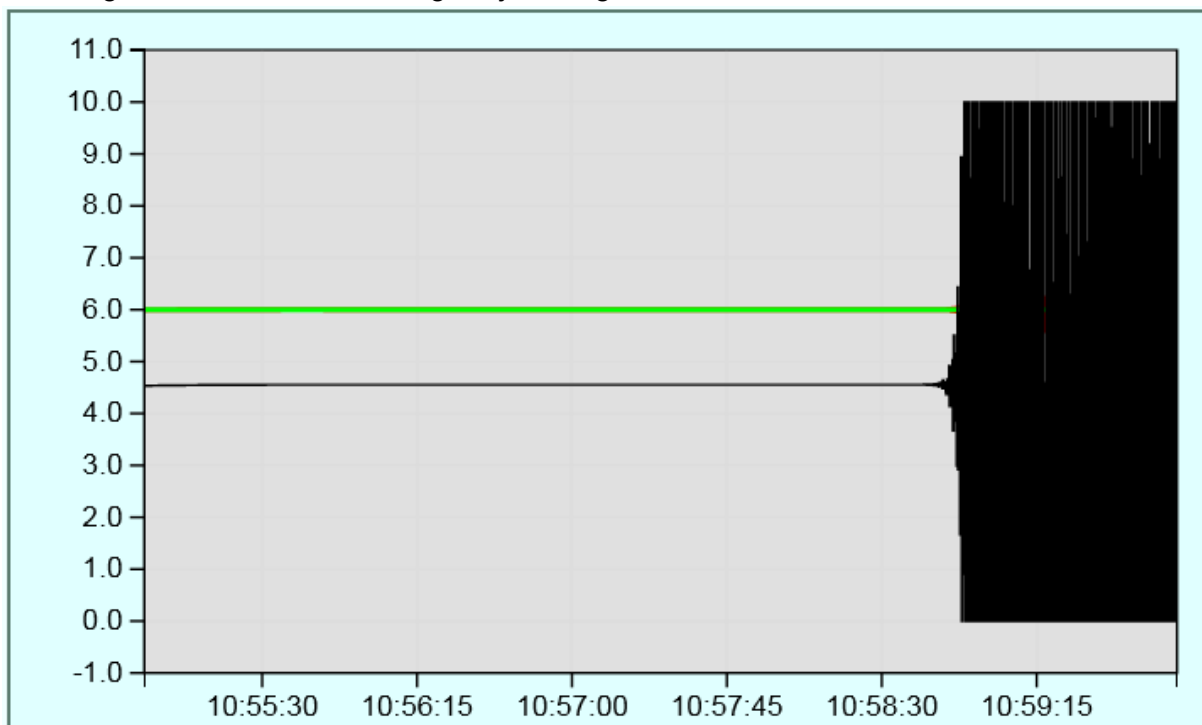
Ustawiono nastawy  $k_p = 0,308$  i  $T_i = 31$ . Początkowo zmieniono wartość zadaną z 0 do wartości 6.0 (układ nie zdążył się ustabilizować). Jak widać w stanie ustalonym odchyłka przyjmuje wartość równą zero, a w czasie regulacji nie wystąpiły oscylacje (jedynie przeregulowanie równe ok. 13%). Czas regulacji wyniósł około 90 sekund.

Następnie w czasie ok. 10:43:15 zasymulowano zakłócenie PV za pomocą zwiększenia otwarcia zaworu dopływającej cieczy do 80% (rysunek poniżej). Nie wystąpiły oscylacje przy ustalaniu się PV. Czas regulacji wyniósł ok. 54 sekund (nie jest to zła wartość).



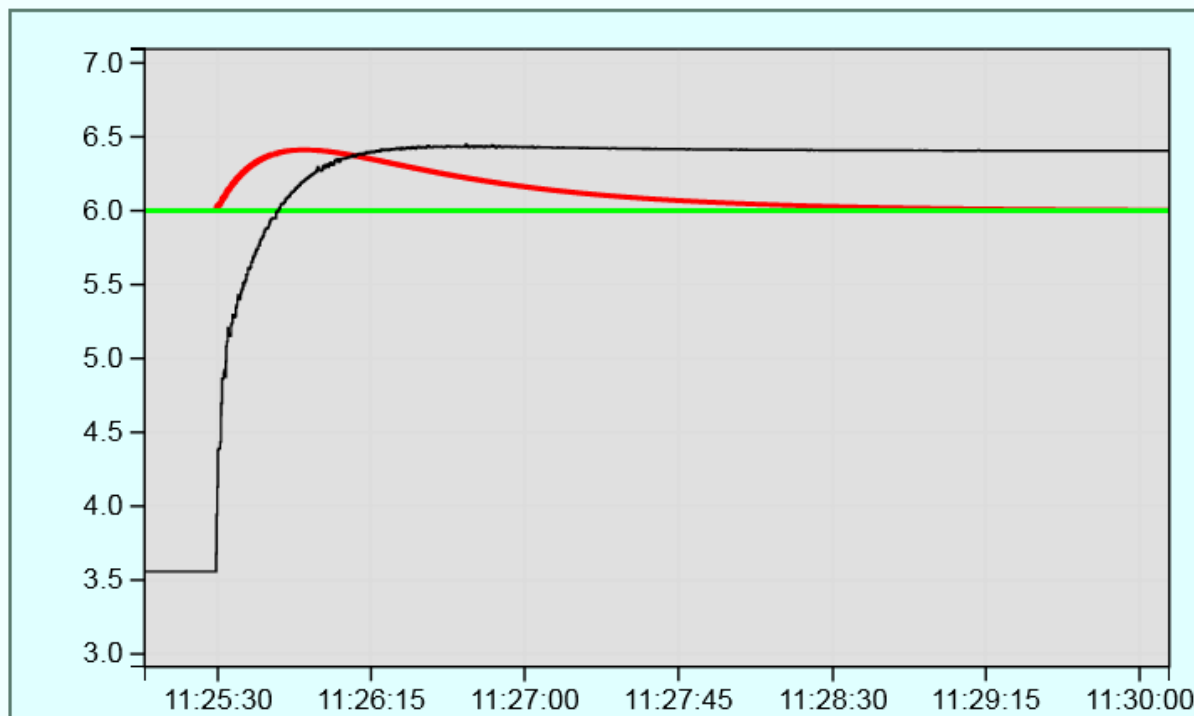
Można przyjąć że nastawy dla regulatora PI zostały poprawnie obliczone.

Przebiegi czasowe i wskaźniki regulacji dla regulatora PID:



Ustawiono nastawy  $k_p = 0,487$  i  $T_i = 2,4$  i  $T_d = 0,4$ . Po ich ustawieniu samoistnie wystąpiły oscylacje wartości CV i PV. Należy uznać te nastawy za niepoprawne.

Spróbowano ponownego testu, ale z nastawami  $k_p = 0,487$  i  $T_i = 60$  i  $T_d = 5$ . Sprawdzono te nastawy na zakłócenie wartości PV.



W ten sposób otrzymano przebieg bez oscylacji, z czasem regulacji równym około 70 sekund. Jest to gorszy wynik, niż w przypadku regulatora PI, ale nastawy nie były w żaden sposób optymalizowane i dobrane na oko.