

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z ćwiczenia laboratoryjnego nr 4

Radosław Pietkun, Jakub Gruszecki, Wojciech Rokicki

Warszawa, 2020

## Uwagi wstępne

Niektóre z poniższych zadań były wykonywane na symulowanym obiekcie stanowiska grzejąco-chłodzącego bez włączonych zakłóceń (flaga *Noise\_ON* była ustawiona na 0). Przyczyną jest późne poinformowanie nas o odpowiednim ustawieniu parametrów funkcji symulującej obiekt.

Pomiar oraz regulacja stanowiska grzejąco-chłodzącego następowała z częstotliwością  $1s$ , a stanowiska ze zbiornikami z częstotliwością  $0,1s$

# Spis treści

<b>1. Sprawdzenie możliwości sterowania i pomiaru oraz wyznaczenie punktu pracy . . . .</b>	<b>3</b>
1.1. Przykładowe sterowanie wraz z odczytem pomiarów . . . . .	3
1.2. Punkt pracy . . . . .	3
<b>2. Mechanizm zabezpieczający przed uszkodzeniem stanowiska . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>3. Implementacja regulatora DMC MIMO oraz przygotowanie odpowiedzi skokowych</b>	<b>8</b>
3.1. Implementacja DMC . . . . .	8
3.2. Odpowiedzi skokowe . . . . .	9
3.3. Strojenie DMC . . . . .	9
<b>4. Panel operatora (podpunkty 4, 5, 10, 12) . . . . .</b>	<b>16</b>
4.1. Opis . . . . .	16
4.1.1. Zawartość . . . . .	16
4.1.2. Funkcjonalności . . . . .	16
4.2. Automat stanów stanowiska grzejąco-chłodzącego . . . . .	17
4.3. Automat stanów stanowiska ze zbiornikami . . . . .	17
4.4. Wizualizacja procesu . . . . .	17
<b>5. Mechanizm zabezpieczający przed uszkodzeniem stanowiska . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>6. Implementacja wielopętlowego regulatora PID . . . . .</b>	<b>24</b>
6.1. Dobieranie nastaw PID . . . . .	24

# 1. Sprawdzenie możliwości sterowania i pomiaru oraz wyznaczenie punktu pracy

## 1.1. Przykładowe sterowanie wraz z odczytem pomiarów

Podczas testu będziemy zmieniać sygnały sterujące w następujący sposób:

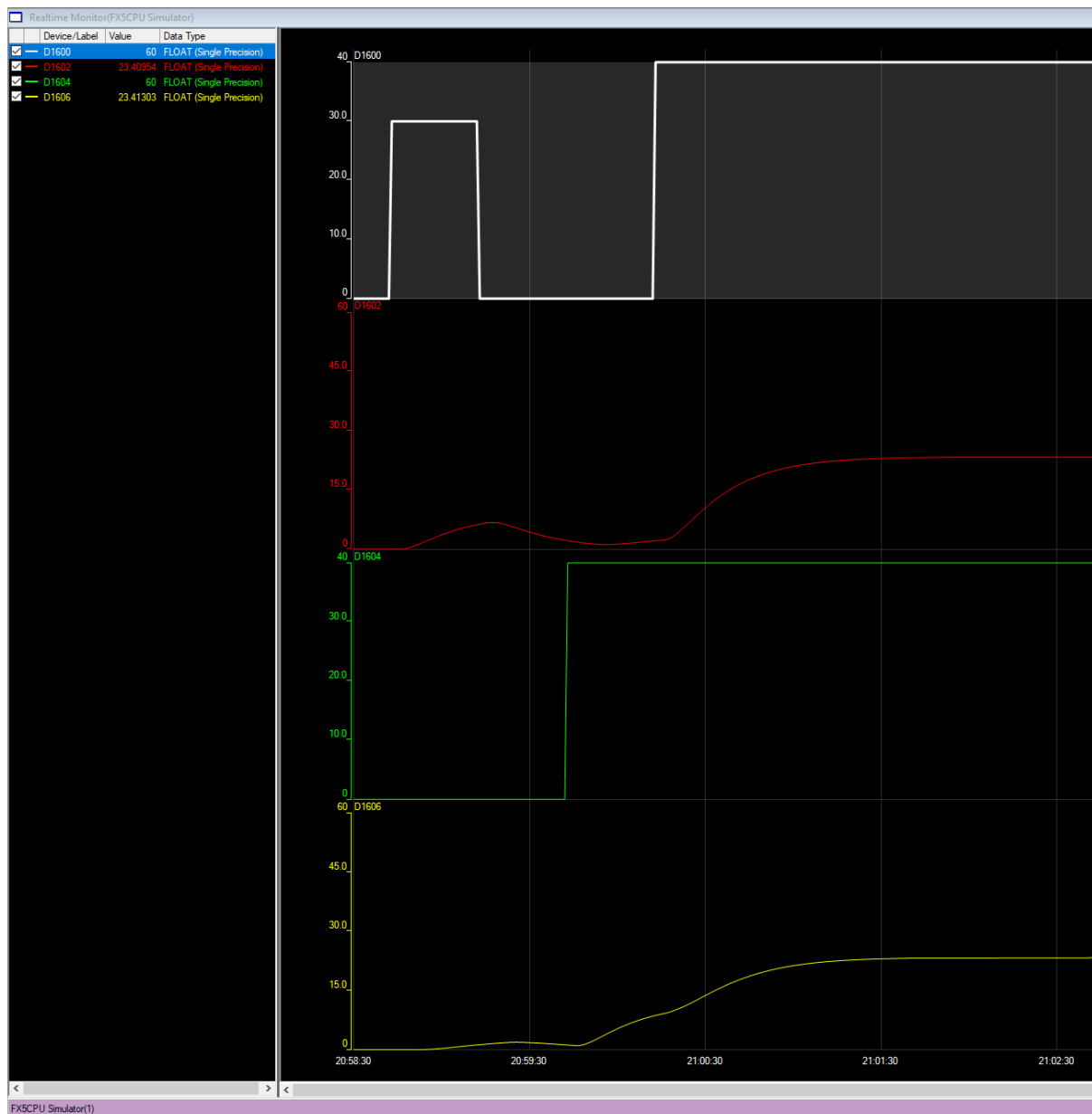
$$\begin{aligned}G1 &= 0 \wedge G2 = 0, \text{ dla } k \in < 0, 10) \\G1 &= 30 \wedge G2 = 0, \text{ dla } k \in < 10, 30) \\G1 &= 0 \wedge G2 = 0, \text{ dla } k \in < 30, 50) \\G1 &= 0 \wedge G2 = 40, \text{ dla } k \in < 50, 70) \\G1 &= 40 \wedge G2 = 40, \text{ dla } k \geq 70\end{aligned}$$

Na rys. 1.1 przedstawiono wyniki przeprowadzonej symulacji. Jak widzimy, zmiany mocy grzałek  $G1$  i  $G2$  wpływają na zmianę mierzonych temperatur  $T1$  i  $T3$ . Oznacza to, mamy możliwość sterowania i pomiaru w komunikacji ze stanowiskiem.

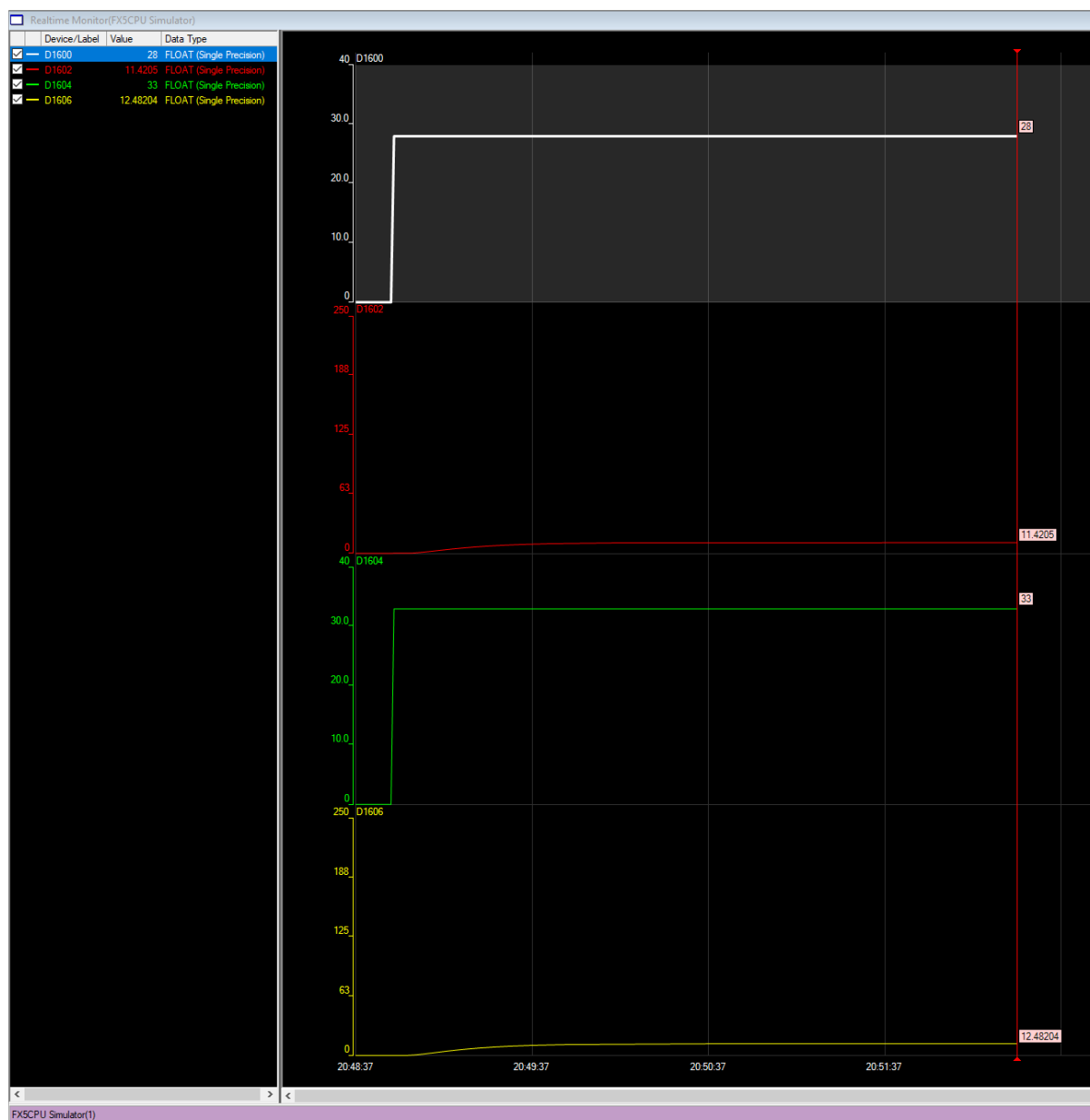
## 1.2. Punkt pracy

Zadany punkt pracy:  $G1 = 28$ ,  $G2 = 33$ . Wyniki symulacji dla tego punktu pracy przedstawiono na rys. 1.2.

Dla powyższego punktu pracy pomiary z czujników wynoszą:  $T1 = 11,4205$ ,  $T3 = 12,48204$ .



Rys. 1.1. Sprawdzenie możliwości sterowania i pomiaru w komunikacji ze stanowiskiem - Sygnały od góry:  $G1$ ,  $T1$ ,  $G2$ ,  $T3$

Rys. 1.2. Punkt pracy - Sygnały od góry:  $G1$ ,  $T1$ ,  $G2$ ,  $T3$

## 2. Mechanizm zabezpieczający przed uszkodzeniem stanowiska

W celu zabezpieczenia stanowiska w wypadku uszkodzenia czujnika (tj.  $T1$  lub  $T3$  przekroczy  $250^{\circ}C$ ) zaimplementowano poniżej przedstawiony (rys. 2.1) mechanizm zabezpieczający.

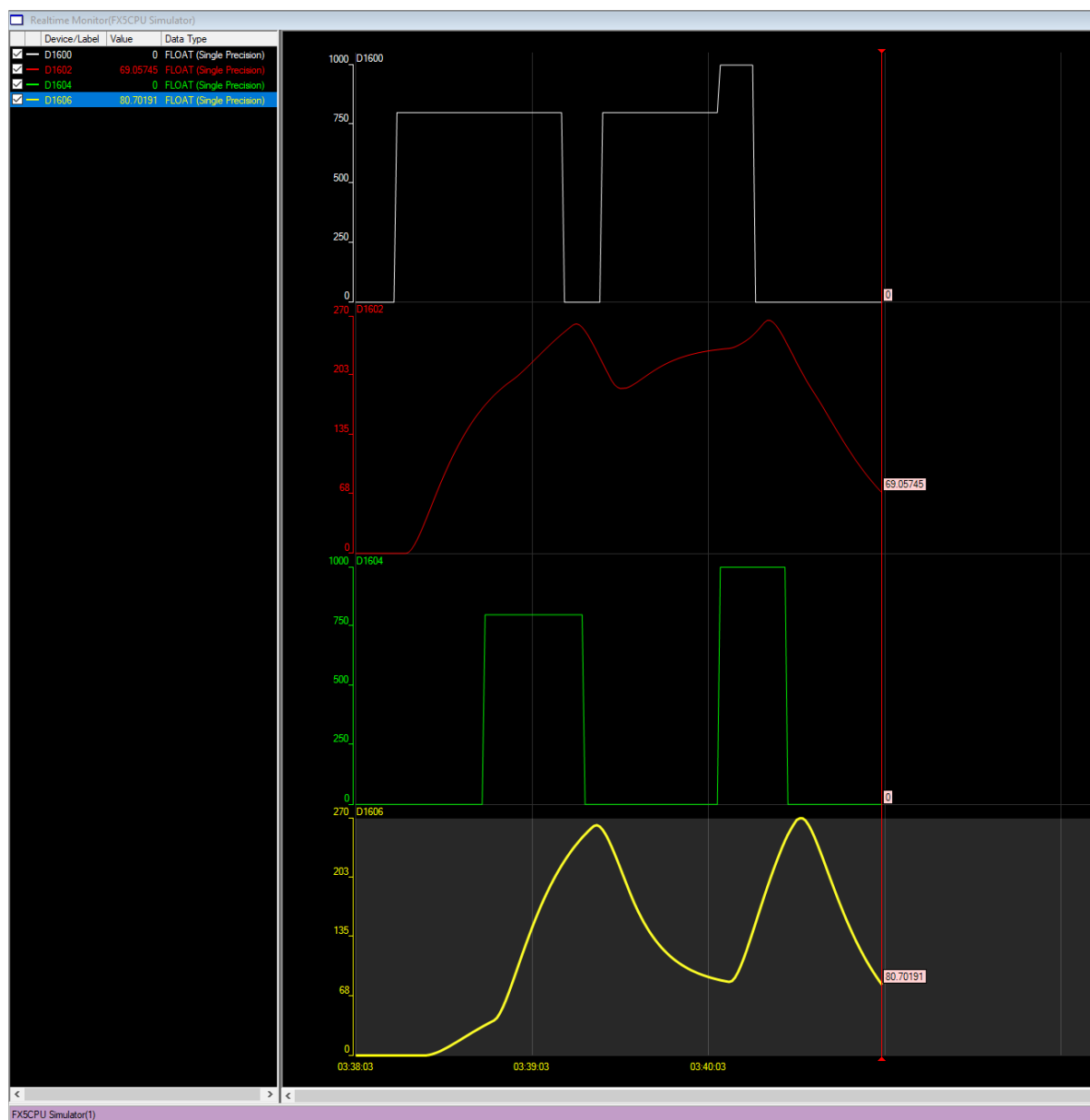
```
// Mechanizm zabezpieczający przed uszkodzeniem stanowiska

// Jeśli T1 będzie  $\geq 250$  st. C to wyłącz najbliższą grzałkę G1
≡ IF TEST_HC[2]  $\geq 250$  THEN
    // G1
    TEST_HC[1] := 0;
END_IF;

// Jeśli T3 będzie  $\geq 250$  st. C to wyłącz najbliższą grzałkę G2
≡ IF TEST_HC[4]  $\geq 250$  THEN
    // G2
    TEST_HC[3] := 0;
END_IF;
```

Rys. 2.1. Kod zabezpieczający przed uszkodzeniem stanowiska grzejąco-chłodzącego

Jak widzimy na powyższym rysunku (rys. 2.2), gdy temperatura któregoś z wyjść  $T1$  lub  $T3$  zaczyna przekraczać temperaturę  $250^{\circ}C$  to odpowiednio wyłączane są grzałki  $G1$  dla przekroczenia temperatury przez  $T1$  i  $G2$  dla przekroczenia temperatury przez  $T3$ . Dzięki temu grzałka sąsiadująca z czujnikiem, który zmierzył niebezpieczną temperaturę zostanie wyłączona.



Rys. 2.2. Wykres prezentujący działanie mechanizmu zabezpieczającego przed uszkodzeniem stanowiska grzejąco-chłodzącego



### 3. Implementacja regulatora DMC MIMO oraz przygotowanie odpowiedzi skokowych

Dzięki przeprowadzeniu eksperymentów z poprzedniego podpunktu byliśmy w stanie wyznaczyć optymalne ograniczenia wartości sterowania tzn.  $< 0, 1000 >$  dla tych wartości wyjścia obiektu oscylowały w granicach ok.  $(0, 300)^\circ C$ .

#### 3.1. Implementacja DMC

Dla regulatora DMC  $2 \times 2$  równania algorytmu przyjmą następującą postać:

$$y(k) = \begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_2(k) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$y^{\text{zad}}(k) = \begin{bmatrix} y_1^{\text{zad}}(k) \\ y_2^{\text{zad}}(k) \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$u(k) = \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$S_l = \begin{bmatrix} s_l^{11} & s_l^{12} \\ s_l^{21} & s_l^{22} \end{bmatrix}, l = 1 \dots D \quad (3.4)$$

$$M = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & \dots & 0 \\ S_2 & S_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_N & S_{N-1} & \dots & S_{N-N_u+1} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$M^P = \begin{bmatrix} S_2 - S_1 & S_3 - S_2 & \dots & S_D - S_{D-1} \\ S_3 - S_1 & S_4 - S_2 & \dots & S_{D+1} - S_{D-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{N+1} - S_1 & S_{N+2} - S_2 & \dots & S_{N+D-1} - S_{D-1} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$K = (M^T M + \lambda I)^{-1} M^T \quad (3.7)$$

$$Y^0(k) = Y(k) + M^P \Delta U^P(k) \quad (3.8)$$

$$\Delta U(k) = K(Y^{\text{zad}}(k) - Y^0(k)) \quad (3.9)$$

Prawo regulacji dla regulatora oszczędnego:

$$\Delta u(k|k) = \overline{K}_1(Y^{\text{zad}}(k) - Y(k) - M^P \Delta U^P(k)) \quad (3.10)$$

$$= \overline{K}_1(Y^{\text{zad}}(k) - Y(k)) - \overline{K}_1 M^P \Delta U^P(k) \quad (3.11)$$

$$= \sum_{i=1}^{N \cdot n_y} \overline{K}_{1,j}(Y^{\text{zad}}(k) - Y(k)) - \overline{K}_1 M^P \Delta U^P(k) \quad (3.12)$$

$$\Delta u(k|k) = \mathbf{K}_e E(k) - \mathbf{K}_u \Delta U^P(k) \quad (3.13)$$

,gdzie

$$E(k) = Y^{\text{zad}}(k) - Y(k) \quad (3.14)$$

$$\mathbf{K}_e = \sum_{i=1}^{N \cdot n_y} K_{1,i} \quad (3.15)$$

$$\mathbf{K}_u = \overline{\mathbf{K}}_1 \mathbf{M}^P \quad (3.16)$$

### 3.2. Odpowiedzi skokowe

Jako parametry regulatora DMC zostały wybrane odpowiedzi skokowe dla dwóch oddzielnych zmian wartości sterowania  $G1$  z 0 na 800 i  $G2$  z 0 na 800. Odpowiedzi skokowe obu wyjść  $T1$  i  $T3$  dla skoku  $G1$  przedstawiono na rys. 3.1, a dla skoku  $G2$  na rys. 3.2.

Po otrzymaniu powyższych odpowiedzi skokowych w programie **LogViewer** i zapisaniu ich w pliku tekstowym, a następnie poddaniu obróbce w excelu, w celu wybrania interesujących nas wartości, otrzymaliśmy następujące odpowiedzi skokowe - rys. 3.3 i rys. 3.4 (dalej wykorzystane do wyznaczenia parametrów regulatora DMC).

### 3.3. Strojenie DMC

Przy strojeniu DMC kluczową rolę odgrywała optymalizacja rozmiaru horyzontu dynamiki pod kątem zajętości rejestrów oraz czasu wykonania obliczeń do regulacji DMC na sterowniku PLC. Wielokrotnie trzeba było skracać horyzont dynamiki aby rozmiar wektora pozwalał na zakończenie pracy programu **HC\_REGULATION** (w trybie *fixed scan* z przerwaniami 1000ms) w zadanym czasie. Dla zbyt długiego horyzontu obliczenia na wektorach zajmowały zbyt dużo czasu co skutkowało błędem przedstawionym na rys.3.5.

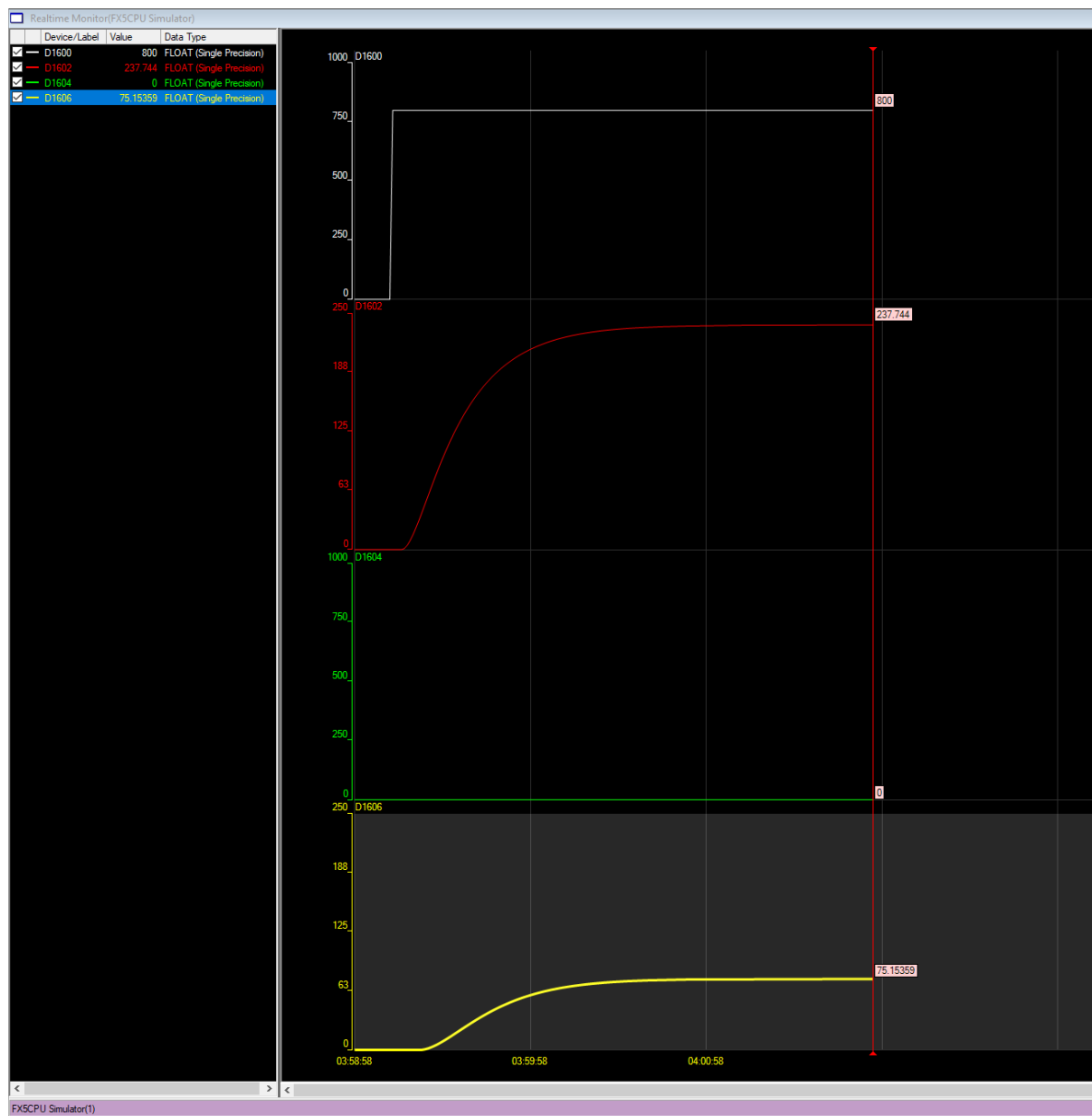
Najdłuższy horyzont dynamiki, który udało nam się użyć to  $D = 90$ . Dla takiego horyzontu dynamiki przyjęliśmy najdłuższe możliwe horyzonty predykcji i sterowania ( $N = 90$ ,  $N_u = 90$ ), ponieważ nie wpływało to na spowolnienie działania symulacji oszczędnego regulatora DMC w środowisku **GxWorks**.

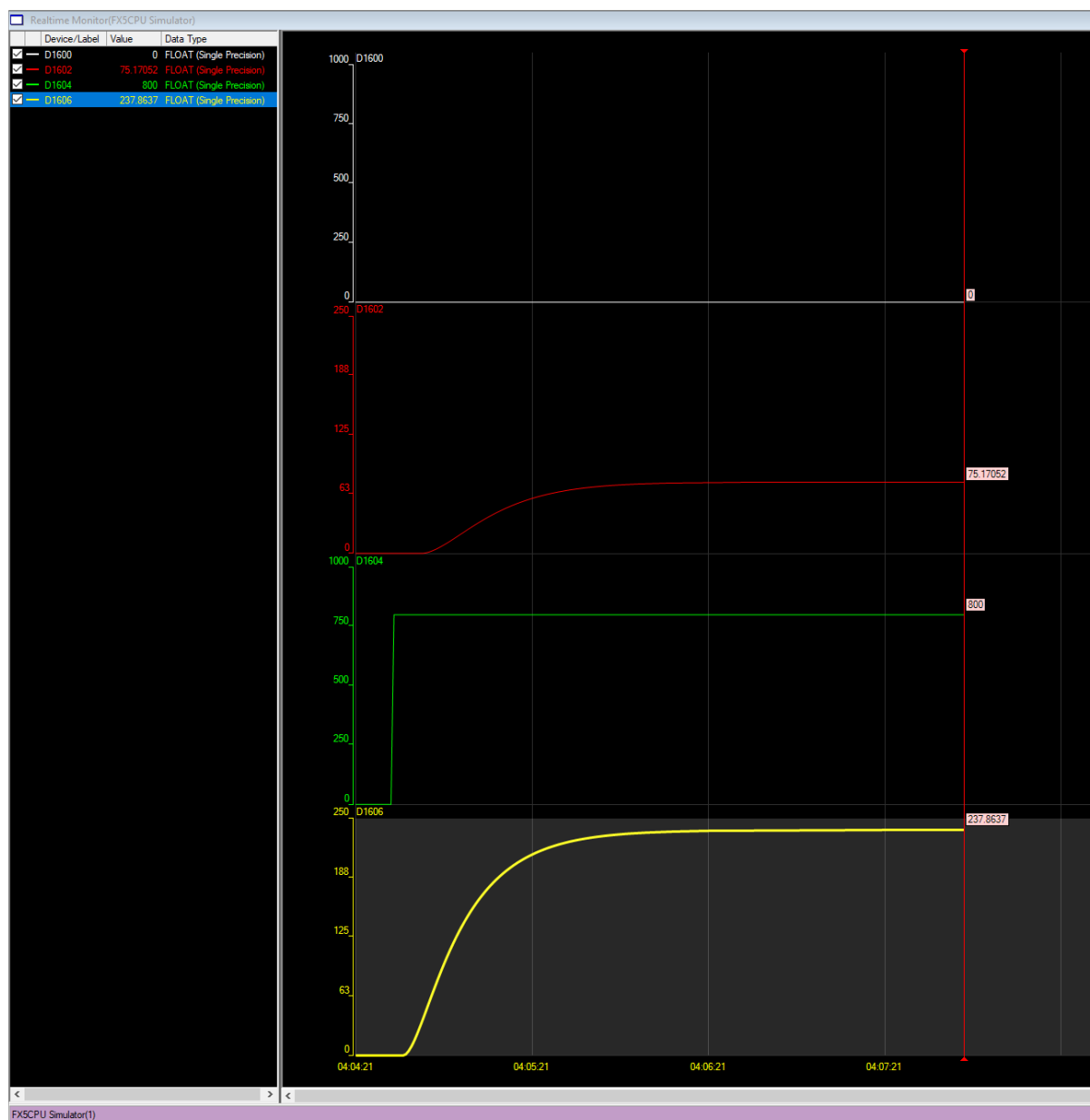
W programie **INIT** następuje inicjalizacja, potrzebnych do regulacji DMC, parametrów (wygenerowanych w programie **MATLAB** - skrypt **matlab/DMC\_CALC.m**), po czym następuje regulacja obiektu w programie **HC\_REGULATION**.

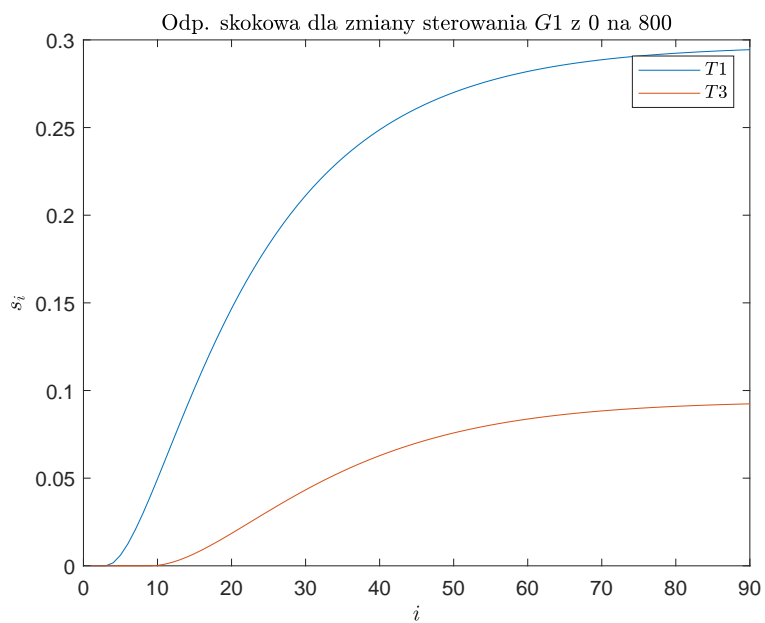
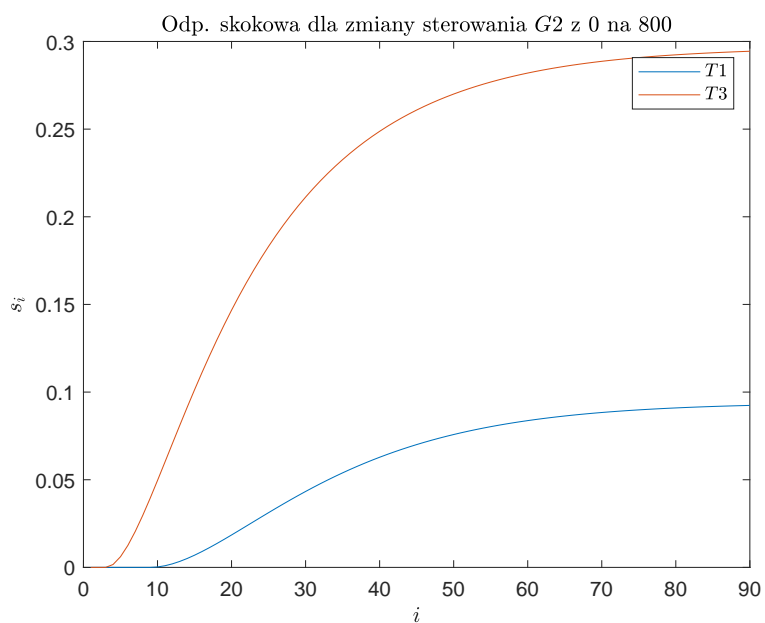
Dla przyjętych początkowych wartości  $\lambda = 1$  regulacja była satysfakcjonująca (rys.3.6), jednak dla  $\lambda = 10$  kosztem szybkości regulacji byliśmy w stanie otrzymać łagodniejsze sterowanie oraz mniejsze przeregulowanie (rys.3.7). Przy większych wartościach współczynnika kary  $\lambda$  regulator był zbyt powolny.

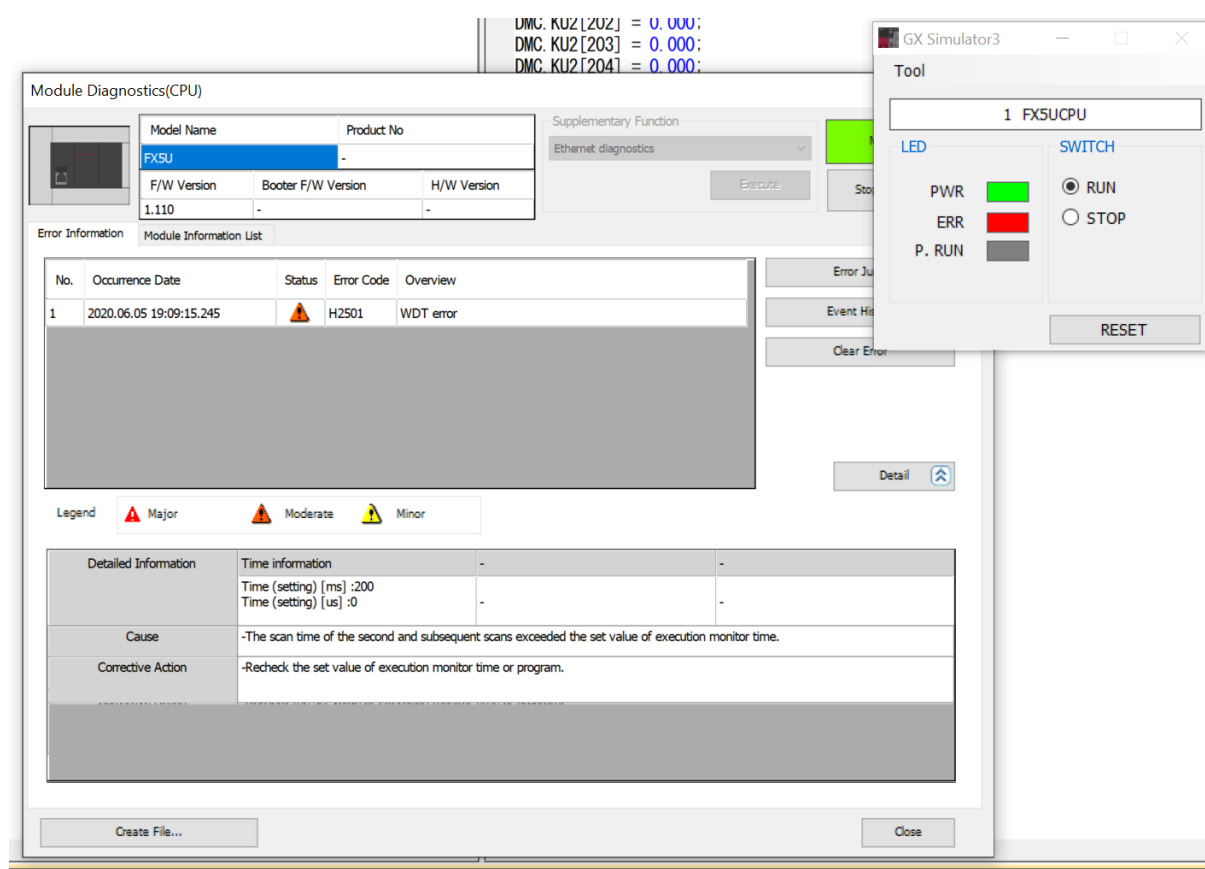
Tor wartości zadanych dla rysunków przedstawiających proces regulacji:

$$\begin{aligned} T1 &= 0 \wedge T3 = 0, \text{ dla } k \in < 0, 10) \\ T1 &= 11,42 \wedge T3 = 12,48, \text{ dla } k \in < 10, 120) \\ T1 &= 54 \wedge T3 = 20, \text{ dla } k \in < 120, 240) \\ T1 &= 150 \wedge T3 = 170, \text{ dla } k \in < 240, 480) \\ T1 &= 22 \wedge T3 = 30, \text{ dla } k \geq 480 \end{aligned}$$

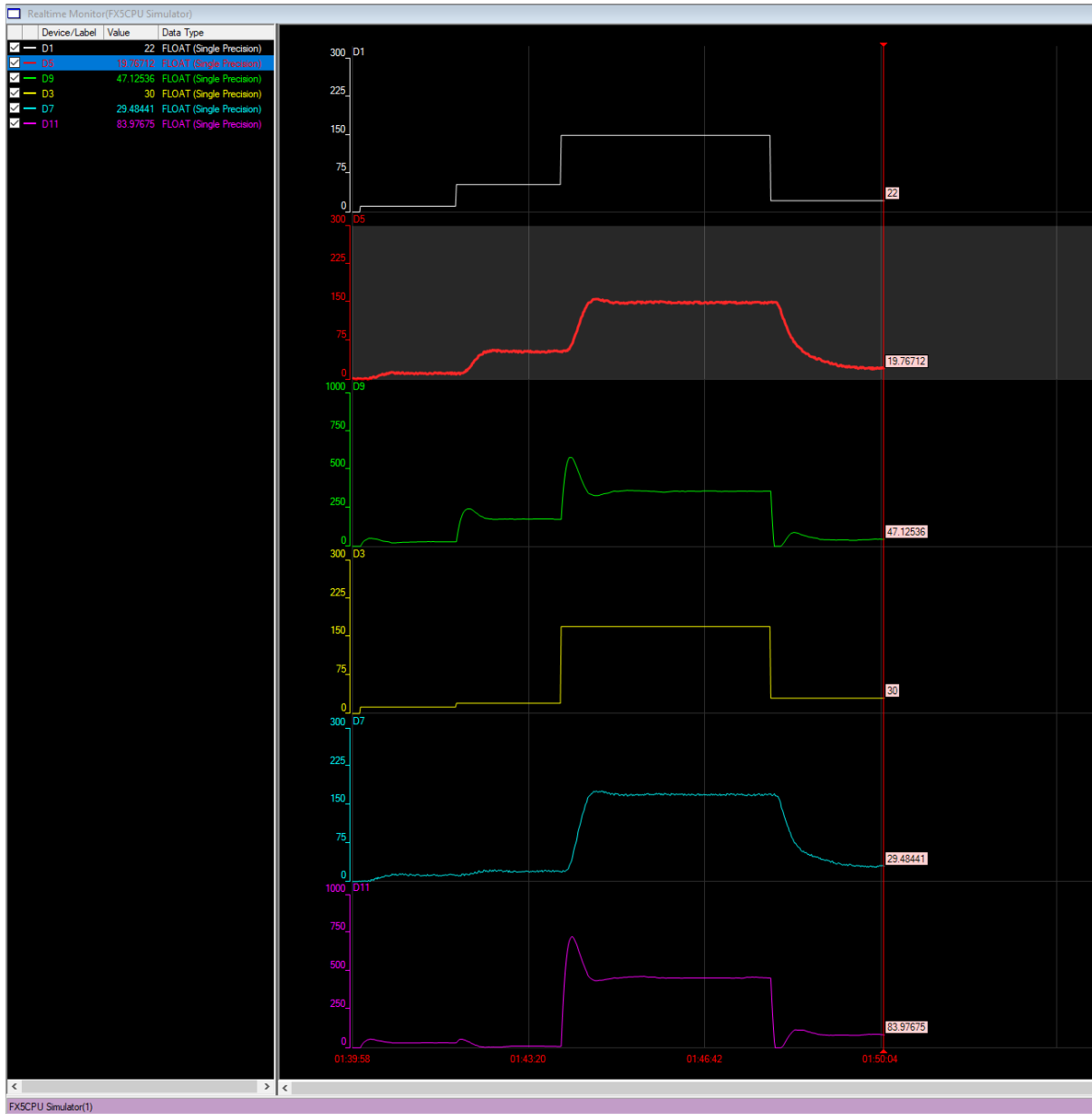
Rys. 3.1. Odpowiedź skokowa dla zmiany sygnału sterowania  $G1$  z 0 na 800

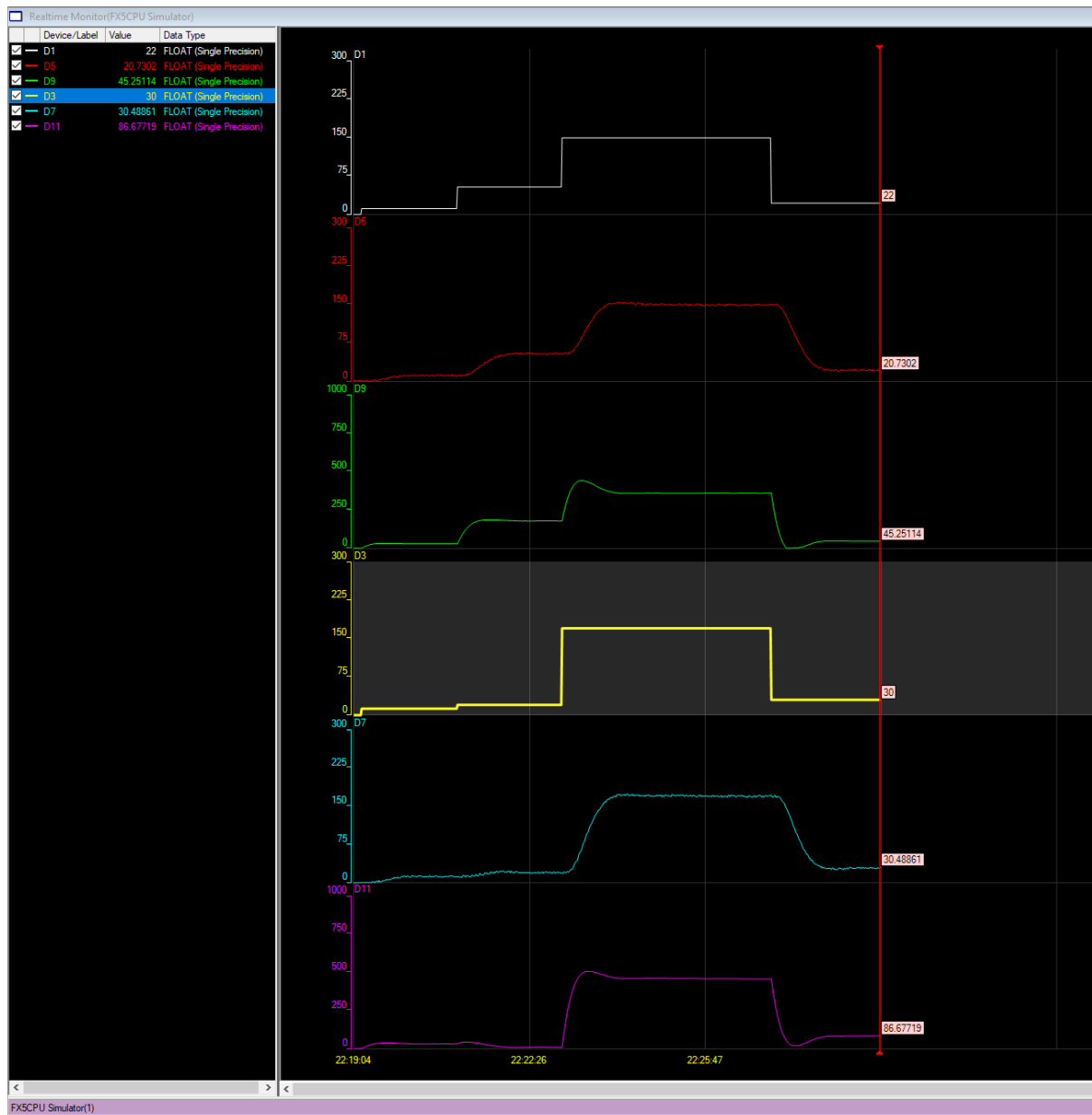
Rys. 3.2. Odpowiedź skokowa dla zmiany sygnału sterowania  $G_2$  z 0 na 800

Rys. 3.3. Odpowiedź skokowa dla zmiany sygnału sterowania  $G1$  z 0 na 800Rys. 3.4. Odpowiedź skokowa dla zmiany sygnału sterowania  $G2$  z 0 na 800



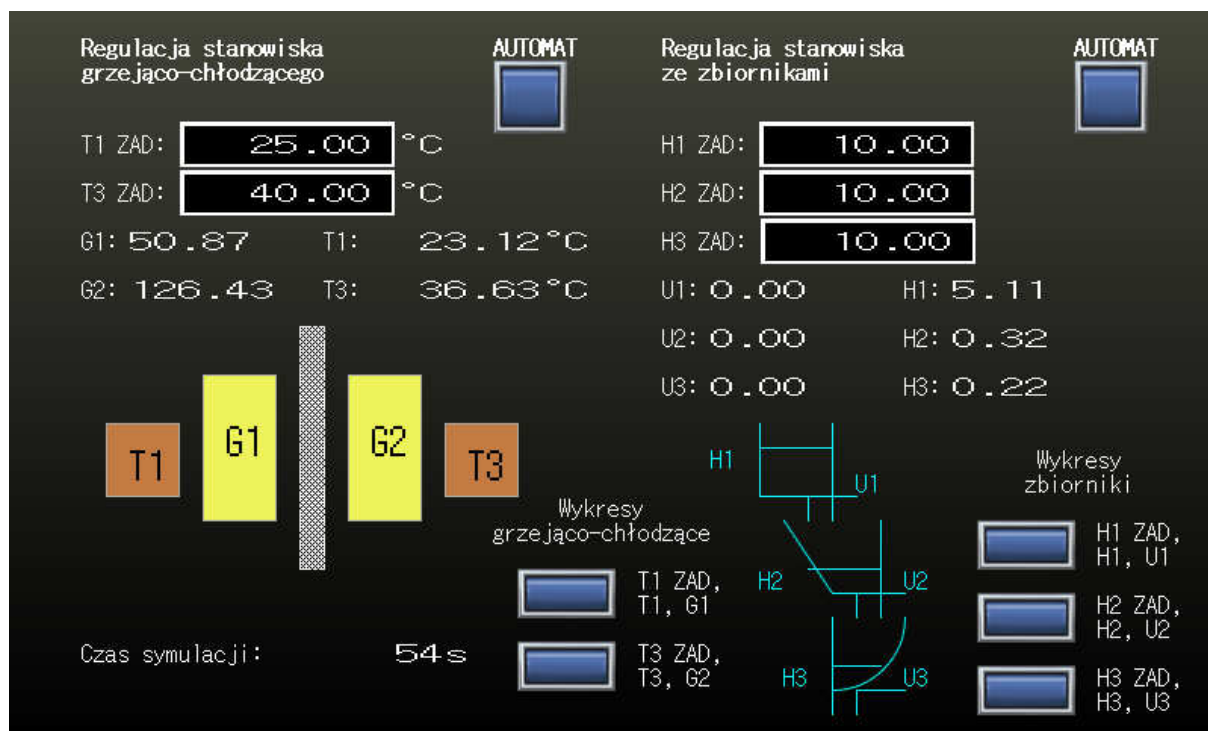
Rys. 3.5. Błąd przekroczenia czasu wykonania programu

Rys. 3.6. Regulacja dla DMC z parametrami  $D = 90$ ,  $N = 90$ ,  $N_u = 90$ ,  $\lambda = 1$

Rys. 3.7. Regulacja dla DMC z parametrami  $D = 90$ ,  $N = 90$ ,  $N_u = 90$ ,  $\lambda = 10$



## 4. Panel operatora (podpunkty 4, 5, 10, 12)



Rys. 4.1. Panel HMI dla operatora pozwalający wprowadzać zadane wartości na wyjściach

### 4.1. Opis

#### 4.1.1. Zawartość

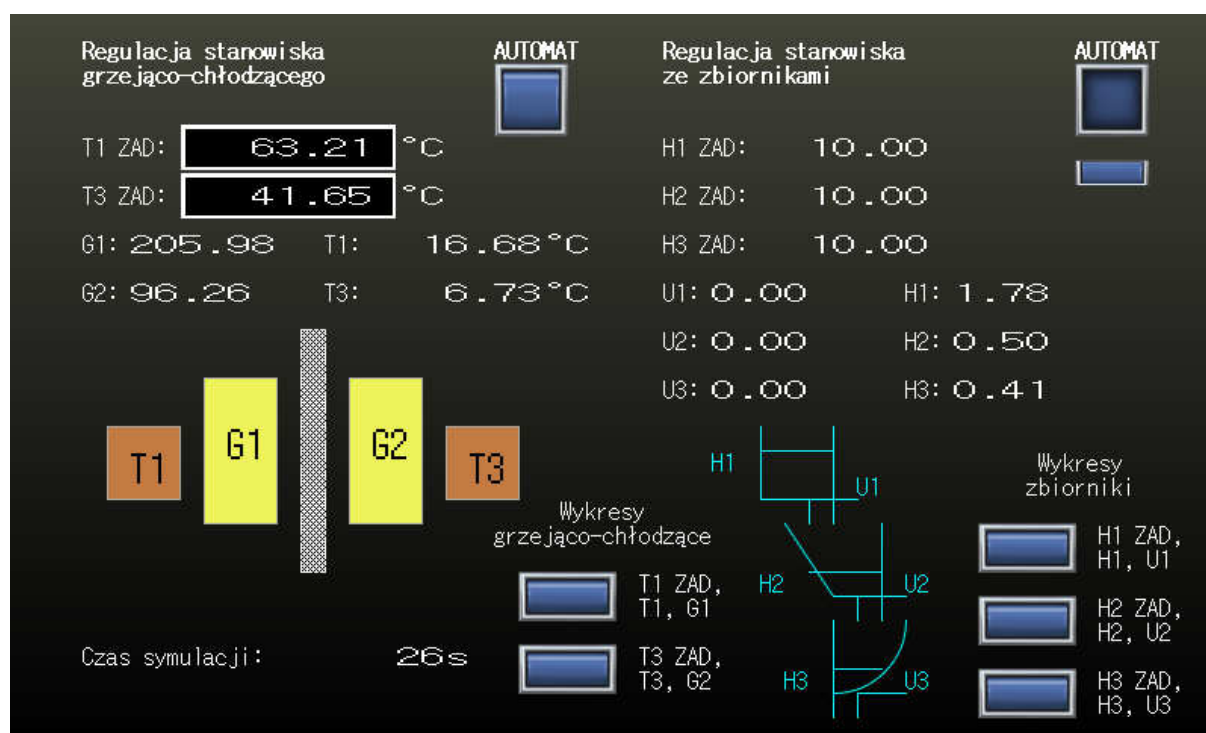
Na rys.4.1 został przedstawiony panel operatorski zaprojektowany w środowisku GT DESIGNER. Na pulpicie postanowiliśmy zawrzeć takie informacje jak sygnały wejściowe i wyjściowe procesów oraz wartości zadane. Cały ekran jest "podzielony" na lewą - odnoszącą się do stanowiska grzejąco-chłodzącego - i prawą - odnoszącą się do stanowiska ze zbiornikami - część. W lewym dolnym rogu możemy obserwować czas symulacji wyrażony w sekundach. W dolnej części każdej ze stron znajduje się niewielki rysunek symbolizujący schemat regulowanego procesu.

#### 4.1.2. Funkcjonalności

Dzięki panelowi operatorskiemu jesteśmy w stanie wprowadzać ręcznie wartości zadane dla odpowiednich wyjść procesów i na bieżąco obserwować zmiany sygnałów sterujących oraz wyjść.

## 4.2. Automat stanów stanowiska grzejąco-chłodzącego

Po przyciśnięciu przycisku AUTOMATON (rys. 4.2) następuje przejście pracy regulacji stanowiska w tryb automatu. W trybie pracy automatu następuje cykliczne przechodzenie między 3 stanami w których to po osiągnięciu, specyficznych dla danego stanu, wartości zadanych na wyjściach, po upływie 30 sekund następuje przejście do kolejnego stanu. Graf stanów został przedstawiony na rys. 4.3 do którego na panelu hmi możemy się dostać za pomocą przycisku pojawiającego się w momencie przejścia w tryb automatu. Na grafie stan w którym znajduje się automat jest zaznaczany na zielono.



Rys. 4.2. Przełączenie pracy regulacji stanowiska w tryb automatu

## 4.3. Automat stanów stanowiska ze zbiornikami

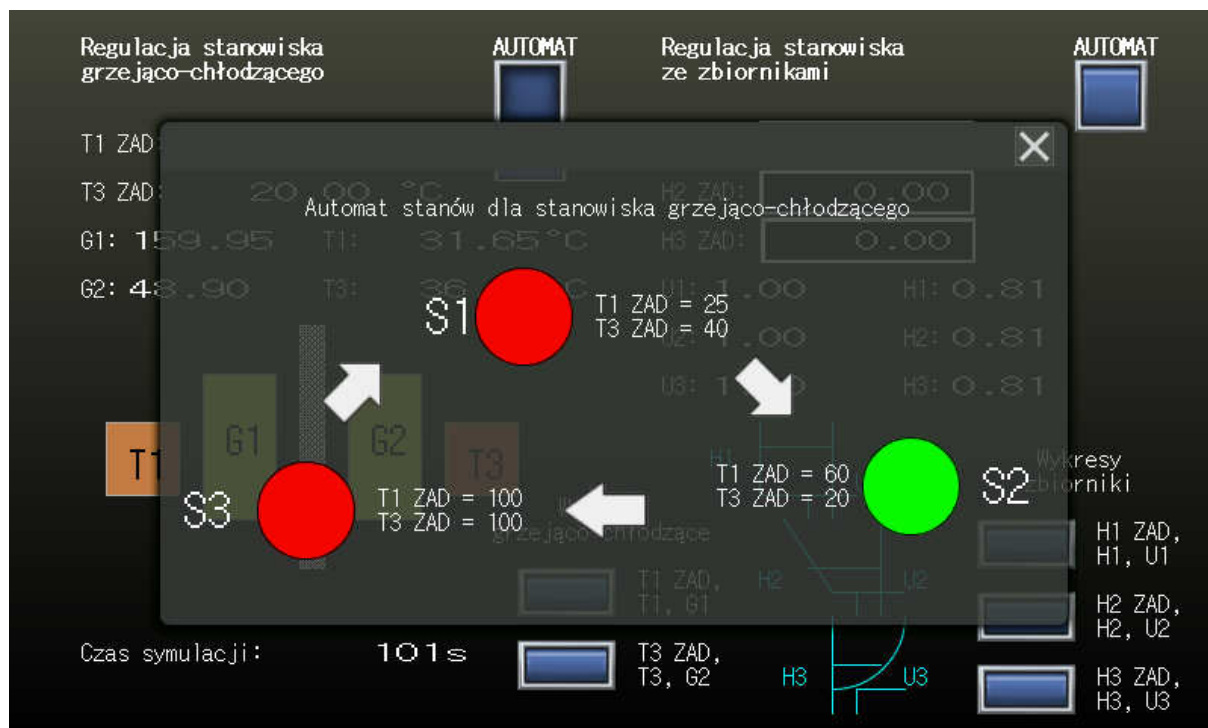
Analogicznie jak w przypadku powyższym. Czas 30 sekund w punkcie pracy jest odmierzany (inkrementowany) w kodzie programu regulacji stanowiska grzejąco-chłodzącego (inkrementacja co 1 sekundę).

## 4.4. Wizualizacja procesu

Na rys.4.1 w dolnej części każdej połowy pod napisem "Wykresy ..." znajdują się przyciski otwierające okno z wykresami odpowiadającymi sygnałom zapisanym obok przycisków. Dzięki temu możemy obserwować zmianę sygnałów od bieżącej chwili na wykresie, w oknie 120 sekund pracy regulatora.

### 4.4.1. Uwagi

Niestety z powodu ograniczenia liczby sygnałów na jednym wykresie (do 4 sygnałów) postanowiliśmy podzielić wizualizację. Dodatkowo aby przedstawić na jednym wykresie sygnał



Rys. 4.3. Graf automatu stanów stanowiska grzejąco-chłodzącego przedstawiony na panelu HMI

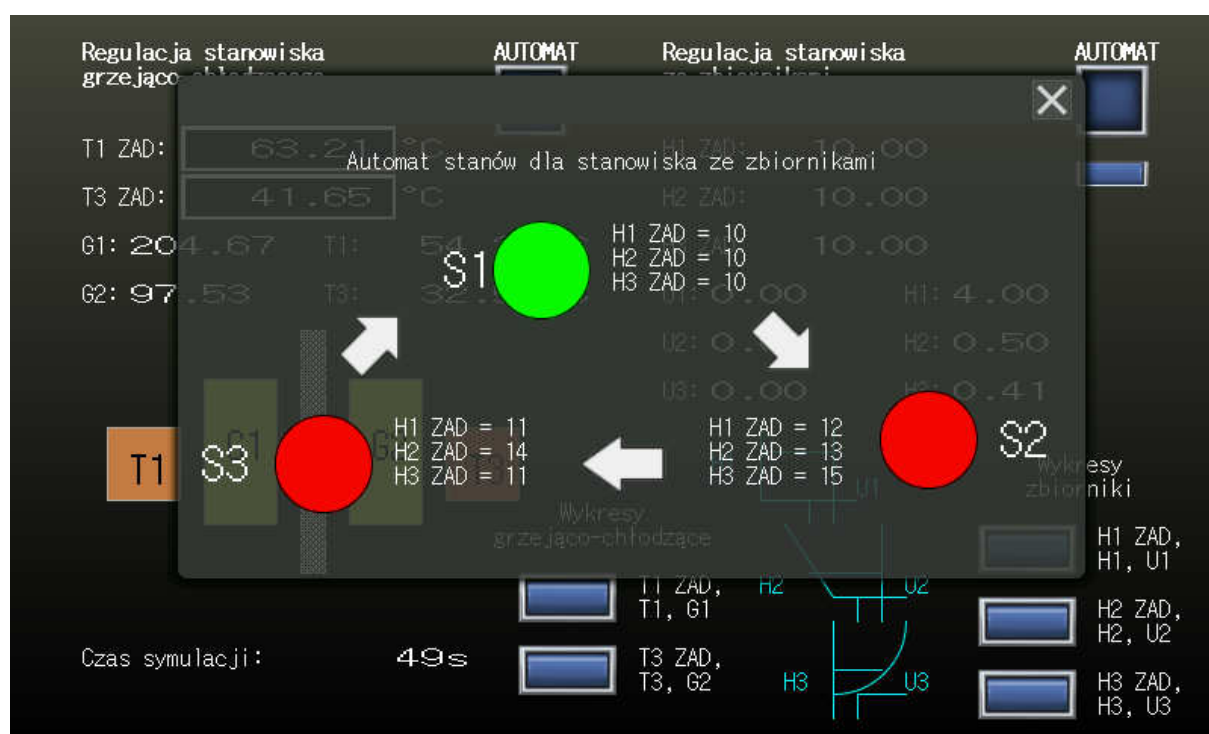
wyjściowy i wejściowy, w celu czytelności pomnożyliśmy sygnały wejściowe przez odpowiednie współczynniki.

```

21 // Automat zmieniający wartości zadane
22 IF HC_AUTO_FLAG = 1 THEN
23   CASE HC_AUTO_STATE OF
24     1:
25       DMC.SV1 := 25.0;
26       DMC.SV2 := 40.0;
27       HMI_HC_S3 := 0;
28       HMI_HC_S1 := 1;
29       IF ABS(DMC.SV1 - DMC.PV1) <= 1.5 AND ABS(DMC.SV2 - DMC.PV2) <= 1.5 OR HC_COUNT_START THEN
30         HC_COUNT_START := 1;
31         HC_AUTO_COUNT := HC_AUTO_COUNT + 1;
32         IF HC_AUTO_COUNT >= HC_AUTO_REG_SUSTAIN_TIME THEN
33           HC_AUTO_COUNT := 0;
34           HC_COUNT_START := 0;
35           HC_AUTO_STATE := 2;
36         END_IF;
37       END_IF;
38     2:
39       DMC.SV1 := 60.0;
40       DMC.SV2 := 20.0;
41       HMI_HC_S1 := 0;
42       HMI_HC_S2 := 1;
43       IF ABS(DMC.SV1 - DMC.PV1) <= 1.5 AND ABS(DMC.SV2 - DMC.PV2) <= 1.5 OR HC_COUNT_START THEN
44         HC_COUNT_START := 1;
45         HC_AUTO_COUNT := HC_AUTO_COUNT + 1;
46         IF HC_AUTO_COUNT >= 30 THEN
47           HC_AUTO_COUNT := 0;
48           HC_COUNT_START := 0;
49           HC_AUTO_STATE := 3;
50         END_IF;
51       END_IF;
52     3:
53       DMC.SV1 := 100.0;
54       DMC.SV2 := 100.0;
55       HMI_HC_S2 := 0;
56       HMI_HC_S3 := 1;
57       IF ABS(DMC.SV1 - DMC.PV1) <= 1.5 AND ABS(DMC.SV2 - DMC.PV2) <= 1.5 OR HC_COUNT_START THEN
58         HC_COUNT_START := 1;
59         HC_AUTO_COUNT := HC_AUTO_COUNT + 1;
60         IF HC_AUTO_COUNT >= 30 THEN
61           HC_AUTO_COUNT := 0;
62           HC_COUNT_START := 0;
63           HC_AUTO_STATE := 1;
64         END_IF;
65       END_IF;
66   END_CASE;
67 END_IF;

```

Rys. 4.4. Implementacja automatu stanów stanowiska grzejąco-chłodzącego



Rys. 4.5. Graf automatu stanów stanowiska ze zbiornikami przedstawiony na panelu HMI

```

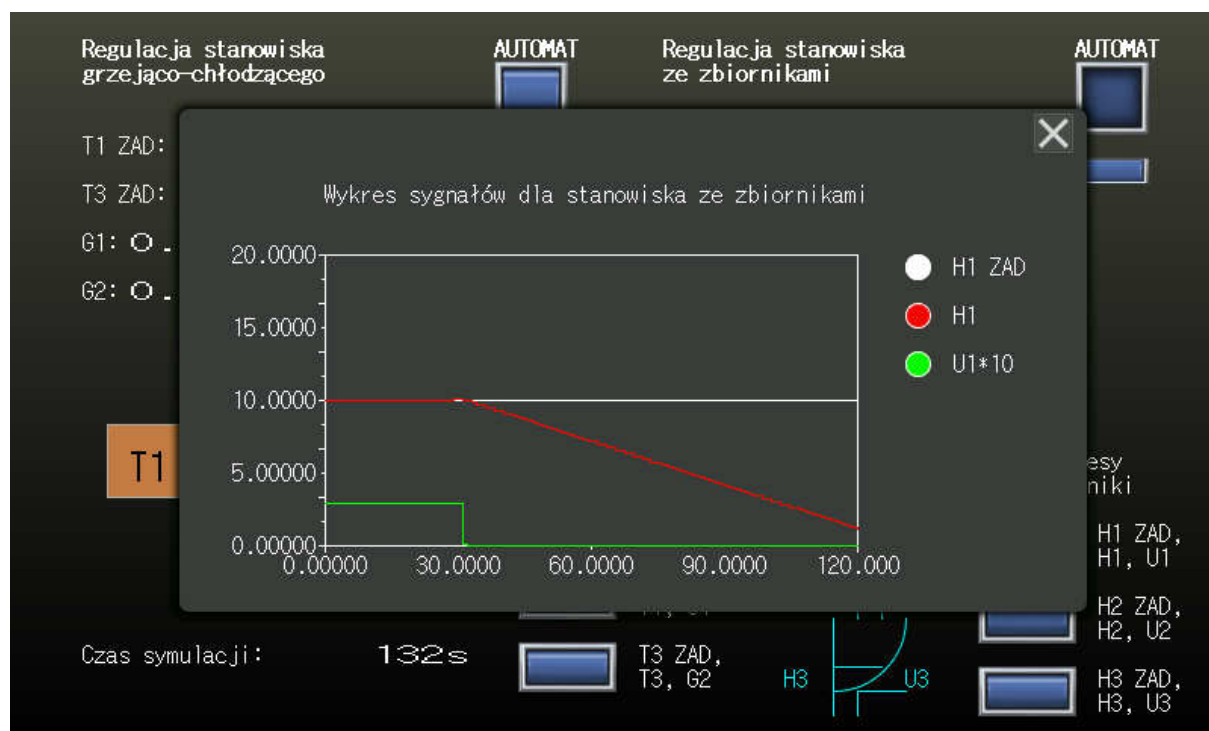
25 // Automat zmieniający wartości zadane
26 IF T_AUTO_FLAG = 1 THEN
27 CASE T_AUTO_STATE OF
28 1:
29 PID1.SV := 10.0;
30 PID2.SV := 10.0;
31 PID3.SV := 10.0;
32 HMI_T_S3 := 0;
33 HMI_T_S1 := 1;
34 IF ABS(PID1.SV - PID1.PV) <= 0.1 AND ABS(PID2.SV - PID2.PV) <= 0.1 AND ABS(PID3.SV - PID3.PV) <= 0.1 OR T_COUNT_START THEN
35 T_COUNT_START := 1;
36 IF T_AUTO_COUNT >= T_AUTO_REG_SUSTAIN_TIME THEN
37 T_AUTO_COUNT := 0;
38 T_COUNT_START := 0;
39 T_AUTO_STATE := 2;
40 END_IF;
41 END_IF;
42 2:
43 PID1.SV := 12.0;
44 PID2.SV := 13.0;
45 PID3.SV := 15.0;
46 HMI_T_S1 := 0;
47 HMI_T_S2 := 1;
48 IF ABS(PID1.SV - PID1.PV) <= 0.1 AND ABS(PID2.SV - PID2.PV) <= 0.1 AND ABS(PID3.SV - PID3.PV) <= 0.1 OR T_COUNT_START THEN
49 T_COUNT_START := 1;
50 IF T_AUTO_COUNT >= 30 THEN
51 T_AUTO_COUNT := 0;
52 T_COUNT_START := 0;
53 T_AUTO_STATE := 3;
54 END_IF;
55 END_IF;
56 3:
57 PID1.SV := 11.0;
58 PID2.SV := 14.0;
59 PID3.SV := 11.0;
60 HMI_T_S2 := 0;
61 HMI_T_S3 := 1;
62 IF ABS(PID1.SV - PID1.PV) <= 0.1 AND ABS(PID2.SV - PID2.PV) <= 0.1 AND ABS(PID3.SV - PID3.PV) <= 0.1 OR T_COUNT_START THEN
63 T_COUNT_START := 1;
64 IF T_AUTO_COUNT >= 30 THEN
65 T_AUTO_COUNT := 0;
66 T_COUNT_START := 0;
67 T_AUTO_STATE := 1;
68 END_IF;
69 END_IF;
70 END_CASE;
71 END_IF;

```

Rys. 4.6. Implementacja automatu stanów stanowiska ze zbiornikami



Rys. 4.7. Przebiegi sygnałów



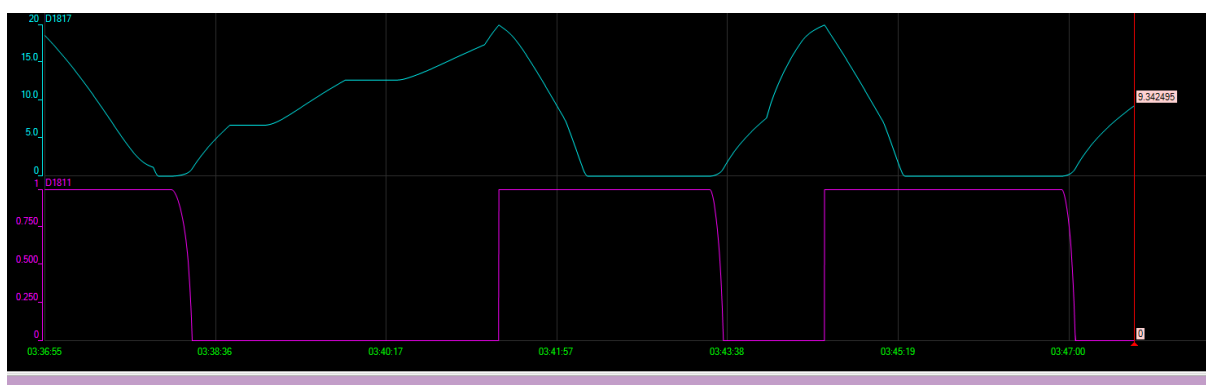
Rys. 4.8. Panel HMI dla operatora pozwalający wprowadzać zadane wartości na wyjściach

## 5. Mechanizm zabezpieczający przed uszkodzeniem stanowiska

W celu zabezpieczenia stanowiska przed przepełnieniem zbiorników (tj.  $H1$  lub  $H2$  lub  $H3$  osiągnie wartość 20) zaimplementowano poniżej przedstawiony (rys. 5.1) mechanizm zabezpieczający.

```
108 // Mechanizm zabezpieczający przed uszkodzeniem stanowiska
109 // Jeśli H1 będzie większe lub równe 20 to otwórz zawór 1
110 IF TEST_WATER[4] >= 20.0 THEN
111     PID1.MV := 1.0;
112 END_IF;
113 // Jeśli H2 będzie większe lub równe 20 to otwórz zawór 2
114 IF TEST_WATER[5] >= 20.0 THEN
115     PID2.MV := 1.0;
116 END_IF;
117 // Jeśli H3 będzie większe lub równe 20 to otwórz zawór 3
118 IF TEST_WATER[6] >= 20.0 THEN
119     PID3.MV := 1.0;
120 END_IF;
```

Rys. 5.1. Kod zabezpieczający przed uszkodzeniem stanowiska ze zbiornikami



Rys. 5.2. Wykres prezentujący działanie mechanizmu zabezpieczającego przed uszkodzeniem stanowiska ze zbiornikami na górze  $H2$ , na dole sterowanie  $U2$

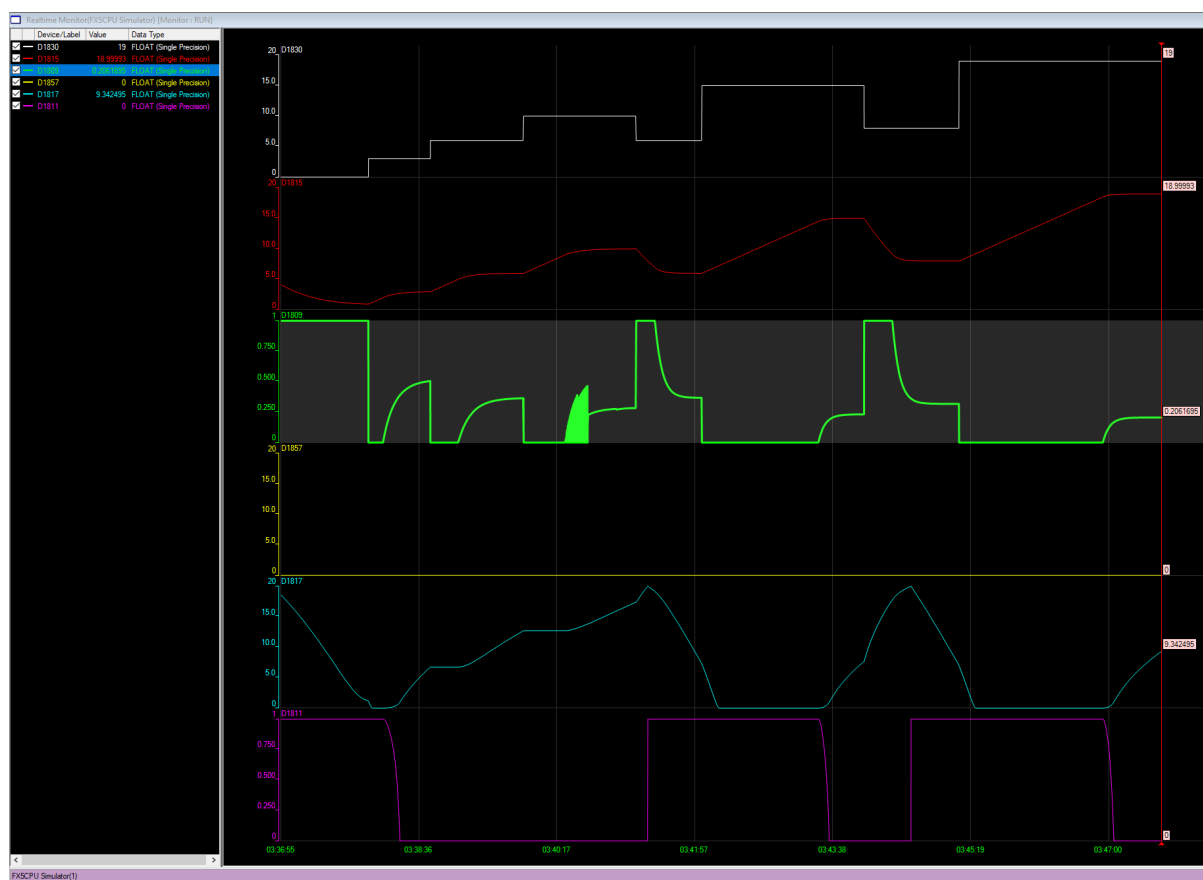
Jak widzimy na powyższym rysunku (rys. 5.2), gdy wysokość cieczy któregoś z wyjść  $H1$  lub  $H2$  lub  $H3$  jest równa 20 to odpowiednio otwierane są zawory  $U1$  dla osiągnięcia wysokości przez  $H1$ ,  $U2$  dla osiągnięcia wysokości przez  $H2$  i  $U3$  dla osiągnięcia wysokości przez  $H3$ . Dzięki temu zawór odpowiedniego zbiornika, który osiąga niebezpieczny poziom cieczy zostanie otworzony.



## 6. Implementacja wielopętlowego regulatora PID

### 6.1. Dobieranie nastaw PID

Początek strojenia zaczęliśmy od doboru odpowiedniego wzmocnienia przy wyłączonym członie całkującym i różniczkującym. Przy włączonym samym członie proporcjonalnym regulacja przebiegała bardzo wolno, a przy większym wzmocnieniu regulator wpadał w oscylacje. Niezbędne było włączenie członu całkującego. Po włączeniu członu całkującego zaczęliśmy maniplulować parametrami w okolicach wartości  $K_1 = -80$  oraz  $T_i = 50$  (rys.6.1).



Rys. 6.1. Wykres prezentujący przebieg podczas strojenia

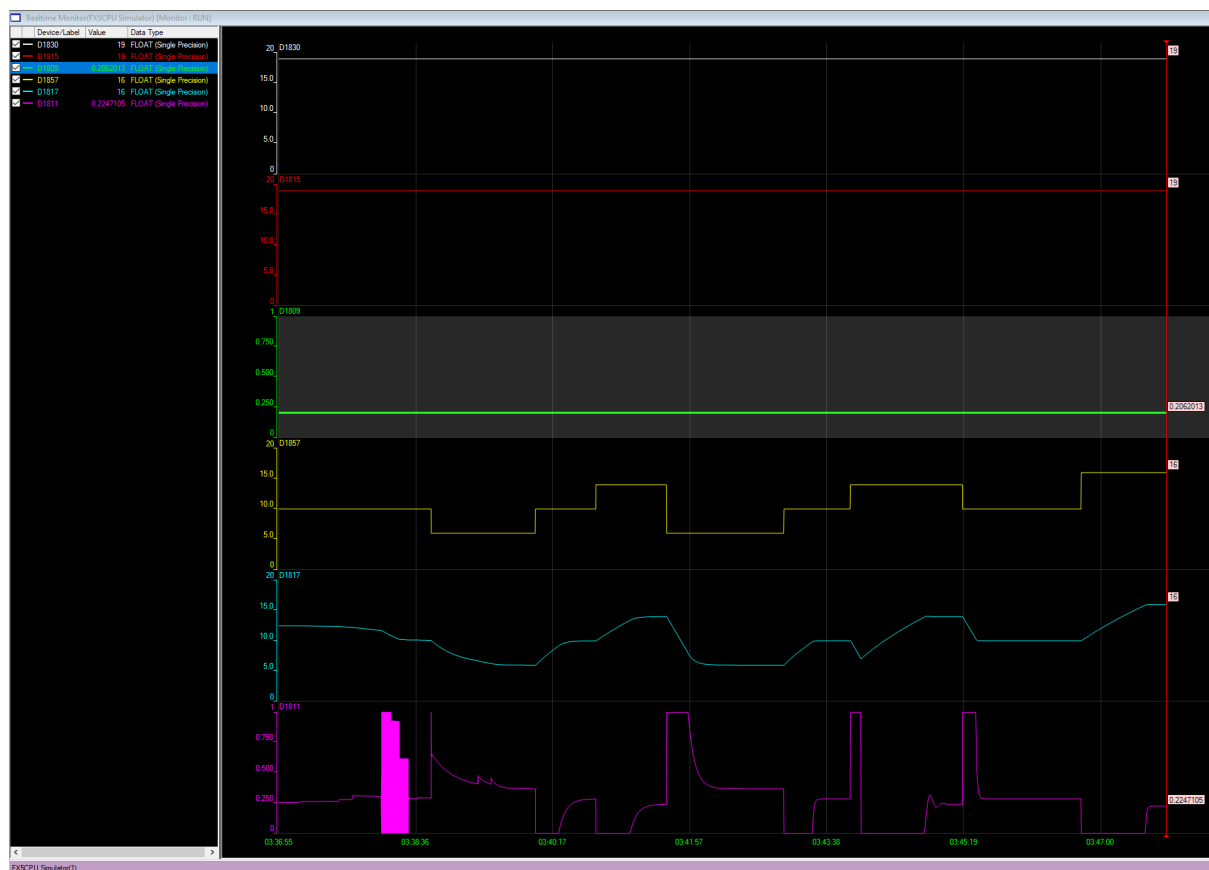
Dalsze zwiększanie wpływu członu całkującego poprzez zmniejszanie parametru  $T_i$  polepszało szybkość i jakość regulacji. Aby kompensować wpływ działania członu całkującego zmniejszaliśmy wzmocnienie  $K_1$ . Poniższy rys.6.2 obrazuje dobieranie parametrów w okolicach wartości  $K_1 = -20$  oraz  $T_i = 5$ .

Przy włączaniu członu różniczkującego następowały od razu oscylacje, a małe wartości nie miały wpływu na przebieg regulacji. Poniższy rys.6.2 obrazuje dobieranie parametrów w okolicach wartości  $K_1 = -20$  oraz  $T_i = 1$ .

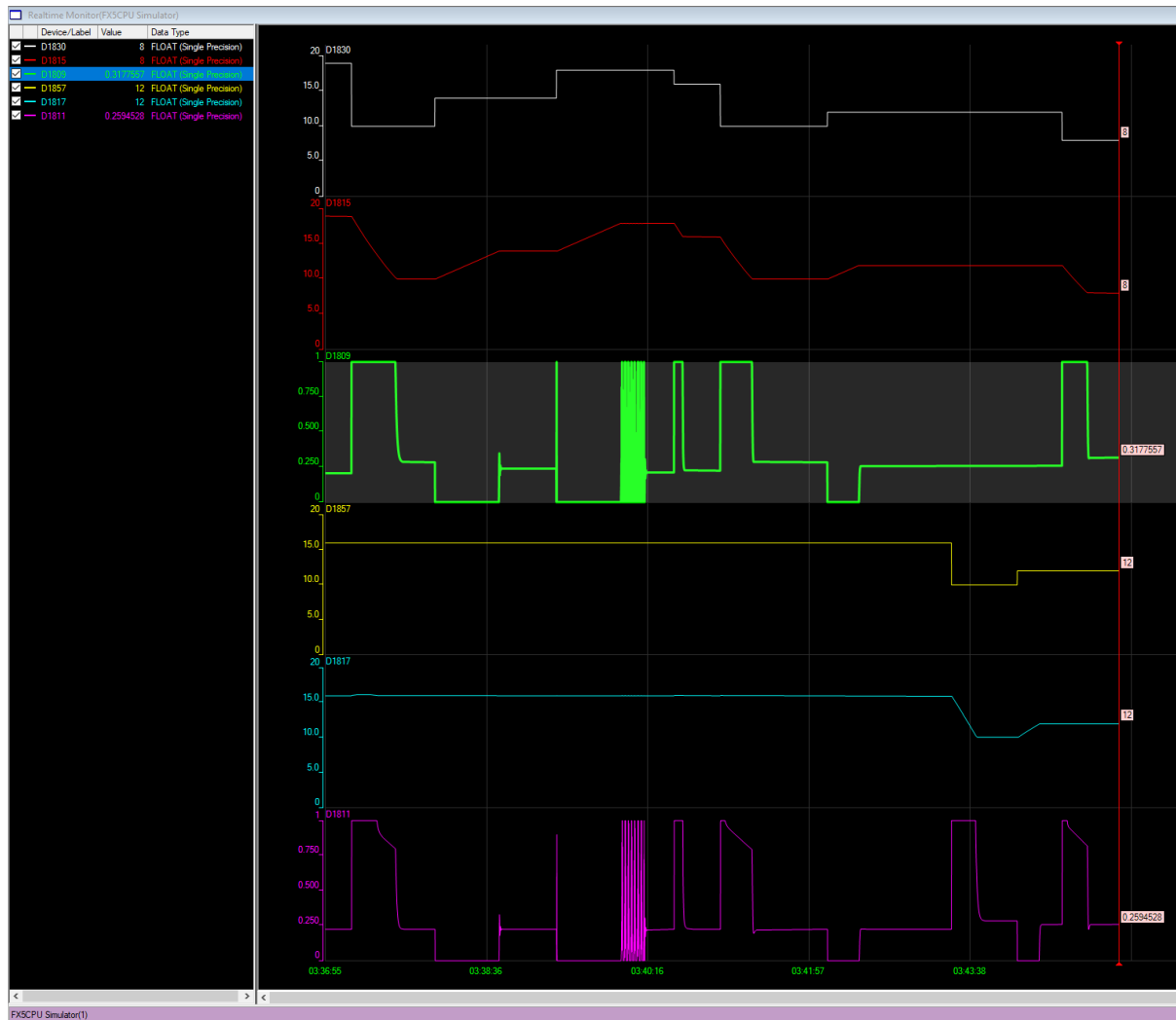
Ostateczne parametry:  $K_1 = -20$  oraz  $T_i = 1$ . Okazało się że takie nastawy dla wszystkich regulatorów zapewniają prawidłową i zadowalającą pracę regulacji.

### 6.1.1. Uwagi

Ujemne wzmocnienie regulatorów PID wynika z tego że aby zwiększyć sygnał wyjściowy (wysokość cieczy w zbiorniku) należy zmniejszyć sygnał wejściowy (0 - zamknięty zawór). W celu zmiany znaku wzmocnienia należałoby odwrócić kolejność operandów w uchybie.



Rys. 6.2. Wykres prezentujący przebieg podczas strojenia



Rys. 6.3. Wykres prezentujący przebieg podczas strojenia