

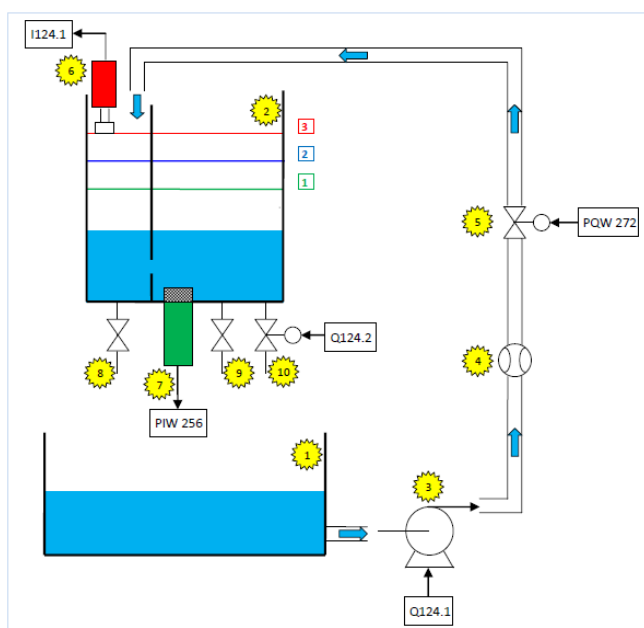
## Lab nr 5

### Analiza wybranego URA

#### Program zajęć:

1. Wprowadzenie do wybranego URA - stanowisko laboratoryjne „poziom-przepływ”
  - a. Poglądowe stanowisko laboratoryjne.

Na rysunku 1 przedstawione zostało stanowisko laboratoryjne PP służące do badania algorytmów sterowania poziomem cieczy w zbiorniku lub przepływem cieczy.

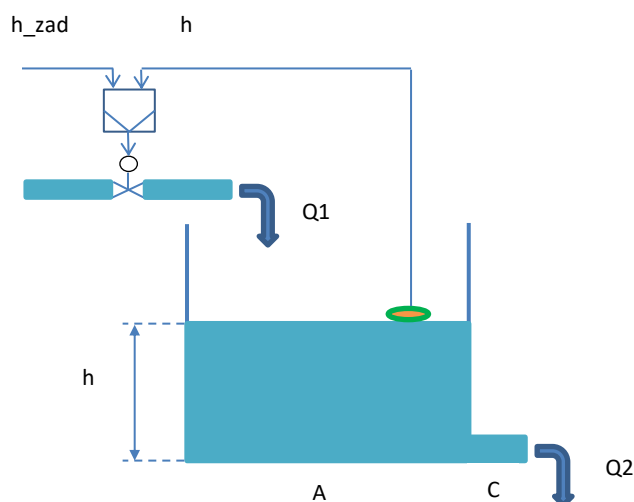


Rys. 1. Stanowisko laboratoryjne PP „Poziom-przepływ” [opracowanie własne].

- 1 – zbiornik dolny (zasobnik),
- 2 – zbiornik górny,
- 3 – pompa,
- 4 – rotametr,
- 5 – zawór elektromagnetyczny proporcjonalny
- 6 – czujnik pływakowy,
- 7 – przetwornik ciśnienia Vegabar 14
- 8, 9 – zawory ręcznie sterowane
- 10 – zawór elektromagnetyczny binarny

## 2. Synteza układu regulacji automatycznej poziomu cieczy w zbiorniku ze swobodnym wypływem z regulatorem ciągłym.

### a. Schemat URA.



Rys. 2. Model zbiornika ze swobodnym wypływem oraz sterowanym dopływem.

### b. Założenia i zależności matematyczne.

Wypływ swobodny – ciecz wypływa ze zbiornika pod wpływem własnego ciężaru.

- $h_{\text{zad}}$  – zadana wartość wysokości słupa cieczy
- $h$  – aktualna wartość wysokości słupa cieczy,
- $A$  – pole podstawy zbiornika,
- $C$  – wielkość charakteryzująca otwór (powierzchnia otworu)
- $Q_1$  – wielkość dopływu cieczy,
- $Q_2$  – wielkość wypływu cieczy
- $V$  – objętość cieczy

$$\frac{dV}{dt} = Q_1(t) - Q_2(t)$$

$$V = A \cdot h$$

$$A \frac{dh}{dt} = Q_1(t) - Q_2(t)$$

Równanie Bernoullego (związek pomiędzy ciśnieniem, prędkością i wysokością przepływającej cieczy):

$$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{constant}$$

$p$  – ciśnienie statyczne,  $\frac{\rho v^2}{2}$  – ciśnienie dynamiczne,  $\rho gh$  - ciśnienie podnoszenia,  $g$  – przyspieszenie ziemskie,  $\rho$  – gęstość cieczy,  $v$  – prędkość płynu,  $h$  – wysokość w której mierzona jest energia potencjalna.

*Ciecz wypływająca ze zbiornika* zyskuje energię kinetyczną kosztem energii potencjalnej (równanie Bernoullego):

$$\rho gh(t) = \frac{\rho v^2(t)}{2}$$

$$v(t) = \sqrt{2gh(t)}$$

$$v(t) = \frac{dl}{dt} = \frac{dV(t)}{dt \cdot C} = \sqrt{2gh(t)}$$

$$\frac{dV(t)}{dt} = C\sqrt{2gh(t)} = Q_2(t)$$

Natężenie wypływu nie zależy od kształtu zbiornika, ale od powierzchni otworu i poziomu cieczy.

*Bilans zbiornika:*

$$Q_1(t) - Q_2(t) = \frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dh} \frac{dh}{dt} = A \frac{dh}{dt}$$

Zależność poziomu cieczy od natężenia dopływu opisuje poniższe nieliniowe równanie różniczkowe.

$$A \frac{dh}{dt} = Q_1(t) - C\sqrt{2gh(t)}$$

### c. Model zbiornika w Scilab Xcos

$$A \frac{dh}{dt} = Q_1(t) - C\sqrt{2gh(t)} /: A$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} (Q_1(t) - C\sqrt{2gh(t)}) / \int$$

$$h(t) = \frac{1}{A} \int_0^t (Q_1(\tau) - C\sqrt{2gh(\tau)}) d\tau$$

Na rysunku 3 przedstawiono model zbiornika ze swobodnym wypływem cieczy. Model postaci  $h(t)=f(Q_1(t))$ .

Przyjęto wartości stałych (Xcos: Symulacja -> Ustaw kontekst):

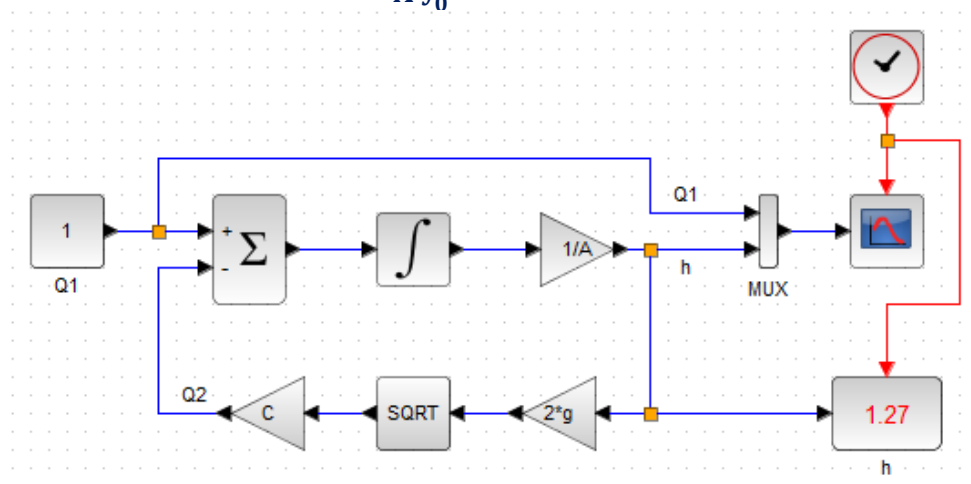
$A=1,5$  (Scilab:  $A=1.5$ )

$C=0,2$  (Scilab:  $C=0.2$ )

$g=9,81$  (Scilab:  $g=9.81$ )

$Q_1=1$

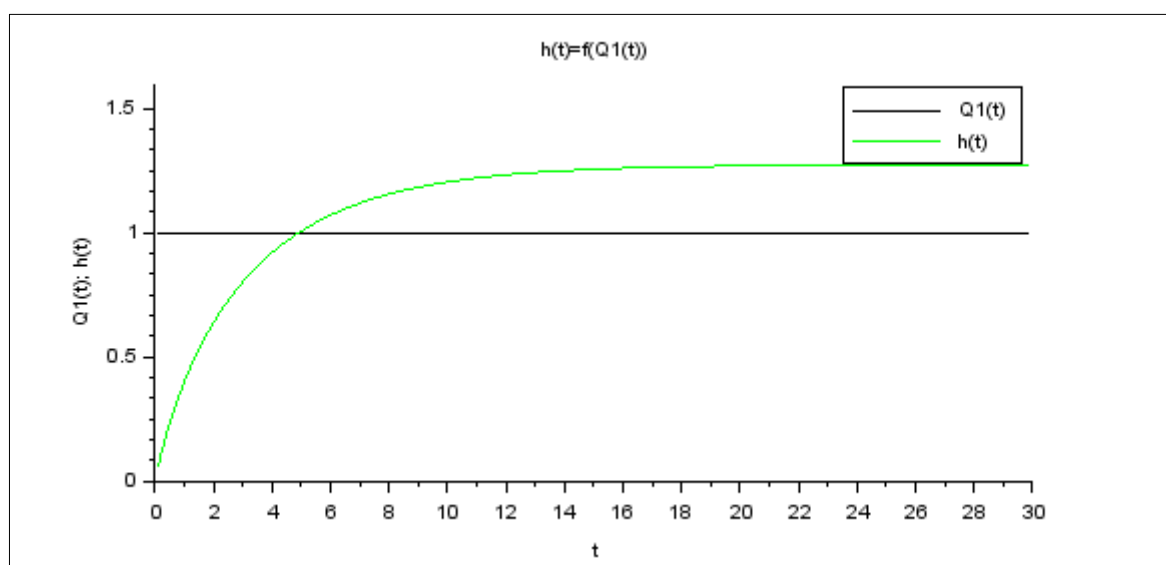
$$h(t) = \frac{1}{A} \int_0^t (Q_1(\tau) - C\sqrt{2gh(\tau)}) d\tau$$



Rys. 3. Model zbiornika ze swobodnym wypływem cieczy w Xcos.

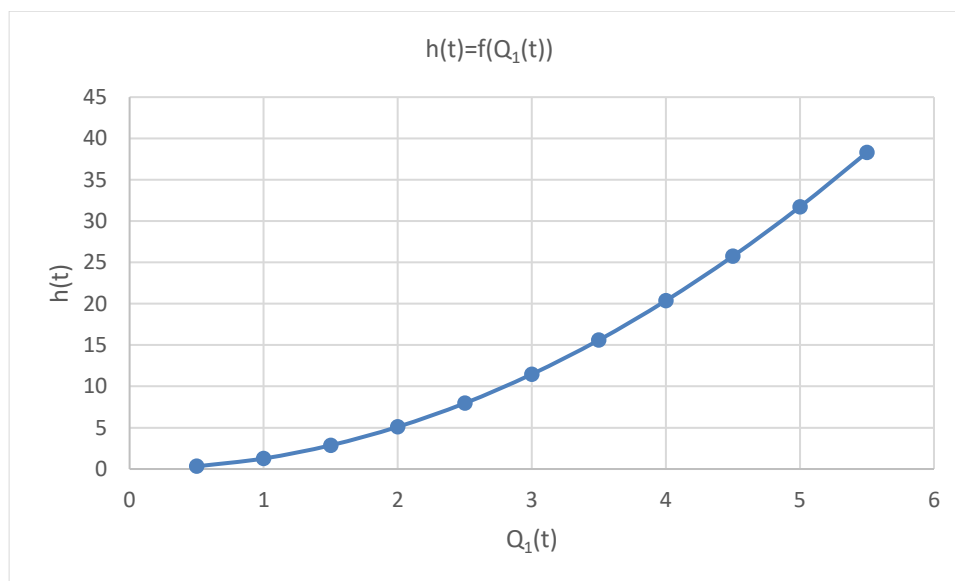
Jaka jest wartość ustalona wysokości cieczy w zbiorniku przy dopływie  $Q_1=1=\text{constans}$ ?  $h_{\text{ust}}(t)=1.27$ .

Na rysunku 4 przedstawiono przebieg zmienności wysokości słupa cieczy  $h(t)$ .



Rys. 4. Przebieg zmian wysokości słupa cieczy  $h(t)=f(Q_1(t))$ ,  $Q_1(t)=\text{const}=1$ .

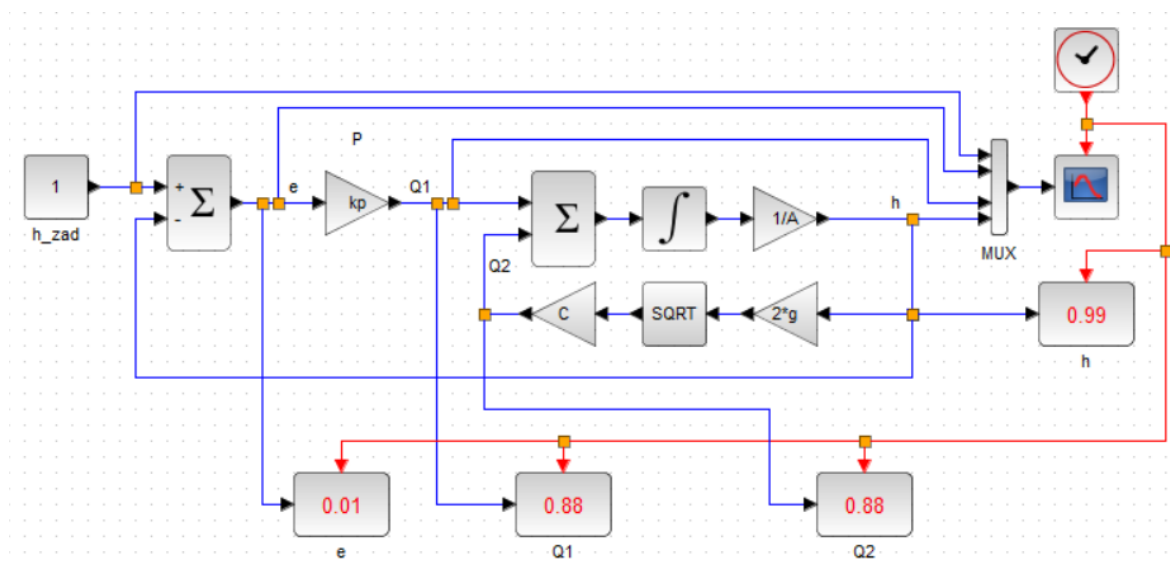
Na rysunku 5 przedstawiono przebieg zmian wysokości słupa cieczy dla różnych wartości dopływu  $Q_1(t)$ .



Rys. 5. Przebieg zmian wysokości słupa cieczy dla różnych wartości dopływu  $Q_1$ .

#### d. URA dla zbiornika z regulatorem typu P.

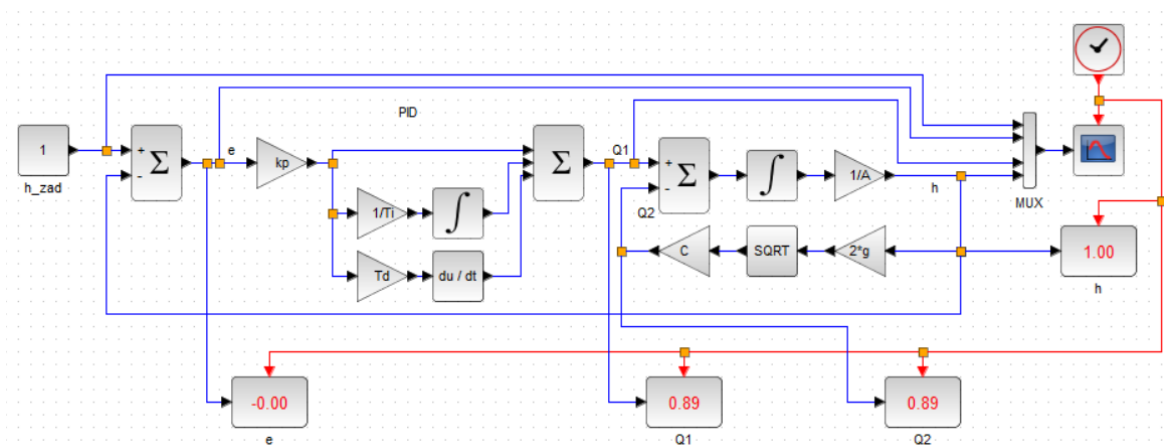
Na rysunku 6 przedstawiono URA z regulatorem typu P. Na schemacie nie zamodelowano: układu zadawania poziomu (np. potencjometr), urządzeń wykonawczych (np. silnik, przekładnia zębata, zawór) oraz urządzenia pomiarowego poziomu (np. pływak, potencjometr).



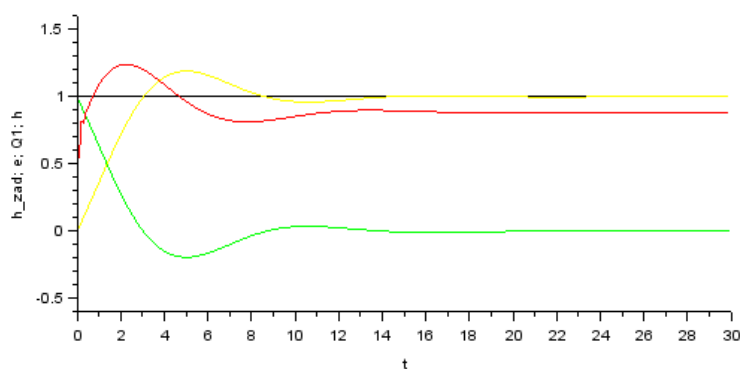
Rys. 6. URA poziomu cieczy w zbiorniku z regulatorem typu P ( $k_P=100$ ).

Sprawdzić, na modelu zbiornika z rysunku 3, czy po zadaniu dopływu  $Q_1 = 0,88$ , uzyskamy wysokość słupa cieczy  $h = 1$ ?

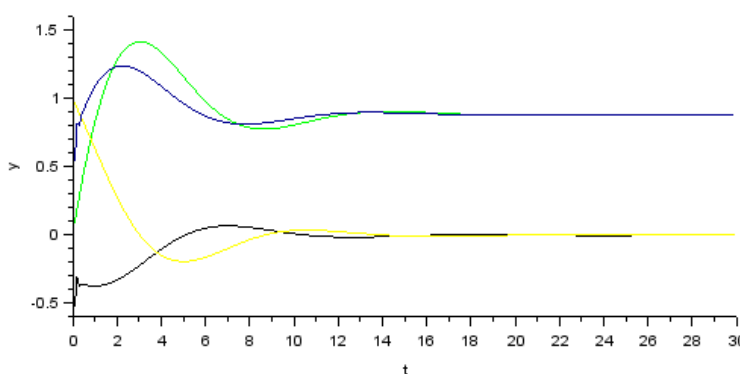
e. URA dla zbiornika z regulatorem typu PID.



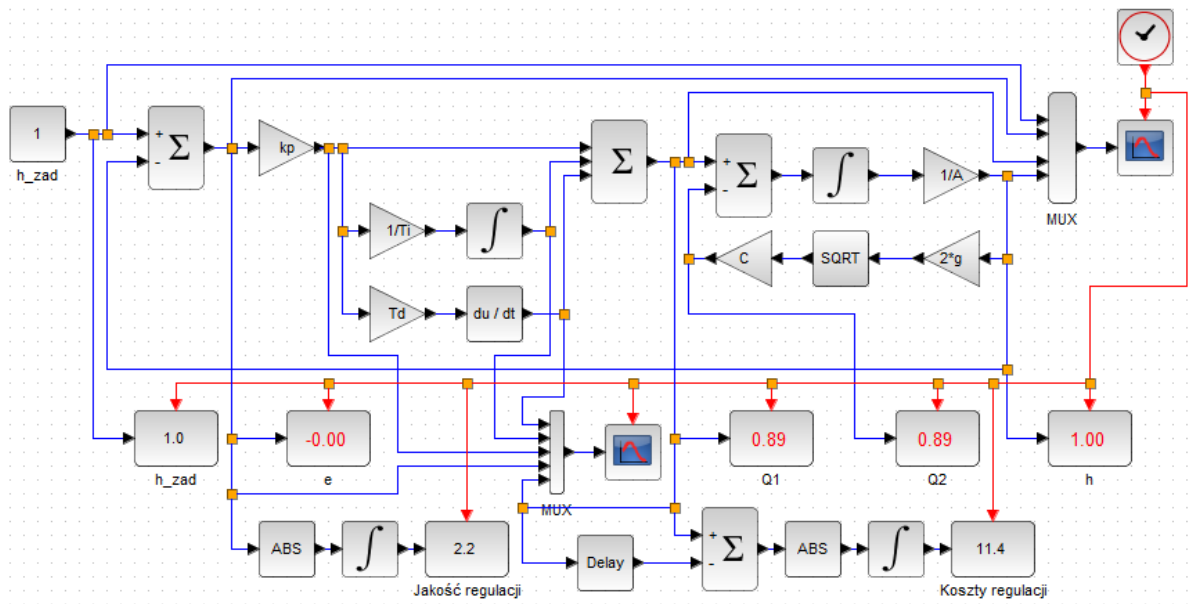
Rys. 7. URA poziomej cieczy w zbiorniku z regulatorem typu PID ( $k_p=1$ ,  $T_i=1$ ,  $T_d=1$ ).



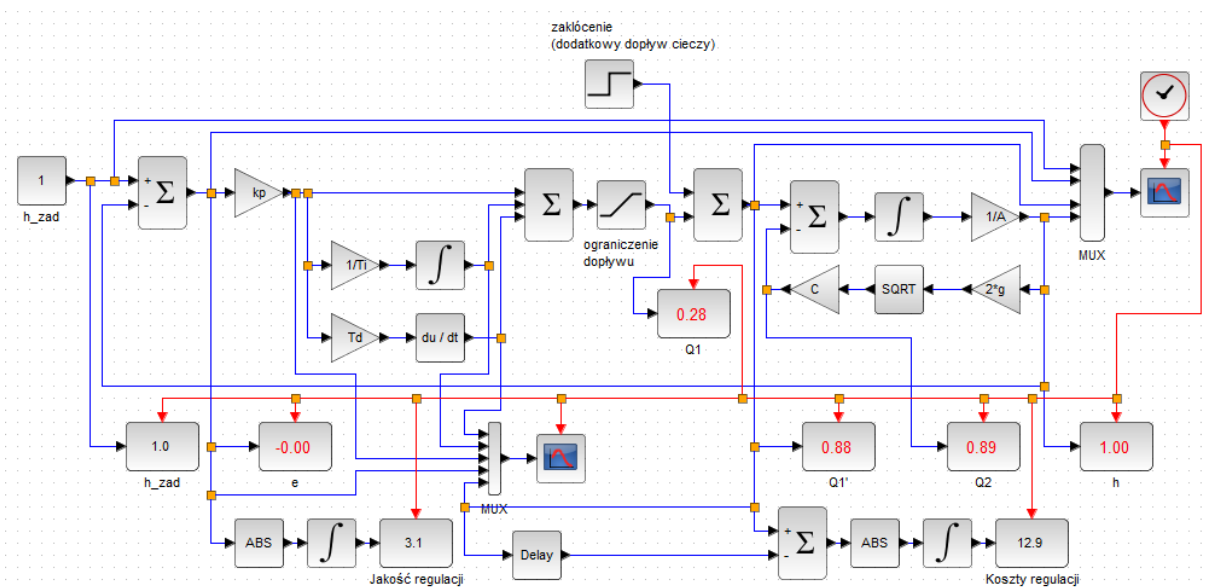
Rys. 8. Przebiegi zmian sygnałów  $h_{zad}$ ,  $e$ ,  $Q1$  oraz  $h$  dla URA z rysunku 7.



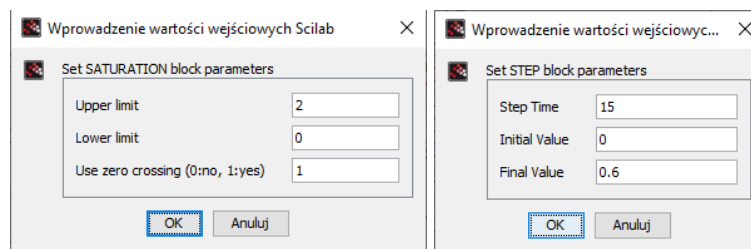
Rys. 9. Przebieg zmian sygnału uchybu oraz wyników całkowania i różniczkowania uchybu (kolory?).



Rys. 10. URA ze wskaźnikami całkowymi jakości regulacji i kosztów regulacji.



Rys. 11. URA ze wskaźnikami całkowymi jakości regulacji i kosztów regulacji z ograniczeniem sygnału sterującego do wartości dodatnich oraz z zakłóceniem dopływu.

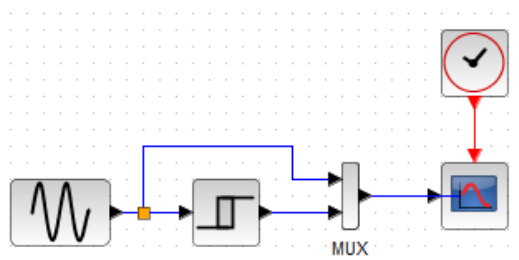


Blok ograniczający sygnał: Przeglądarka palet -> Nieciągłości -> SATURATION

Wartość zakłócenia - dodatkowy dopływ cieczy nie może być zbyt wielki (poniżej wartości natężenia dopływu dla stanu ustalonego przy  $h=1$ ). Np.  $= 0,2$ . Sprawdzić dla jakich wartości zakłócenia URA nie spowodzi uchybu do wartości zera. Sprawdzić wartości dopływu sterowanego -  $Q_1$  oraz sumaryczny dopływ (sterowany oraz zakłócający) -  $Q_1'$ .

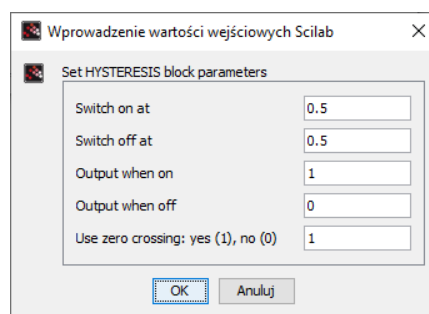
**3. Synteza układu regulacji automatycznej poziomu cieczy w zbiorniku ze swobodnym wypływem z regulatorem dwupołożeniowym.**

**a. Zasad działania regulatora dwupołożeniowego.**

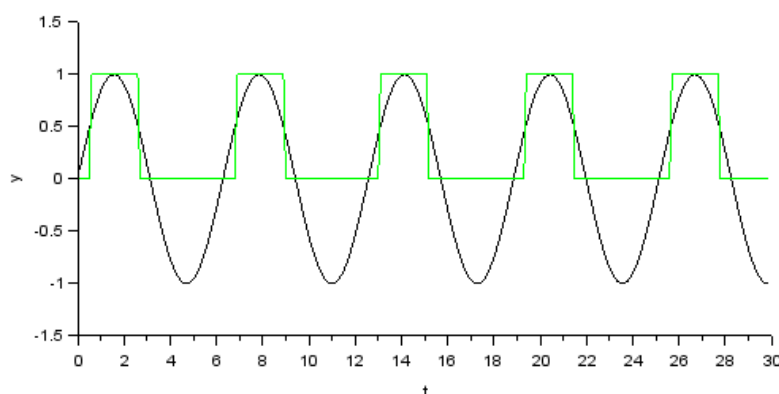


Rys. 12. Zasada działania przełącznika dwupołożeniowego.

Przełącznik dwupołożeniowy: Przeglądarka palet -> Nieciągłości -> HYSTERESIS



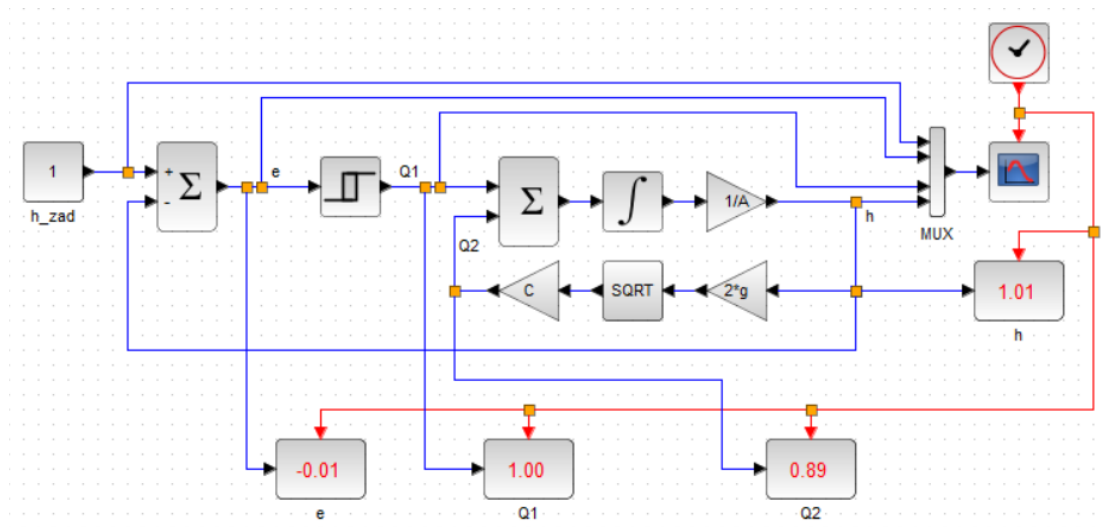
Rys. 13. Nastawy przełącznika dwupołożeniowego z rysunku 12.



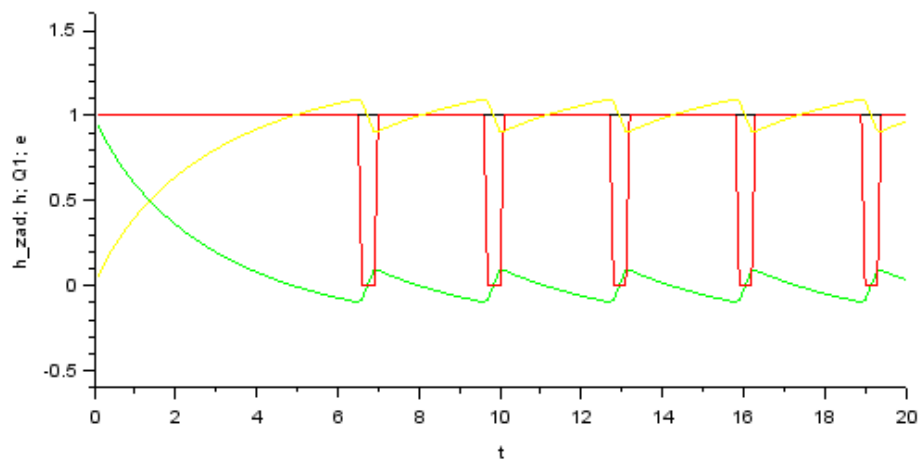
Rys. 14. Przebiegi sygnałów wejściowego i wyjściowego przełącznika dwupołożeniowego z rysunku 12.



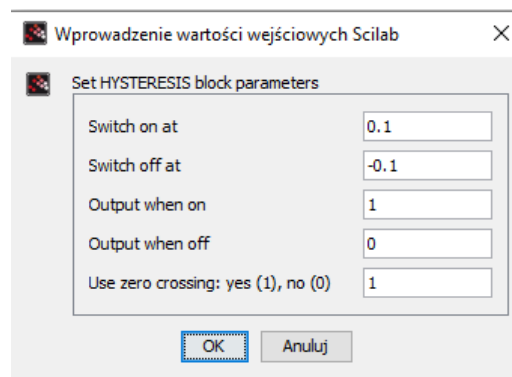
**b. URA poziomu cieczy w zbiorniku z regulatorem dwupołożeniowym.**



Rys. 15. URA poziomu cieczy w zbiorniku z regulatorem dwupołożeniowym.



Rys. 16. Przebiegi czasowe  $h_{\text{zad}}$ ,  $h$ ,  $Q_1$ ,  $e$  dla URA z rysunku 15.



Rys. 17. Nastawy regulatora dwupołożeniowego dla URA z rysunku 15.

#### 4. Zadania do samodzielnego wykonania.

- a. Zamodelować URA poziomu cieczy w zbiorniku z regulatorem ciągłym P.
- b. Zamodelować URA poziomu cieczy w zbiorniku z regulatorem ciągłym PID.
- c. Zamodelować URA poziomu cieczy w zbiorniku z regulatorem dwupołożeniowym.
- d. Zbadać jakość sterowania i koszty sterowania dla w/w URA – dokonać porównania (patrz tabela 1).
- e. Zamodelować wybrany URA z urządzeniem pomiarowym (inercja I-rzędu) w torze pętli sprzężenia zwrotnego.
- f. *Zadanie dla zainteresowanych* – przeprowadzić linearyzację modelu zbiornika w punkcie pracy i (rozpisać nieliniową funkcję określającą natężenie wypływu cieczy  $Q_2=Q_2(h, C)$  w szereg Taylora...) i zaproponować transmitancję operatorową  $G(s) = \frac{H(s)}{Q_1(s)} = \frac{k}{Ts+1}$ .

Tab. 1. Przykładowe zestawienie jakości sterowania i kosztów sterowania dla różnych strategii sterowania.

Regulator w URA	Nastawy regulatora	Jakość sterowania	Koszty sterowania
<b>P</b>	$k_p=1$		
	$k_p=10$		
	$k_p=100$		
<b>PID</b>	$k_p=1, T_i=1, T_d=1$		
	$k_p=..., T_i=..., T_d=...$		
	$k_p=..., T_i=..., T_d=...$		
<b>Dwupołożeniowy</b>	<i>switch on..., switch off..., output when on..., output when off...</i>		
	<i>switch on..., switch off..., output when on..., output when off...</i>		