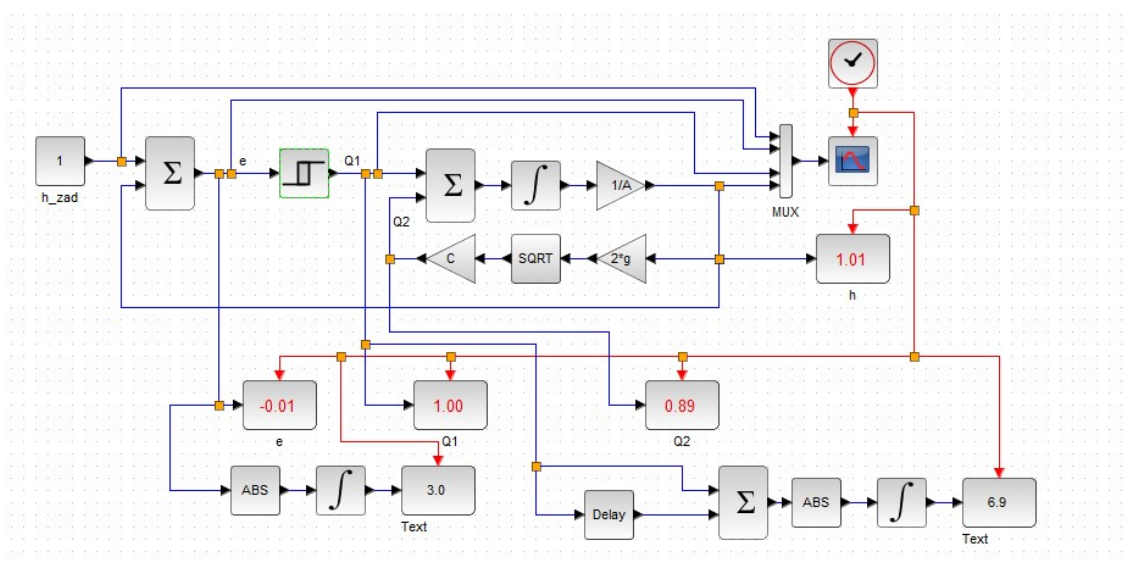


Sinkiewicz Kacper NAZWISKO I IMIĘ	116369 ALBUM	05.02.2021 DATA ZŁOŻENIA PUNKTY/OCENA
Urbankiewicz Arkadiusz NAZWISKO I IMIĘ	128793 ALBUM		

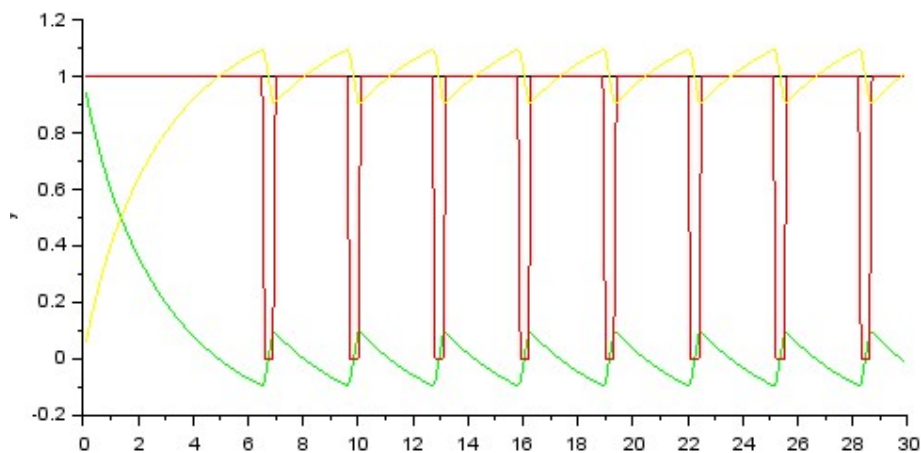
UWAGA: Proszę założyć, że punkt pracy zbiornika to stan ustalony, gdy na wyjściu uzyskujemy wysokość słupa cieczy =1 (czyli wartość równą wartości zadanej dla URA). Taką wysokość uzyskujemy dla dopływu = 0,89 (oczywiście przy braku jakichkolwiek zakłóceń). Proszę w/w uwzględnić przy syntezie regulatora dyskretnego PID. Uwzględnione to zostanie również w syntezie regulatora MPC. W konsekwencji będzie można porównać regulatory – czyli różne strategie sterowania.

1. Synteza regulatora dwupołożeniowego dla obiektu sterowania – zbiornik ze stabilizacją poziomu cieczy (schemat układu regulacji automatycznej, analiza wpływu nastaw regulatora na pracę URA).
2. Synteza regulatora klasycznego PID dla obiektu sterowania – zbiornik ze stabilizacją poziomu cieczy (schemat układu regulacji automatycznej, analiza wpływu nastaw regulatora na pracę URA).
3. Synteza regulatora dyskretnego PID dla obiektu sterowania – zbiornik ze stabilizacją poziomu cieczy w postaci transmitancji operatorowej (schemat układu regulacji automatycznej, wygenerowanie postaci transmitancji dyskretnego zbiornika, wyznaczenie wartości q_0 , q_1 , q_2 dla regulatora).
4. Synteza regulatora predykcyjnego MPC dla obiektu sterowania – zbiornik ze stabilizacją poziomu cieczy w postaci transmitancji operatorowej (schemat układu regulacji automatycznej, analiza wpływu horyzontu predykcji i horyzontu sterowania na pracę URA).
5. Porównanie kosztów regulacji i jakości regulacji dla różnych strategii sterowania dla 4 regulatorów (komentarz dotyczący porównania jakości regulacji i kosztów regulacji uzyskanych dla regulatorów PID, dyskretnego PID, dwupołożeniowego w stosunku do algorytmu inteligentnego – regulatora MPC).

1. Synteza regulatora dwupołożeniowego dla obiektu sterowania



Rys. 1 Model obiektu z regulatorem dwupołożeniowym dla histerezy równej 0,1



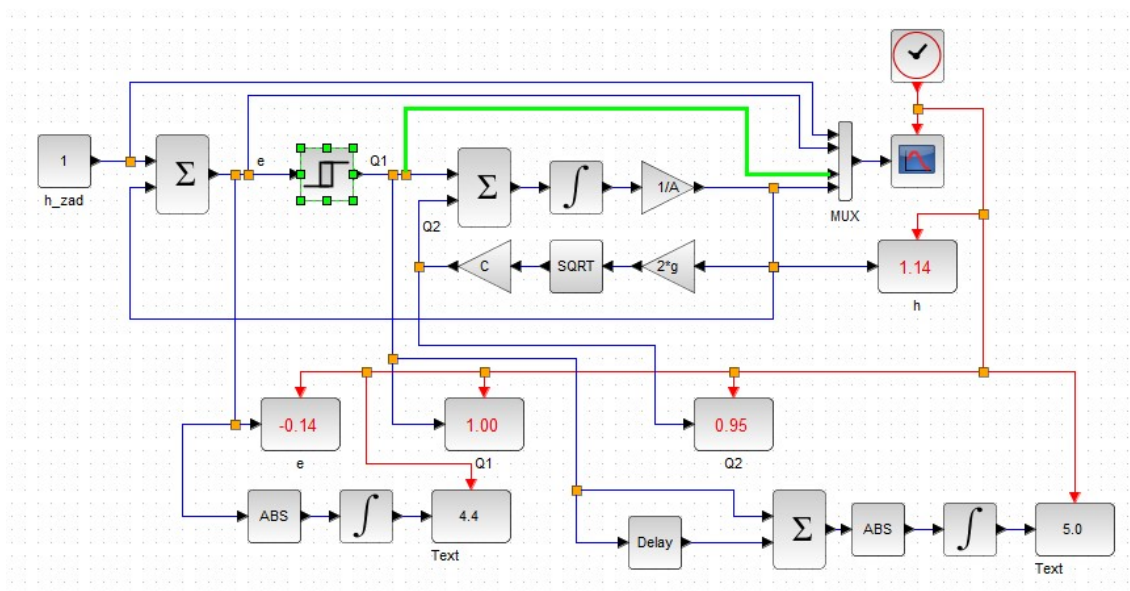
Rys. 2 Wykres regulacji dla regulatora dwupołożeniowego

Set HYSTERESIS block parameters

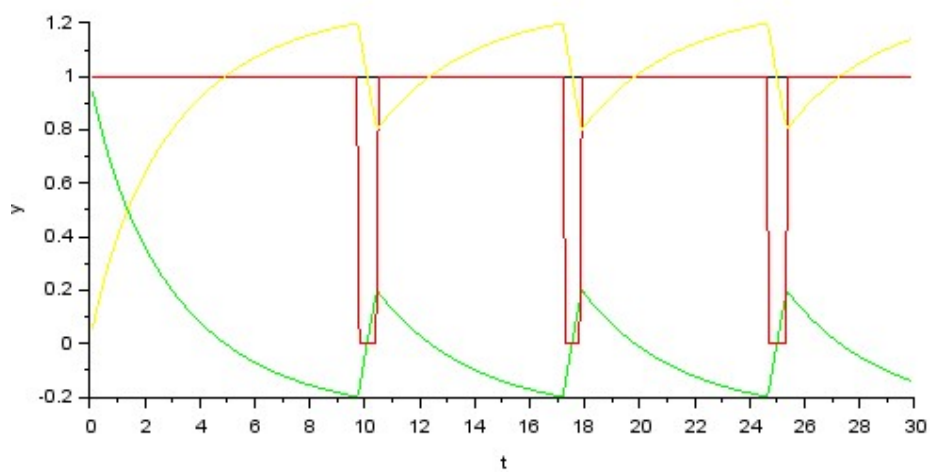
Switch on at	0.1
Switch off at	-0.1
Output when on	1
Output when off	0
Use zero crossing: yes (1), no (0)	1

Rys. 3 Parametry regulacji dla regulatora dwupołożeniowego

Regulator dwupołożeniowy dokonuje regulacji poprzez odkręcanie lub zakręcanie zaworu. Histereza określa przy jakich przeregulowaniach regulator dokonuje zmian. Dla symulacji o histerezie równej 0,1 jakość regulacji wynosi 3, natomiast koszt regulacji uzyskał wartość 6.9.



Rys. 4 Model obiektu z regulatorem dwupołożeniowym dla histerezy równej 0,2



Rys. 5 Wykres regulacji dla regulatora dwupołożeniowego dla histerezy równej 0,2

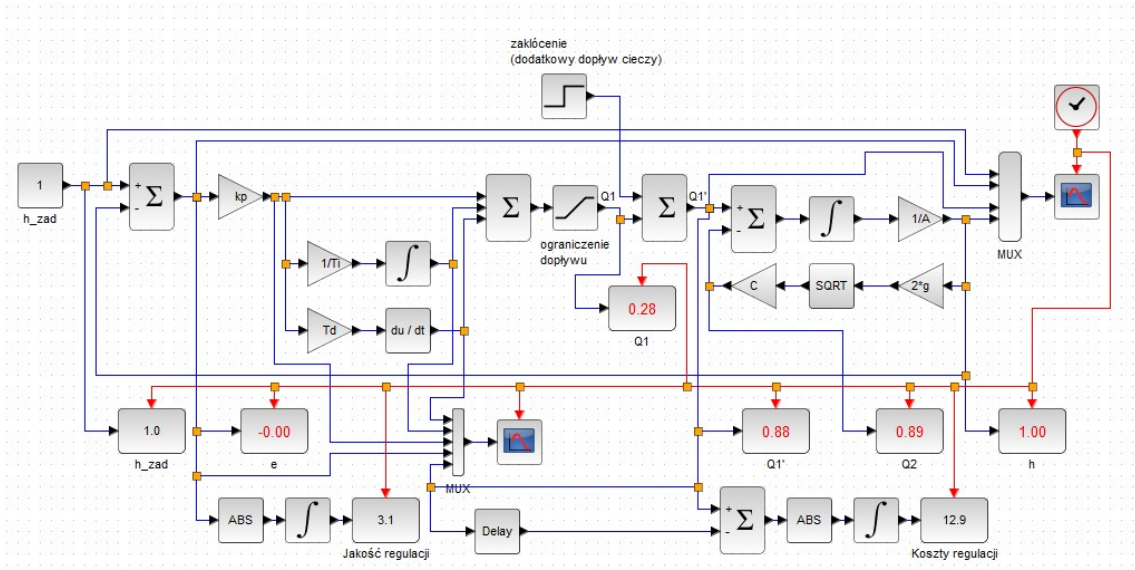
Set HYSTERESIS block parameters

Switch on at	0.2
Switch off at	-0.2
Output when on	1
Output when off	0
Use zero crossing: yes (1), no (0)	1

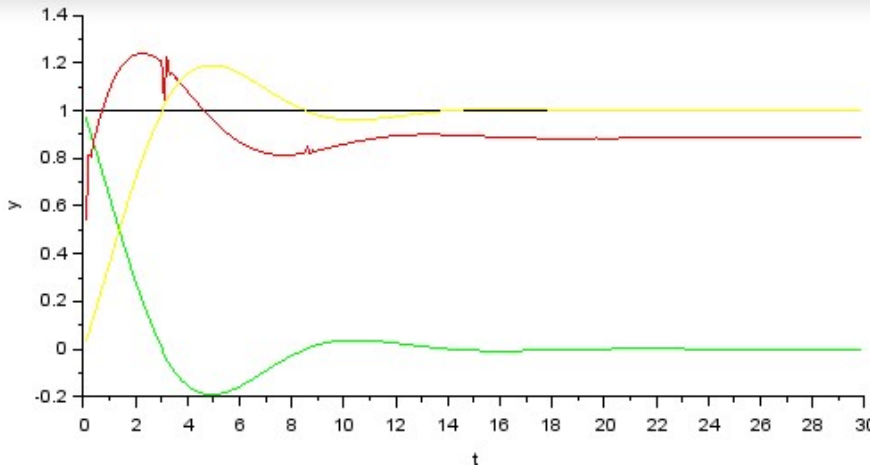
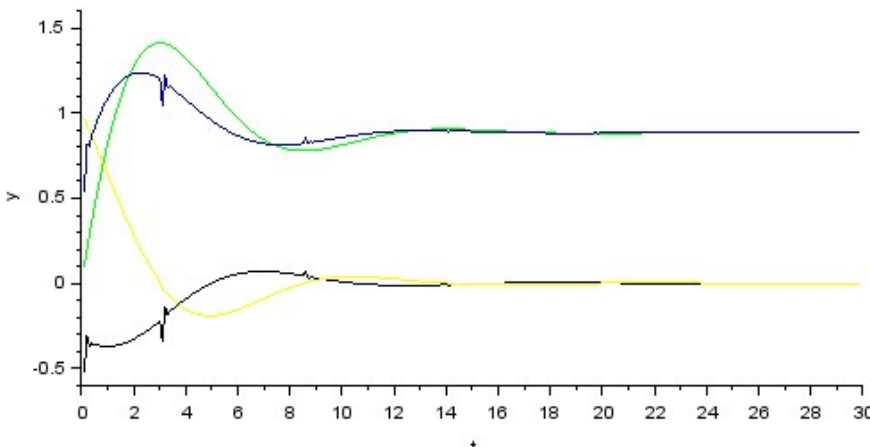
Rys. 6 Parametry regulacji

Dla symulacji o histerezie równej 0,2 jakość regulacji wynosi 4.4, natomiast koszt regulacji uzyskał wartość 5. Jak można zauważyć uzyskaliśmy gorszą jakość regulacji przy jednoczesnej poprawie kosztów regulacji. Można to zaobserwować na Rys. 5, na którym widzimy (czerwona linia), że ilość manipulacji w zaworze zmalała przez co ponosimy mniejszy koszt regulacji. Jednocześnie możemy spostrzec, iż uchyb regulacji uległ zwiększeniu. Rozbieżności pomiędzy wartościami zadanymi wysokości słupa cieczy a rzeczywistymi są większe, niż w poprzednim przykładzie przez co jakość regulacji spadła. Możemy również zaobserwować trend charakterystyczny dla układów regulacji. Wzrost jakości prawie zawsze prowadzi do zwiększenia kosztów. Działa to też w drugą stronę. Zmniejszenie kosztów zazwyczaj powoduje straty w jakości regulacji.

2. Synteza regulatora klasycznego PID dla obiektu sterowania

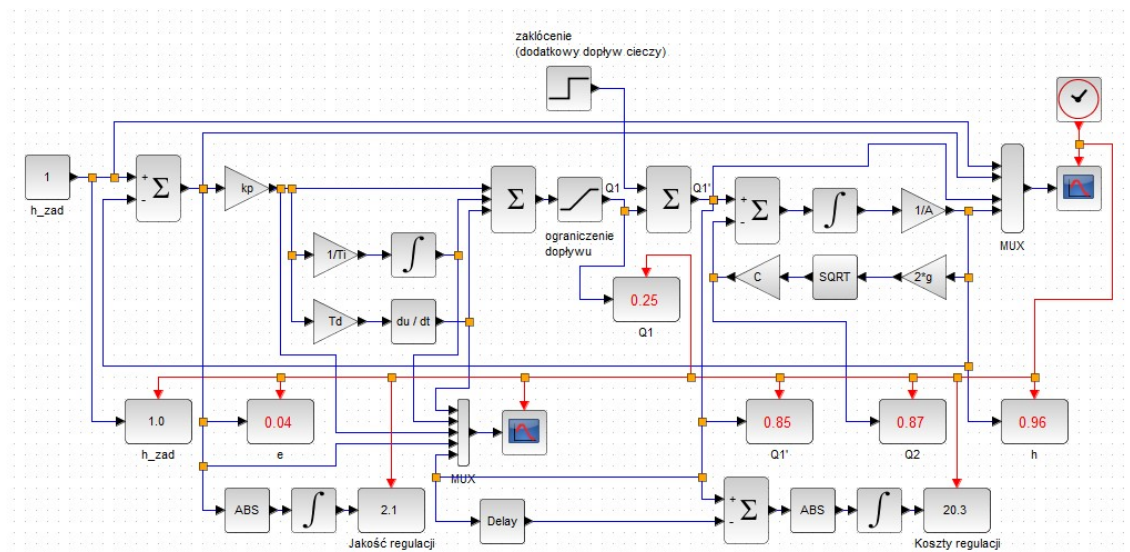


Rys. 7 Model obiektu z regulatorem klasycznym PID



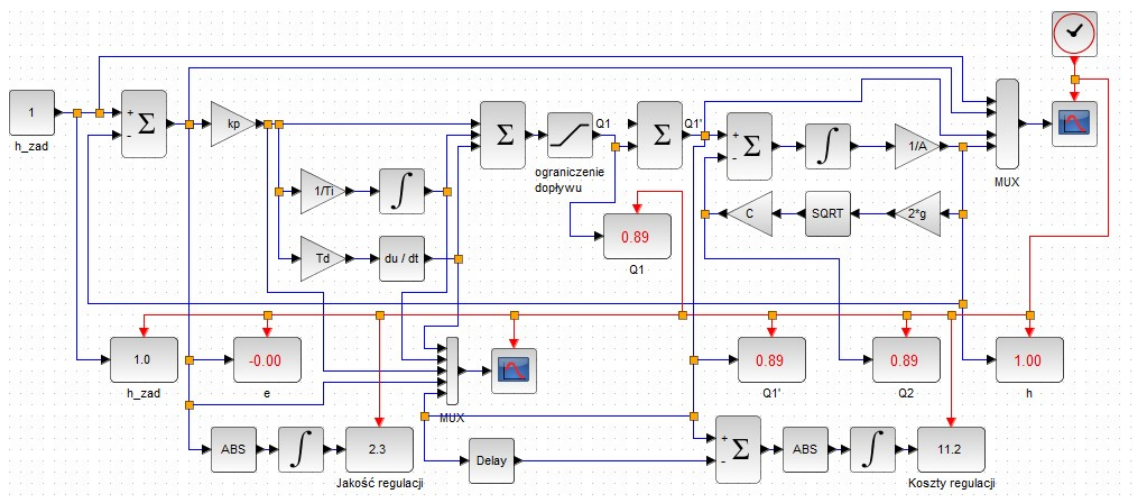
Rys. 8 Wykresy regulacji dla regulatora klasycznego PID

Podczas symulacji przyjęliśmy wartości K_p, T_i oraz T_d równe 1. Jakość regulacji wynosi 3.1 przy kosztach równych 12.9.

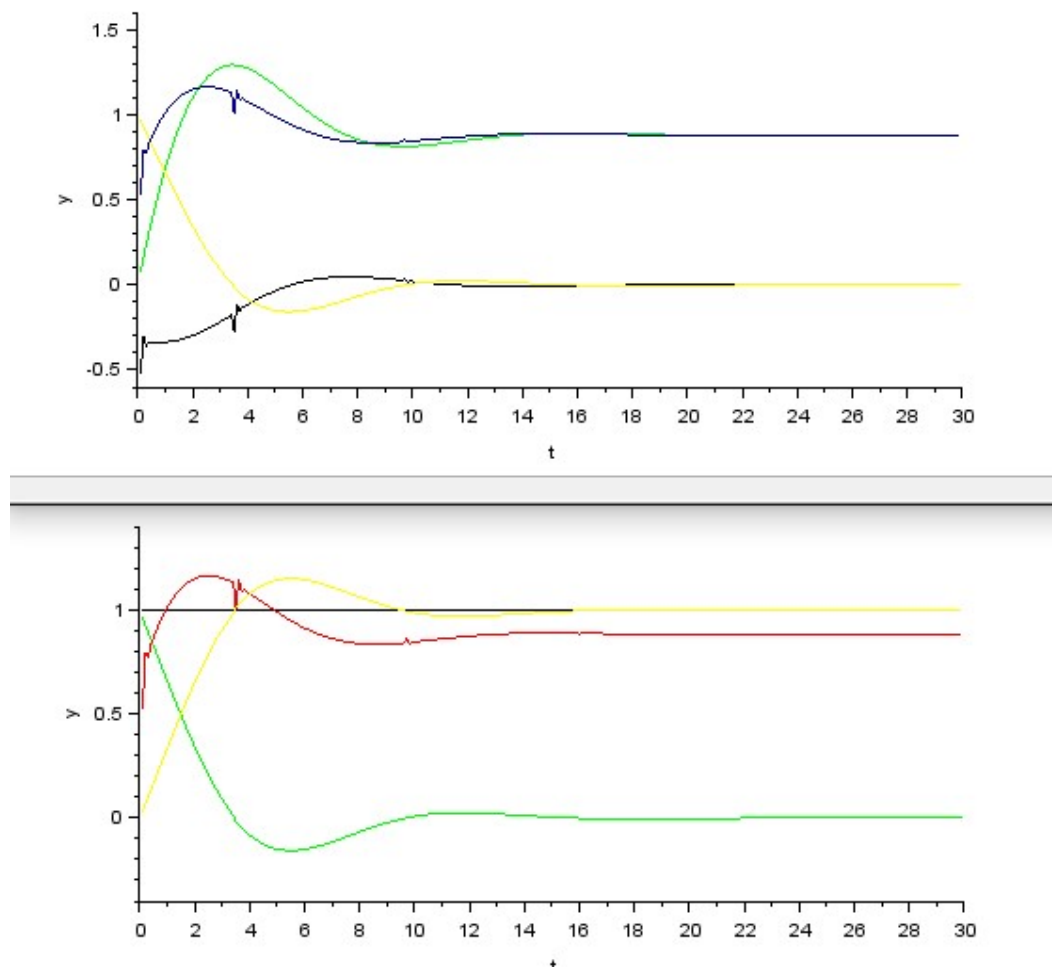


Rys. 9 Model obiektu z regulatorem PID z $K_p=2$

Przy zmianie wartości wzmocnienia proporcjonalnego K_p regulator zdestabilizował się. Do podobnych wyników dochodziliśmy zmieniając również inne nastawy. Przykład ten idealnie ilustruje wagę problemu jakim jest odpowiednie dobranie wartości nastaw do obiektu. Mimo przeregulowania uzyskaliśmy Jakość równą 2.1 przy ogromnym koszcie regulacji o wartości 20.3. Jednak nie uzyskaliśmy pożądanego punktu pracy $Q1, Q2 \neq 0,89$ oraz wysokość nie osiągnęła wartości 1 metra. Z tego powodu postanowiliśmy nie uwzględniać tego przykładu w tabeli końcowej.

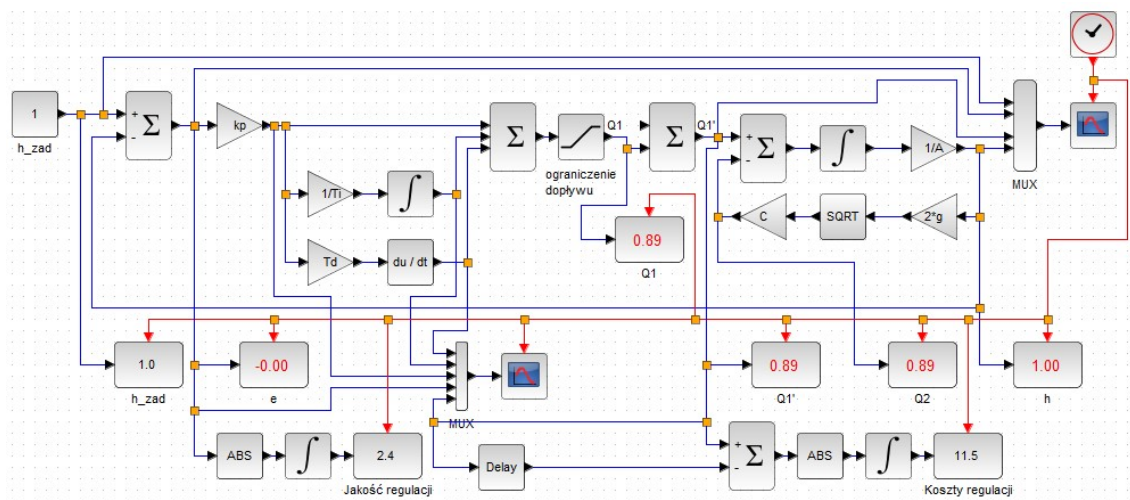


Rys. 10 Model obiektu z regulatorem PID z $T_i=1.2$

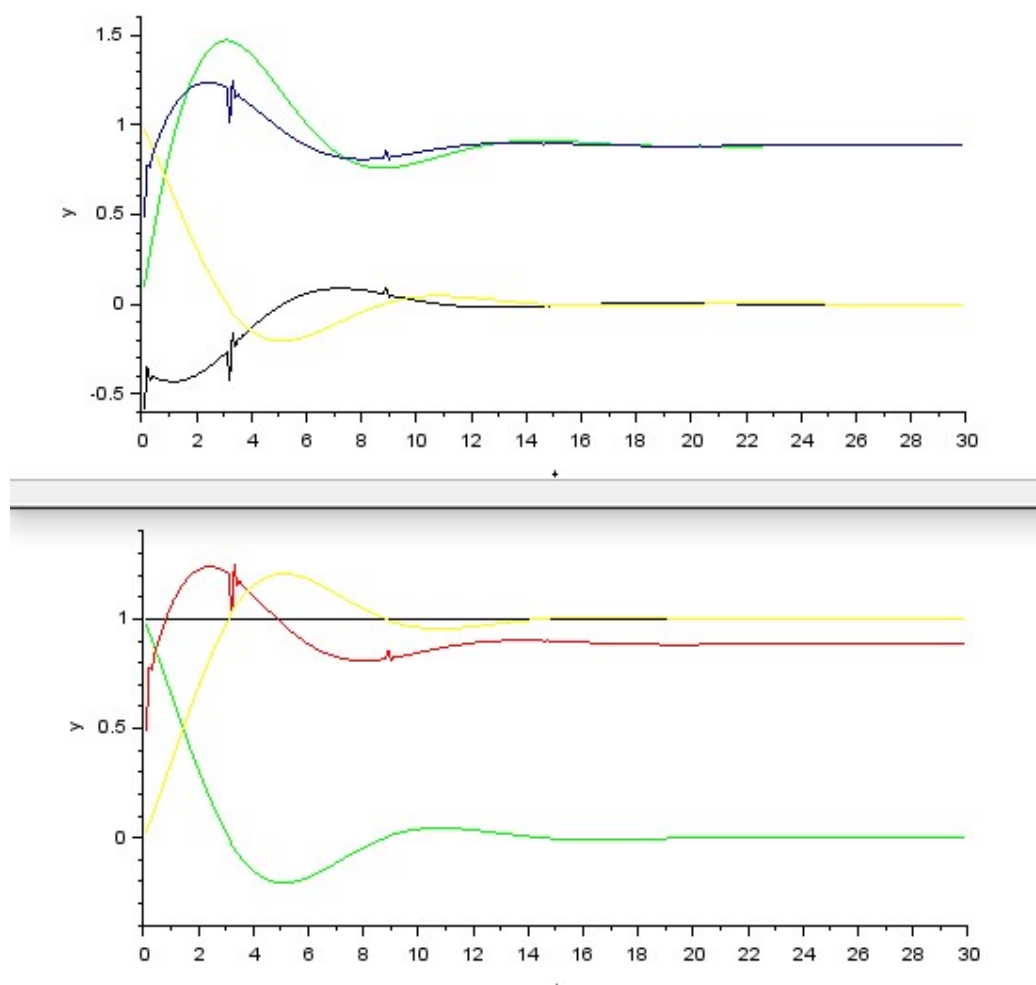


Rys. 11 Wykresy regulacji dla regulatora klasycznego PID z $T_i=1.2$

Dla symulacji ze zwiększoną wartością części całkującej T_i do 1.2 uzyskaliśmy jakość 2.3 przy kosztach 11.2. Przeregulowanie zmniejszyło się ale zwiększył się czas regulacji. W związku z tym spadła jakość regulacji a koszty regulacji zostały zmniejszone.



Rys. 12 Model obiektu z regulatorem PID z $T_d=1.2$



Rys. 13 Wykresy regulacji dla regulatora klasycznego PID z $T_d=1.2$

Dla symulacji ze zwiększoną wartością części różniczkującej T_d do 1.2 uzyskaliśmy jakość 2.4 przy kosztach 11.5. Wpłynęło to negatywnie na regulację obiektu w stosunku do

poprzedniego przykładu. Uzyskaliśmy gorszy koszt i jakość spowodowany prawdopodobnie większym przeregulowaniem na początku przebiegu.

3. Synteza regulatora dyskretnego PID dla obiektu sterowania

By przystąpić do syntezy musieliśmy najpierw wyliczyć za pomocą skryptu Simulinku transmitancję oraz transmitancję dyskretną regulowanego obiektu. Skrypt przedstawia się następująco:

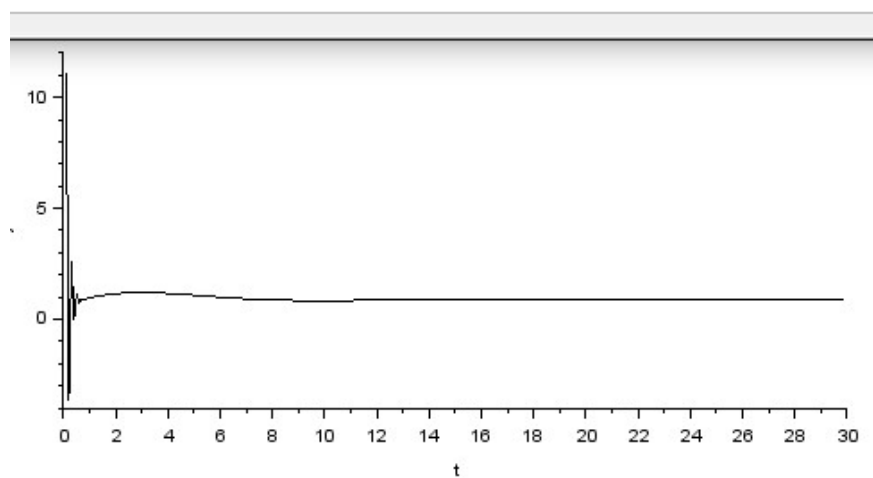
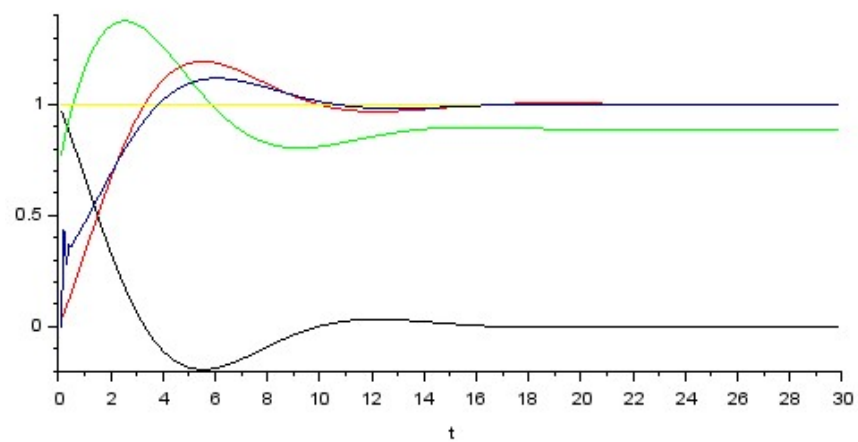
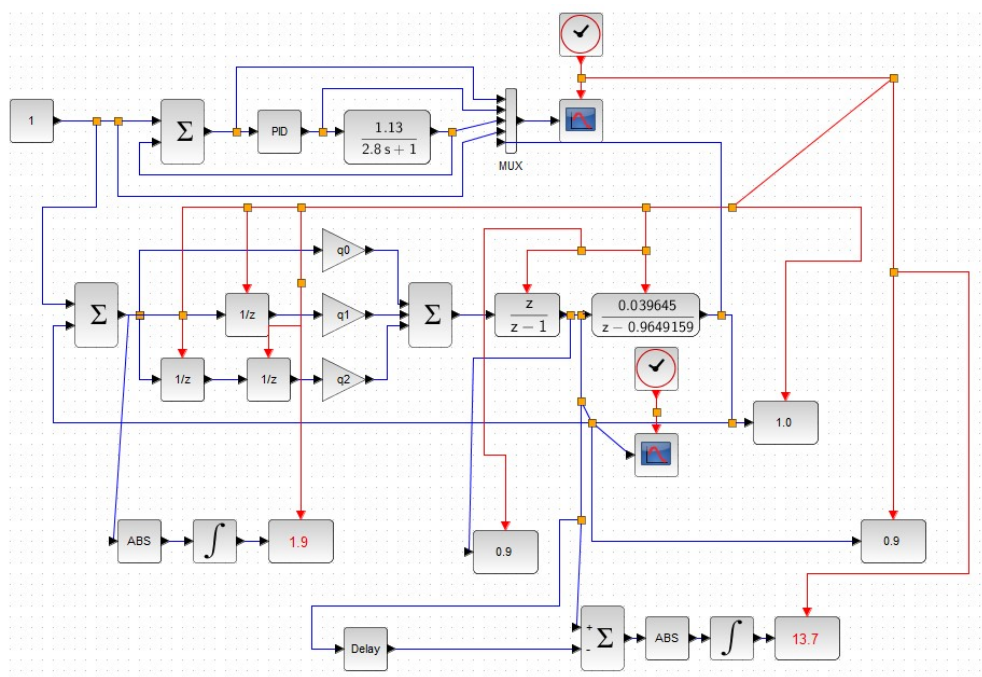
```
// nastawy regulatora ciągłego PID
P=1
I=1
D=1
// czas próbkowania
Ts=0.1
// operator Laplacea
s=poly(0,'s');
// transmitancja zbiornika w dziedzinie ciągłej dla punktu pracy Q1=0.89,
h=1
G=syslin('c',1.13/(2.8*s+1))
disp(G)
// transmitancja dyskretna zbiornika dla punktu pracy Q1=0.89, h=1
Gd=ss2tf(dscr(tf2ss(G),Ts))
disp(Gd)
// obliczanie wartości q0, q1, q2 dla regulatora dyskretnego PID
q0=(P*(1+(Ts/I)+(D/Ts)))
q1=(-P*(1+(2*(D/Ts))))
q2=(P*(D/Ts))
```

Uzyskaliśmy następujące wyniki:

--> disp(G) $\frac{1.13}{1 + 2.8s}$	--> disp(Gd) $\frac{0.039645}{-0.9649159 + z}$
--	---

Rys. 14 Wyliczone transmitancje

Następnie wprowadziliśmy uzyskane wyniki do modelu obiektu:



Rys. 16 Wykresy regulacji dla regulatora dyskretnego PID

Przy symulacji z regulatorem dyskretnym uzyskaliśmy jakość regulacji równą 1.9 przy koszcie regulacji równym 13.7. Trzeba jednak zauważyć, że dobre wyniki spowodowane są silnymi zmianami regulacji na początku przebiegu. Następujące sterowania (szybkie zmiany, wartości ujemne) byłyby nierealne do osiągnięcia dla naszego modelu.

4. Synteza regulatora MPC

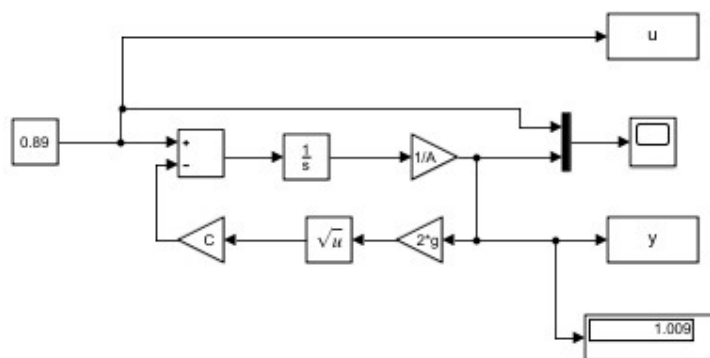
Do przeprowadzenia syntezy regulatora predykcyjnego niezbędny jest model obiektu. Obiekt – zbiornik ze stabilizacją poziomu cieczy.

a. Identyfikacja obiektu sterowania.

Standardowo identyfikację przeprowadza się dla sygnały wejściowego typu skok jednostkowy.

W naszym przypadku założymy pracę obiektu w punkcie pracy: $Q_1=0,89$, $h_{ust}=1$. Powyższe założenie doprowadzi to uzyskania dokładnego modelu obiektu.

i. Matlab – **iddata**

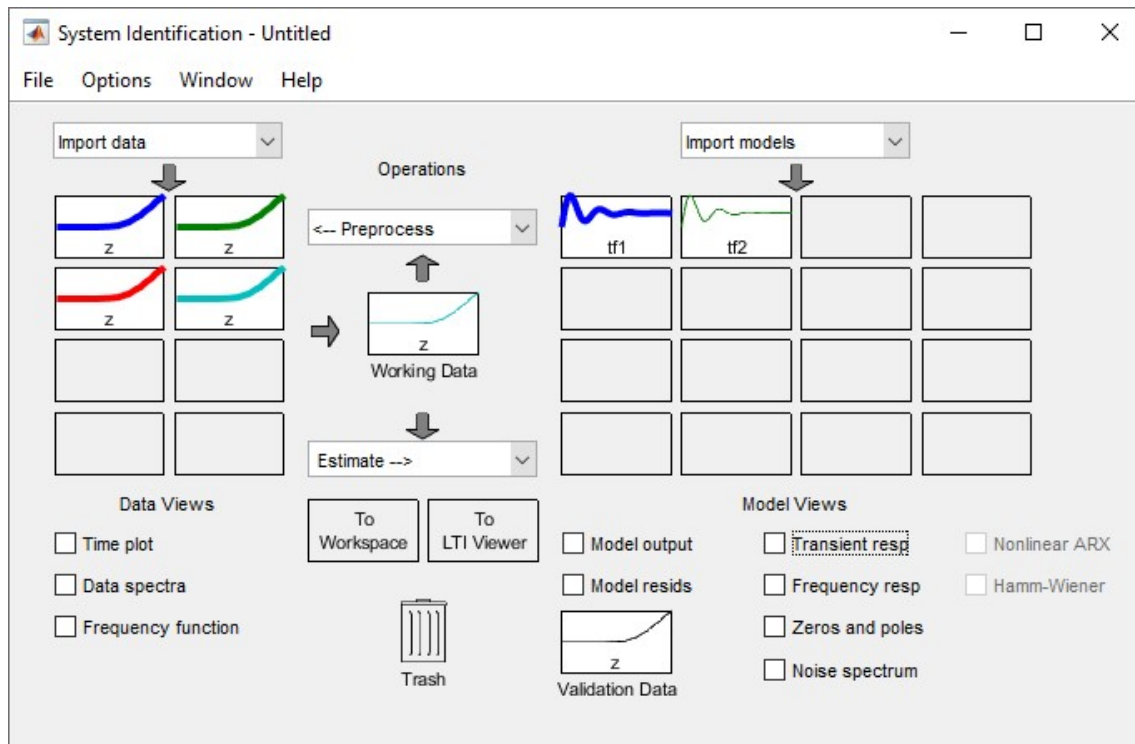


Rys. 17 Model różniczkowy obiektu sterowania

iddata Create a data object to encapsulate the input/output data and their properties.

```
%%%
Ts=0.1
%%%
obiekt
%%%
sim('obiekt')
%%%
z=iddata(y,u,Ts)
```

ii. Matlab – System identification



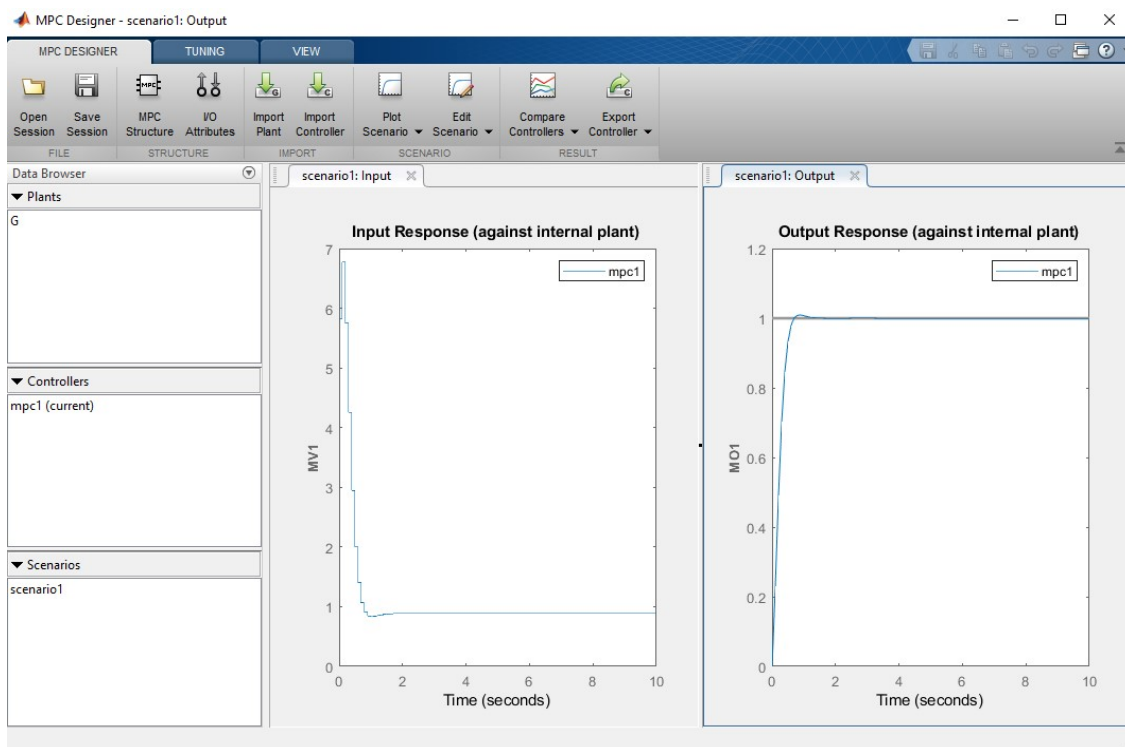
Rys. 18 Narzędzie do identyfikacji obiektu z danych typu „black-box”

Postać transmitancji otrzymanej z System identification: $G_{ob}(s) = \frac{1,13}{2,8s+1}$

b. Synteza regulatora dla modelu obiektu.

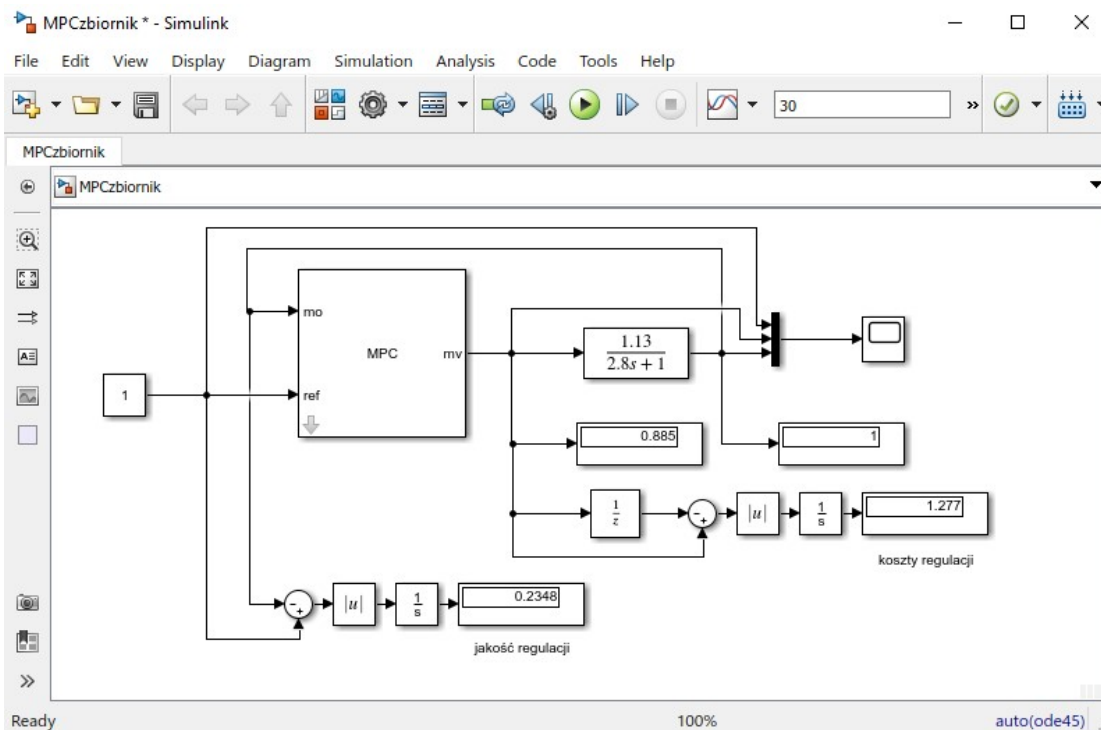
i. Synteza regulatora zostanie przeprowadzona dla:

- horyzontu predykcji = 10, horyzont sterownia = 2, brak ograniczeń na wartość i przyrost sygnału sterującego.

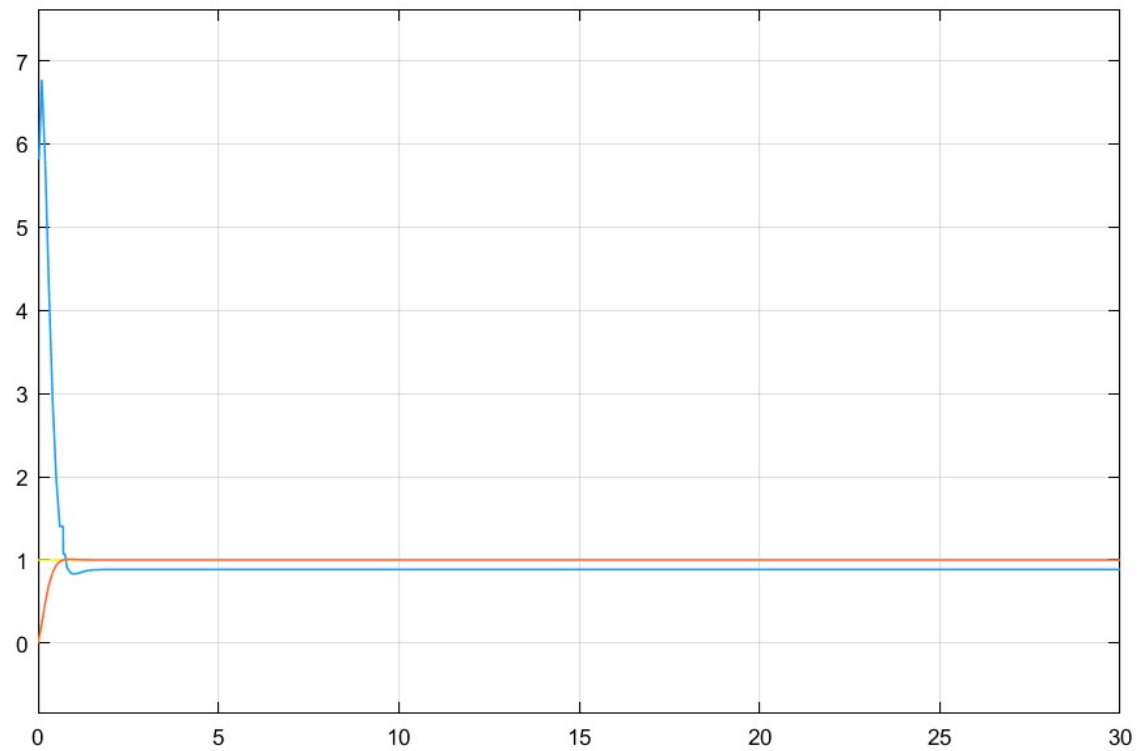


Rys. 19 Synteza regulatora MPC w MPC Designer

Na rysunku 4 przedstawiono URA z opracowanym regulatorem MPC. Dla czasu symulacji = 30, jakość regulacji = 0,2348, koszty regulacji = 1,277.



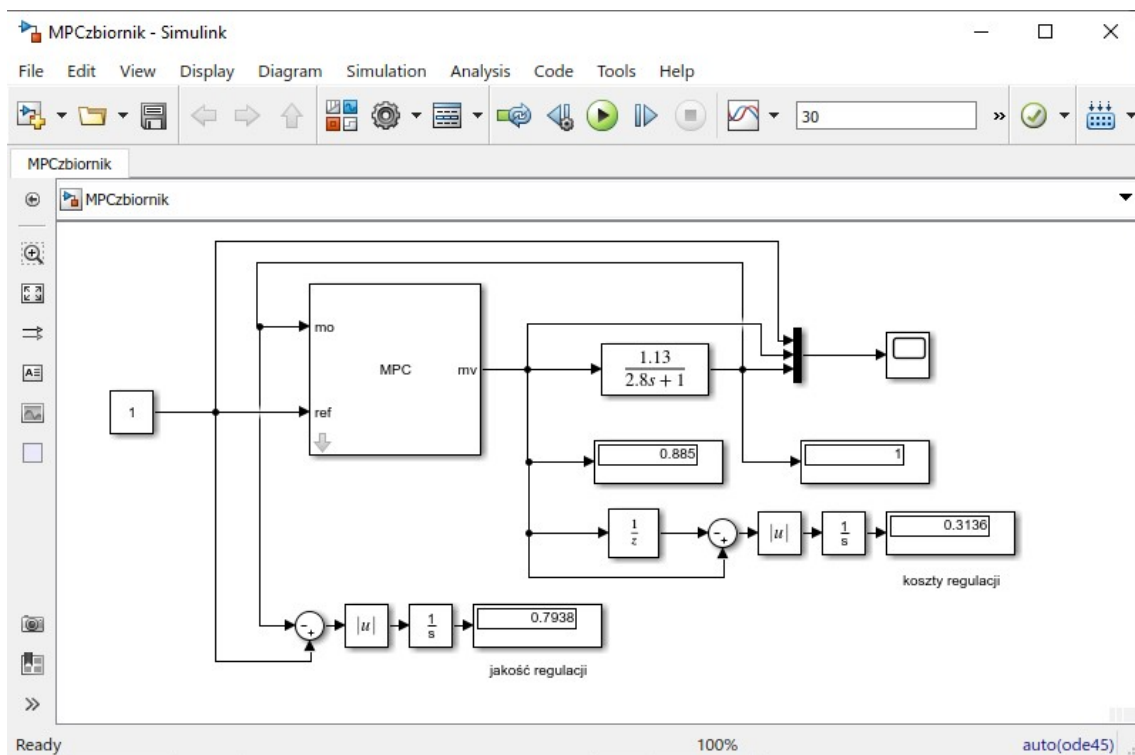
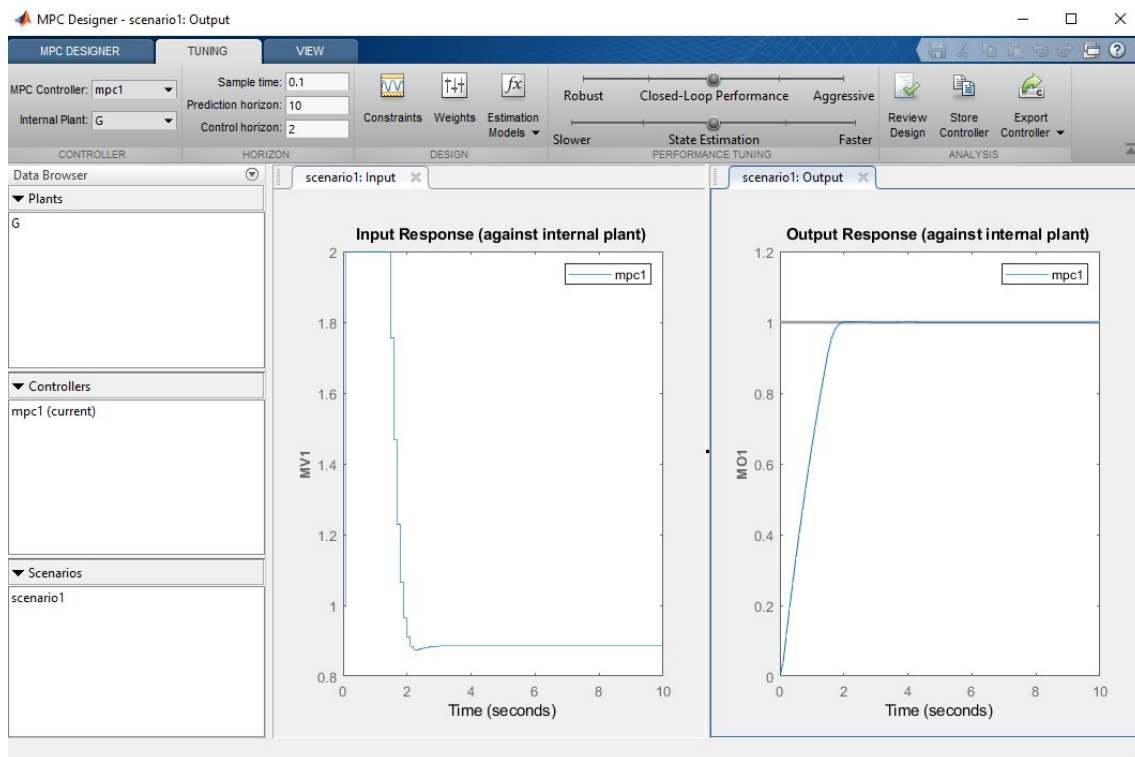
Rys. 20 URA z regulatorem MPC

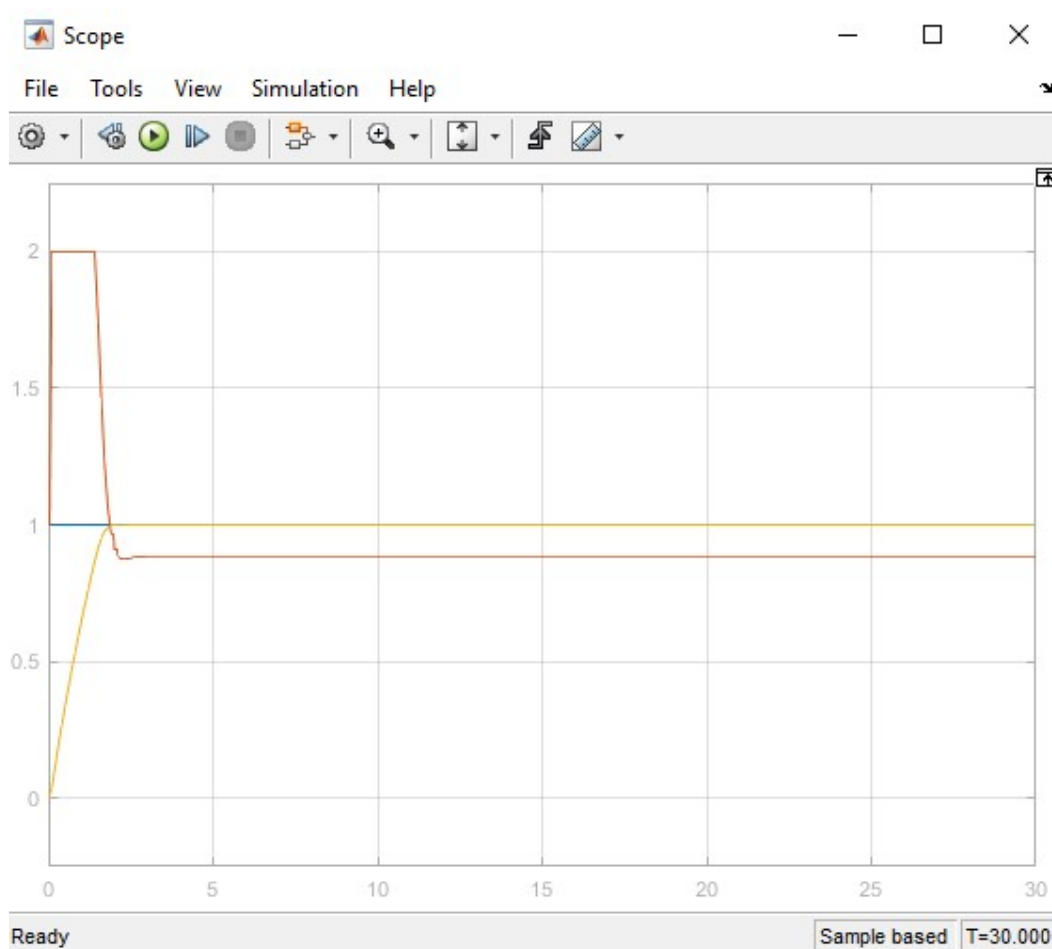


Rys. 21 URA z regulatorem MPC – przebiegi wartości zadanej, sygnał regulującego i sygnału regulowanego

Modyfikacja horyzontu predykcji i horyzontu sterowania nie przyniosła istotnych zmian wartości jakości regulacji i kosztów regulacji.

- ii. Nałożenie ograniczeń na wartość sygnału sterującego = 2 oraz przyrostu sygnału sterującego = 1.





Rys. 24 URA z regulatorem MPC z ograniczeniami – przebiegi wartości zadanej, sygnał regulującego i sygnału regulowanego

5. Podsumowanie

	Jakość regulacji	Koszt regulacji
Dwupołożeniowy histereza 0.1	3.0	6.9
Dwupołożeniowy histereza 0.2	4.4	5.0
PID $K_p=1$ $T_i=1$ $T_d=1$	3.1	12.9
PID $K_p=1$ $T_i=1.2$ $T_d=1$	2.3	11.2
PID $K_p=1$ $T_i=1$ $T_d=1.2$	2.4	11.5
PID dyskretny	1.9	13.7
Regulator MPC	0.2348	1.277

Dla idealnego odwzorowania obiektu MPC zdecydowanie jest najlepszy. Wykaże również przewagę przy pracy z zakłóceniami. Inne regulatory w tym wypadku będą proponować wartości nierealne (np. minusowe wartości dopływu) lub też zmiany nastaw będą na tyle gwałtowne, że nie będą przydatne w realnych zastosowaniach. Oczywiście nastawy w regulatorach PID nie są optymalne i można by uzyskać znacznie lepsze wyniki. Niemniej obecne symulacje okazują znaczną przewagę regulatora predykcyjnego nad starszymi rozwiązaniami.