

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI,   
INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ**

KATEDRA AUTOMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ

**LABORATORIUM PROBLEMOWE**

*Model zbiornika*

Autorzy: Adamczyk Konrad  
 Dobrzyński Kamil  
Kierunek studiów: Automatyka i Robotyka  
Opiekun grupy: dr hab. Inż Piłat Adam

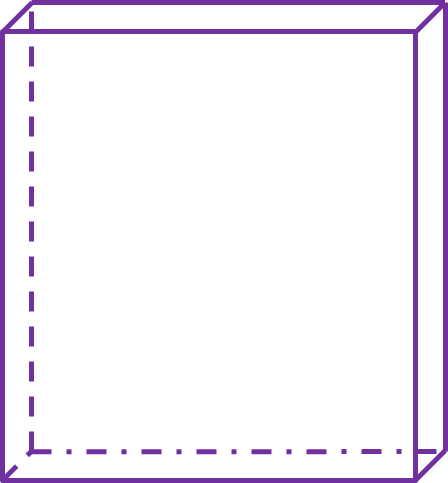
Kraków, 2017

1. Wstęp

Celem niniejszej pracy było stworzenie zamkniętego, ciągłego ukłądu regulacji dla systemu złożonego z jednego zbiornika, pompy oraz elektrozaworu. W pierwszym etapie zaproponowano model matematyczny dla obiektu rzeczywistego, następnie konieczne było przeprowadzenie eksperymentów mających na celu identyfikację poszczególnych składowych systemu. W kolejnej fazie zaproponowano system ciągłej regulacji oparty na dwóch regulatorach PD. Ostani etap to stworzenie ukłądy regulacji w postaci dyskretnej.

1. Charakterystyka systemu
   1. Zbiornik

System złożony jest z jednego zbiornika o kształcie prostopadłościanu. Na dnie naczynia znajduje się elektrozawór umożliwiający wypływ cieczy ze zbiornika. Zawór ten można w dowolny sposób ustawiać, zmieniając przy tym szybkość oprózniania. Zasilanie zbiornika stanowi pompa z możliwością zmiany strumienia. Na Rys. 1 przedstawiono wymiary zbiornika podane w centymetrach.



*Rys. 1 Wymiary zbiornika*

* 1. Model matematyczny

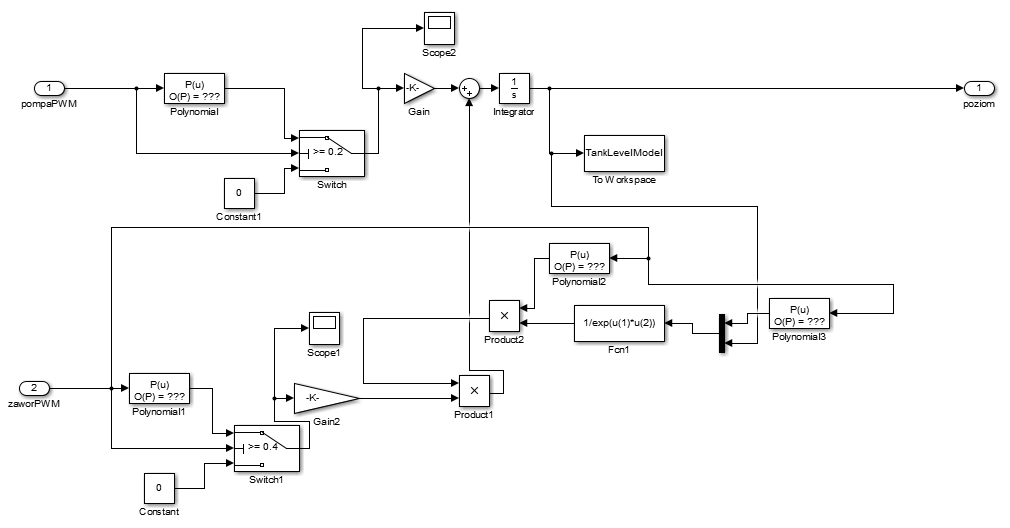
W modelu założono, że prędkość swobodnego wypływu cieczy ze zbiornika zależy w sposób ekspotencjalny od jej poziomu. Poniższe równania opisują dynamikę systemu:

Gdzie:

poziom cieczy w zbiorniku  
 *–* strumień zasilający zbiornik  
 strumień wypływający ze zbiornika przez elektrozawór  
powierzchnia swobodna zbiornika  
 – wartość współczynnika wypełnienia sygnału PWM dla pompy   
 – wartość współczynnika wypełnienia sygnału PWM dla elekrozaworu  
, – współczynniki wypływu

Powierzchnię swobodną dla zbiornika opisuje zależność:

Wygląd modelu stworzony w środowisku *Simulink* przedstawiono na Rys.



*Rys. Model matematyczny systemu*

* 1. Skalowanie sygnałów z czujników ciśnienia

Etap identyfikacji został rozpoczęty od przeskalowania sygnału napięciowego generowanego przez czujnik ciśnienia, który zmieniał swe wartości wraz ze zmianą wysokości słupa wody. W tym celu w programie Simulink powstał model, który umożliwił odczytywanie wartości napięć z czujnika. Identyfikacja polegała na ustaleniu poziomu cieczy w zbiorniku, a następnie odczytaniu wartości napięcia dla danego poziomu. Charakterystyka czujnika została uzyskana przez aproksymację pięciu punktów pomiarowych wielomianem I stopnia. Aproksymacje wykonano za pomocą funkcji *polyfit*, która jest dostępna w środowisku MATLAB.

W tabeli nr znajdują się współczynniki wielomianu (numer wzoru) dla każdego czujnika.

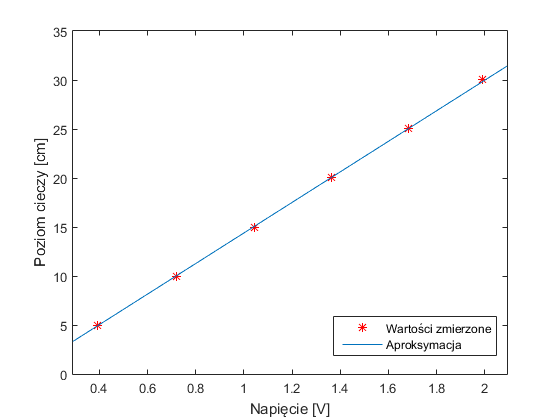
gdzie:

– parametry wielomianu I stopnia.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Czujnik |  |  |
| Górny | 15.59 | -1.199 |

*Tab. Współczynniki wielomianu I stopnia charakterystyki czujnika.*

Na rysunkach przedstawiono zależność wysokości od napięcia generowanego przez czujniki ciśnienia.



*Rys. Charakterystyka przetwarzania dla czujnika znajdującego się w górnym zbiorniku.*

* 1. Charakterystyka wydajności pompy

Charakterystyka wydajności pompy opisuje zależność pomiędzy wartością współczynnika wypełnienia sygnału PWM, a wydajnością pompy. Wyznaczenie tej charakterystyki polegało na odczytaniu czasu napełnienia wodą górnego zbiornika do wyznaczonego poziomu przy różnych wartości współczynnika wypełnienia. Podczas doświadczenia zawór kulowy oraz elektrozawór były zamknięte. W czasie wyznaczania charakterystyki pompy sterowano nią za pomocą sygnału PWM z zakresu 0,3 - 1. Wartość ta przekładała się na prędkość obrotową silnika, która miała wpływ na szybkość przelewanej się wody. Pominięto zakres 0-0,3 ze względu na nieefektywność pompy. Wydajność pompy wyznaczono ze wzoru:

gdzie:

- odczytany czas napełniania zbiornika dla ustalonego współczynnika wypełnienia,

- wymiary geometryczne górnego zbiornika.

Do wyznaczenia współczynników wielomianu II stopnia (nr. równania) odzwierciedlającego charakterystykę pompy posłużono się wbudowaną funkcją środowiska MATLAB – *polyfit*, której rezultat zaprezentowano w tabelce (nr. tabelki).

gdzie:

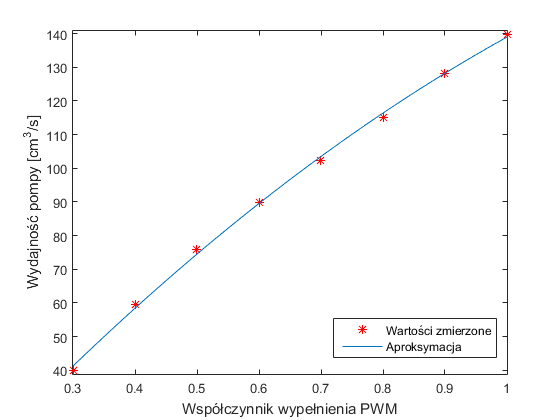
– wydajność pompy [cm3/s],

– wartość współczynnika wypełnienia PWM.

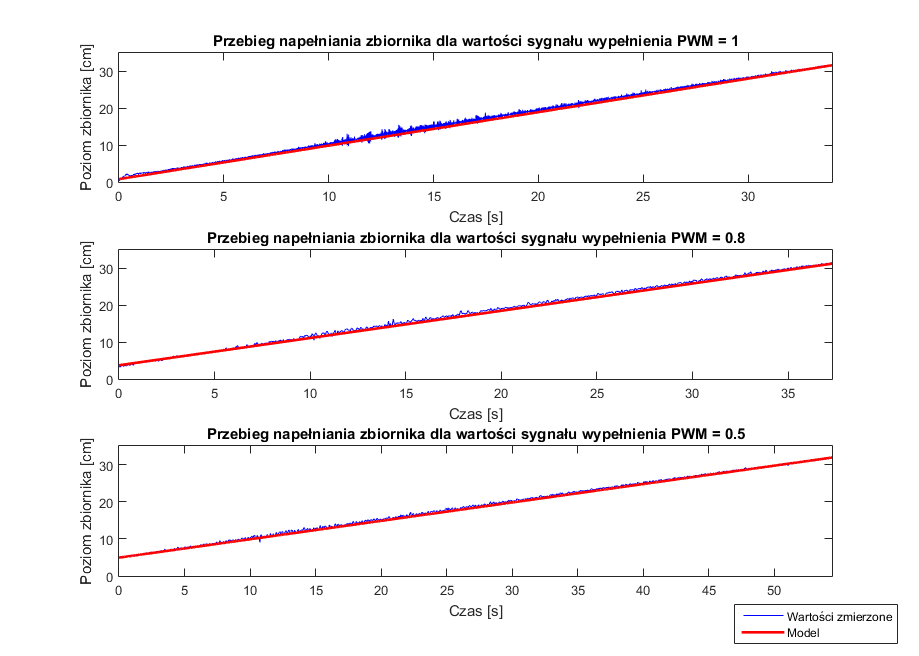
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Współczynnik | a | b | c |
| Wartość | -96.87 | 270.75 | -36.72 |

*Tab. Współczynniki wielomianu III dla charakterystyki wydajności pompy.*

Na poniższym rysunku zaprezentowano charakterystykę wydajności pompy w zależności od współczynnika wypełnienia sygnału.

****

*Rys. Charakterystyka wydajności pompy*

Na Rys. porównano działanie obiektu rzeczywistego oraz modelu pompy dla różnych wypełnień sygnału PWM. 

*Rys. Porównanie obiektu rzeczywistego i modelu pompy.*

* 1. Identyfikacja współczynników wypływu

Ostatnim etapem procesu identyfikacji było wyznaczenie parametrów wypływu modelu matematycznego (nr równania). Pierwszym krokiem w tym celu było wyznaczenie charakterystyki przepustowości elektrozaworu, która opisuje zależność pomiędzy wartością współczynnika wypełnienia sygnału PWM, a przelotowością zaworu. Wyznaczenie tej charakterystyki polegało na odczytaniu czasu opróżniania górnego zbiornika przy różnych wartości współczynnika wypełnienia. Podczas doświadczenia pompa była nieaktywna, a zawór kulowy był zamknięty. W czasie wyznaczania charakterystyki elektrozaworu sterowano sygnałem PWM z zakresu 0,4 – 1, który wpływał na stopień otwarcia zaworu. Ze względu na bardzo małą przepustowość elektrozaworu pominięto sygnał PWM z zakresu 0 - 0,4. Na podstawie wzoru () wyznaczono przelotowość zaworu.

gdzie:

- odczytany czas opróżnienia zbiornika dla ustalonego współczynnika wypełnienia,

- wymiary geometryczne górnego zbiornika,

- zmiana poziomu wody w zbiorniku.

Do wyznaczenia współczynników wielomianu II (numer równania), który odzwierciedla charakterystykę przepustowości elektrozaworu (Rys) posłużono się funkcją *polyfit*, jej rezultat umieszczono w tabelce nr .

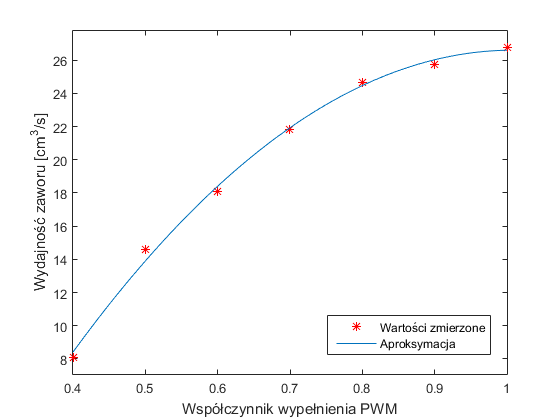
gdzie:

– przepustowość pompy [cm3/s],

– wartość współczynnika wypełnienia PWM.

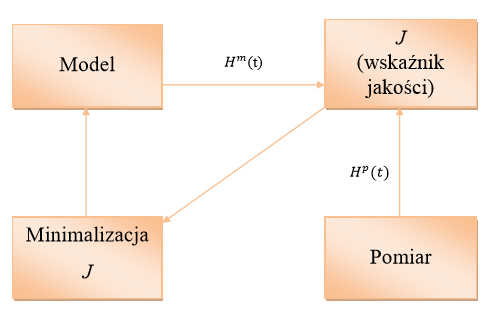
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Współczynnik | a | b | c |
| Wartość | -49.14 | 99.11 | -23.27 |

*Tab. Współczynniki wielomianu II stopnia dla charakterystyki wypływu elektrozaworu.*



*Rys. Charakterystyka wypływu elektrozaworu.*

Kolejnym krokiem było wyznaczenie współczynników C1, C2 równania (nr równania). W tym celu wykorzystano metodę strojonego modelu, polegająca na minimalizacji wskaźnika jakości, który uwzględnia różnicę pomiędzy odpowiedziami modelu oraz odpowiedziami obiektu rzeczywistego. Schemat działania tej metody przedstawiono na rysunku (nr rysunku).



*Rys Schemat metody strojenia.*

Wskaźnik jakości, który został wykorzystany w/w metodzie, został wyrażony jako suma z kwadratu różnicy poziomów cieczy wyznaczonej przez model oraz obiekt rzeczywisty.

Gdzie:

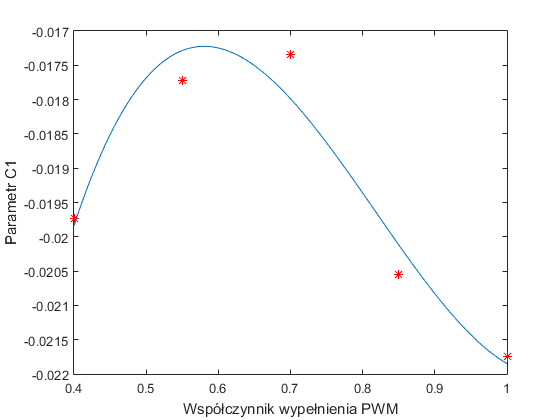
- pomiar poziomu cieczy,

- symulacja poziomu cieczy.

Podczas metody strojonego modelu wyznaczono współczynniki C1 oraz C2, jednakże dla różnych wartości wypełnienia PWM parametry te przyjmowały inną wartość. Dlatego też postanowiono wyrazić je za pomocą wielomianów, które zostały wyznaczone przez funkcję *polyfit.* W oparciu o tą funkcję współczynnik C1 został wyrażony przez wielomian III stopnia (nr równania), natomiast parametr C2 wielomianem II stopnia (nr równania). Wartości oraz przebiegi tych wielomianów zostały przedstawione w (nr tabelki) oraz na rysunku (nr rysunku).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Współczynnik | a | b | c | d |
| Wartość | 0.09 | -0.221 | 0.166 | -0.056 |

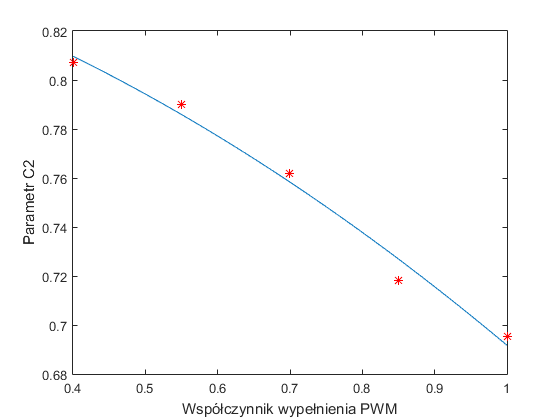
*Tab. Współczynniki wielomianu III dla parametru C1.*



*Rys*

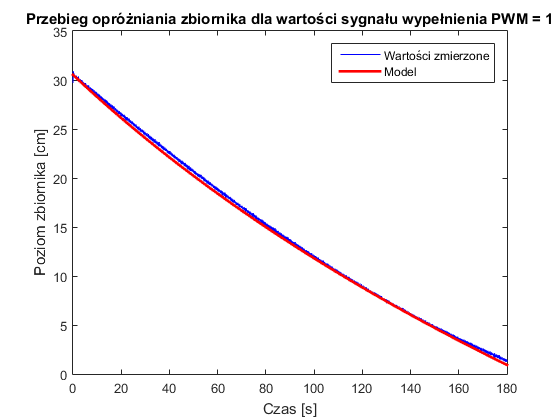
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Współczynnik | a | b | c |
| Wartość | -0.084 | -0.079 | 0.855 |

*Tab. Współczynniki wielomianu III dla parametru C2.*



*Rys tytul*

Po analizie zachowania poziomu cieczy w zbiorniku od współczynnika wypełnienia przyjeto dwustanowe sterowanie dla elektrozaworu. Dla PWM = 0 elektrozawór jest zamknięty oraz PWM = 1 – maksymalne otwarcie elektrozaworu. Na Rys.(nr rysunku) przedstwiono zachowanie modelu oraz obiektu rzeczywsitego dla współczynnika wypełnienia równego 1.

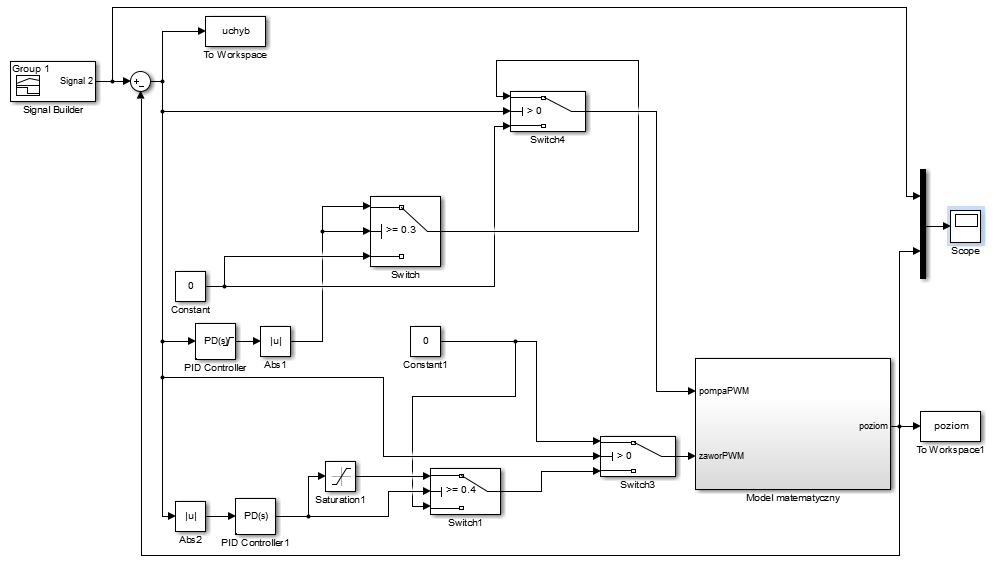


1. Ciągły układ regulacji

Pierwszym etapem działania systemu było stworzenie zamkniętego układy regulacji. W tym celu wykorzystano dwa regulatory PD, jeden dla pompy, drugi dla elektrozaworu. Założono, że elementy wykonawcze systemu nie moga działać w tym samym czasie. Zamknięty układ regulacji miał za zadanie uzyskanie zadanej wartosci referencyjnej.

* 1. Klasyczny układ regulacji ciągłej oparty na regulatorach PD

Pierwsza próba stworzenia zamkniętego układu regulacji wykorzystywała dwa regulatory PD. Poniższy rysunek przedstawia schemat układu regulacji stworzony w środowisku *Simulink*

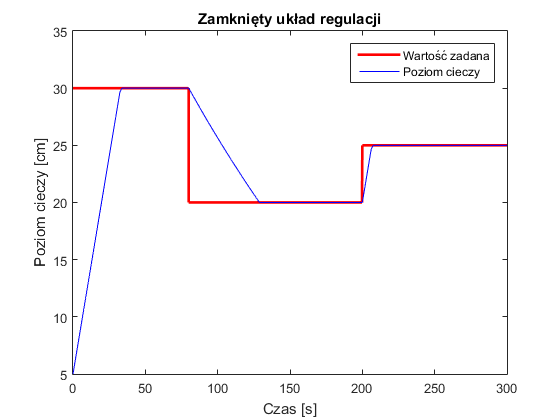


Rys. Schemat regulacji ciągłej

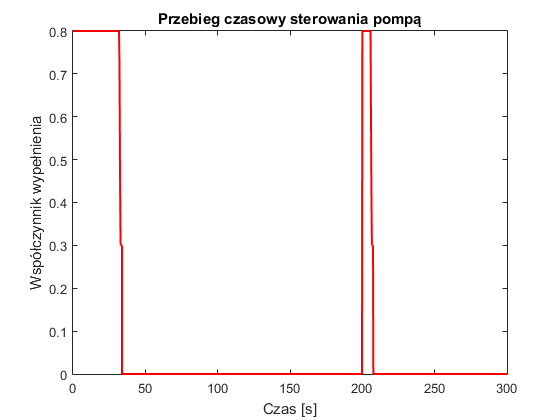
W pierwszym etapie przystąpiono do znalenienia nastaw dla regulatorów. W tym celu posłużono się funkcją *fminsearch* dostępną w środowisku *MATLAB.*  Jako wskaźnik jakości przyjęto całkę z kwadratu uchybu. Nastawy dla poszczególnych składowych regulatorów wyniosły:

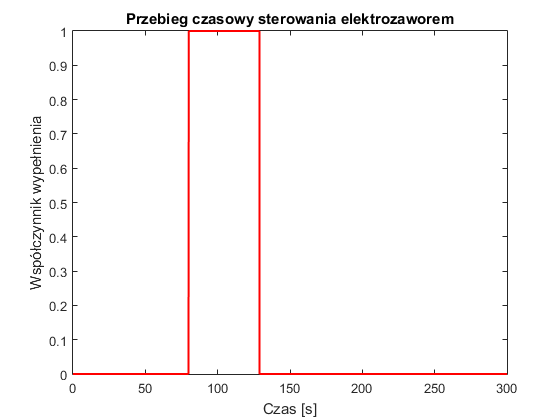
TABELA

Dla tak stworzonego modelu otrzymano następujący przebieg czasowy:



Przebiegi czasowe działania pompy oraz elektrozaworu przedstwiono na rys.





Poniżej przedstawiono działanie przyjętego rozwiązania na rzeczywistym systemie:

Jak widać działanie jest dalekie od ideału. Problem stanowi zbyt częste załączanie pompy oraz elektrozaworu. Takie działanie może prowadzić do awarii elementów wykonawczych systemu. Dodatkowa niedogodność tkwi w samym działaniu pompy: każde gwałtowne dolewanie wody powoduje ruch lustra w zbiorniku, a co za tym idzie błędny odczyt wartosci ze zbiornika.

* 1. Regulacja ciągła z histerezą

W niniejszym podrozdziale zaporoponowano sposób eliminacji problemów napotkanych w poprzedniej części pracy. Do eliminacji Kwestia kołysania lustrem wody oraz występowanie „szpilek” na wartościach sterowania rozwiązana została za pomocą histerezy oraz wypłaszczenia charakterystyki działania pompy. Skutkiem takiego podejścia jest jednakże przeregulowanie wartości

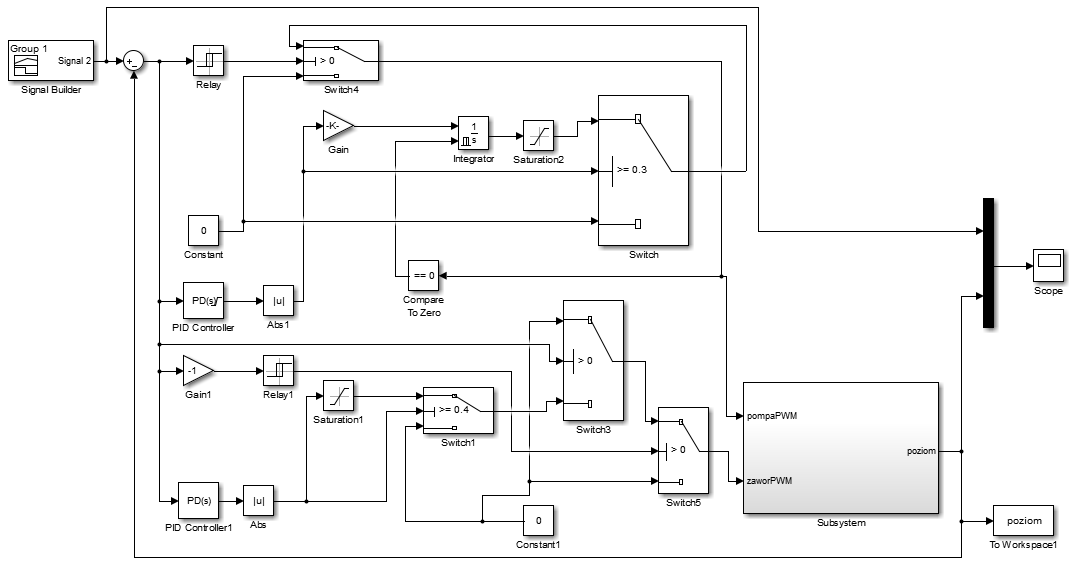
Największy problem stanowi sytuacja, w której przez zawór kulowy wypuszczna jest niewielka ilość wody. Każde obniżenie poziomu wody skutkuje natychmiastowym załączeniem się pompy, której działanie powoduje, że spadająca woda powoduje kołysanie się lustra wody w zbiorniku. Każde wyhylenie poziomu skutkuje uruchomieniem pompy lub zaworu.

Zastosowanie histerezy oraz wolego rozruchu pompy zmniejsza ampitudę wahań poziomu wody w zbiorniku podczas działania pompy. Dodatkowo w systemie regulacji dokonywano przeregulowania w przypadku działania pompy. W sytuacji, gdy poziom wody spadnie poniżej wartości wynikającej z przyjętej histerezy, uruchamiana zostaje pompa. Dzięki wykorzystaniu wolnego rozruchu pompy wahanie wody w zbiorniku zostało zminimalizowane. Przeregulowanie poziomu cieczy w zbiorniku podczas napełniania umożliwia „spokojne” osiagnięcie wartości zadanej za pomocą elektrozaworu.

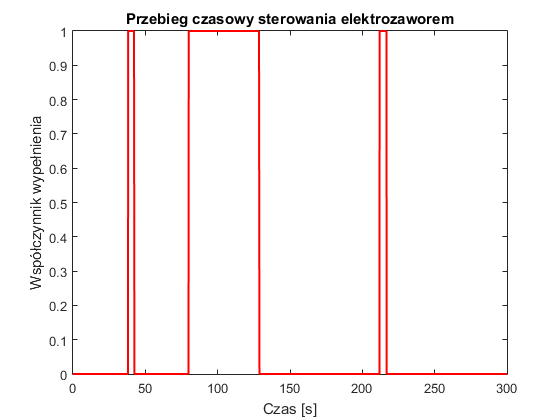
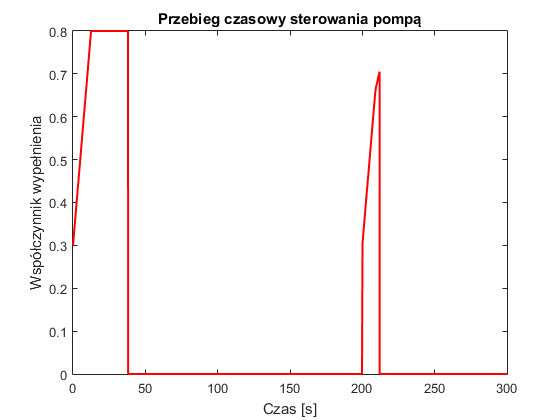
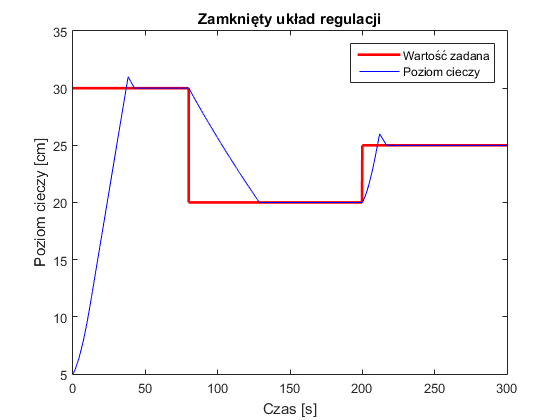
W takim podejściu należy uwzględnić następujące czynniki:

* Czas osiągnięcia ustalonej wartości zadanej ulega wydłużeniu w przypadku działania pompy. Najpierw konieczne jest przeregulowanie poziomu cieczy, a następnie osiągnięcie wartosci zadanej za pomocą elektrozaworu
* Zmianie uległ maksymalny dopuszczalny poziom wody w zbiorniku.

Model zaprezentowano na rys.



Działanie modelu przedstawiono na rys.



Przebieg czasowy dla systemu rzeczywistego przedstwaiono na rys.

1. Dyskretny układ regulacji

Następny etap stanowiła implementacja zamkniętego układu regulacji w czasie dyskretnym.

Dzialanie:

Jeżeli poziom za niski – włącz pompę, zamknięty zawór

Jeżeli pozniom za wysoki – włącz elektrozawór, wyłącz pompę

Zachowanie układu dla modelu:

**Obrazki**

Zachowanie dla rzeczywistego obiektu:

POKAZANIE DUŻEJ ILOSCI ZAŁĄCZEN ORAZ CHLAPANIE

Panalizie zachowania obiektu stwierdzono, że konieczne jest wprowadzenie histerezy

LEPIEJ DZIAŁA ALE RZUCA MOCNY STRUNMIEŃ WODY I WAHANIA LUSTRA

Wprowadzenie narastania na pompie oraz przeregulowanie i zejscie poziomem za pomocą elektrozaworu

(powód to wahania lustra wody i szumy z czunika)

Zachowanie regulatora:

Działa tylko jeden element wykonawczy: jeżeli pompa działa, zawór jest zamkniety oraz na odwrót

Działanie pompy:

Spokojne narastanie wartosci współczynnika wypełnienia, w przeciwnym razie mocne chlupnięcia wody wpływają na ruch lustra wody w zbiorniku – wprowadzanie duzych błędów na czujniku wysokości słupa cieczy.

Z powodu zaszumienia czujnika wysokości słupa cieczy oraz braku możliwości dokładnego sterowania pompą zezwolono na przesterowanie, a następnie na osiągnięcie wartosci zadanej za pomocą elektrozaworu.

Zezwolenie na przeregulowani