

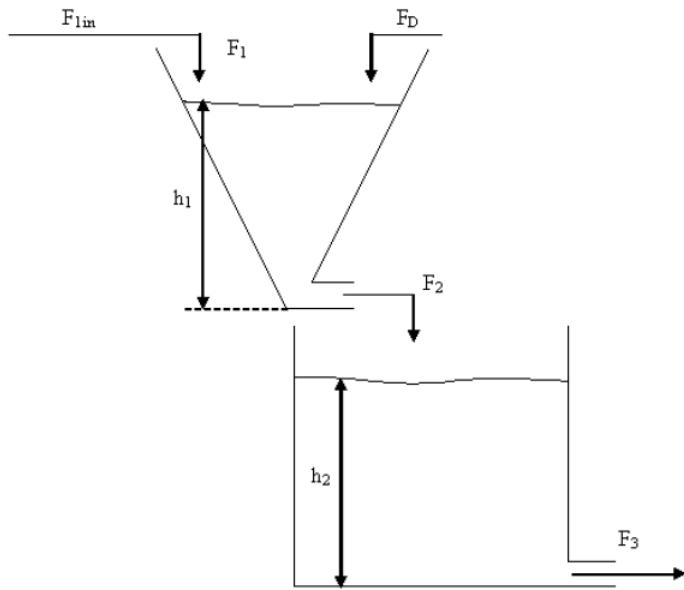
SZAU Projekt 1

Janusz Kubiak, Krzysztof Jóskowiak

17 Oct 2020

1 Wstęp

W zadaniu należało zasymulować model obiektu w kilku wariantach. Otrzymany model był zestawem dwóch połączonych szeregowo zbiorników do których były dwa dopływy, sterowany i zakłócający, oraz jeden odpływ.



Rysunek 1: Schemat obiektu.

Docelowo sterowana miała być wysokość h_2 w zbiorniku drugim. Jednakże ponieważ równania obiektu były podane dla objętości, to uznaliśmy że tym również będziemy sterować, tym bardziej, że wysokość cieczy w zbiorniku drugim zależy liniowo od objętości ($h_2 = V_2/A_2$). W związku z tym wykresy są również podane objętościowo.

Ostateczne równania różniczkowe użyte do stworzenia modelu obiektu to:

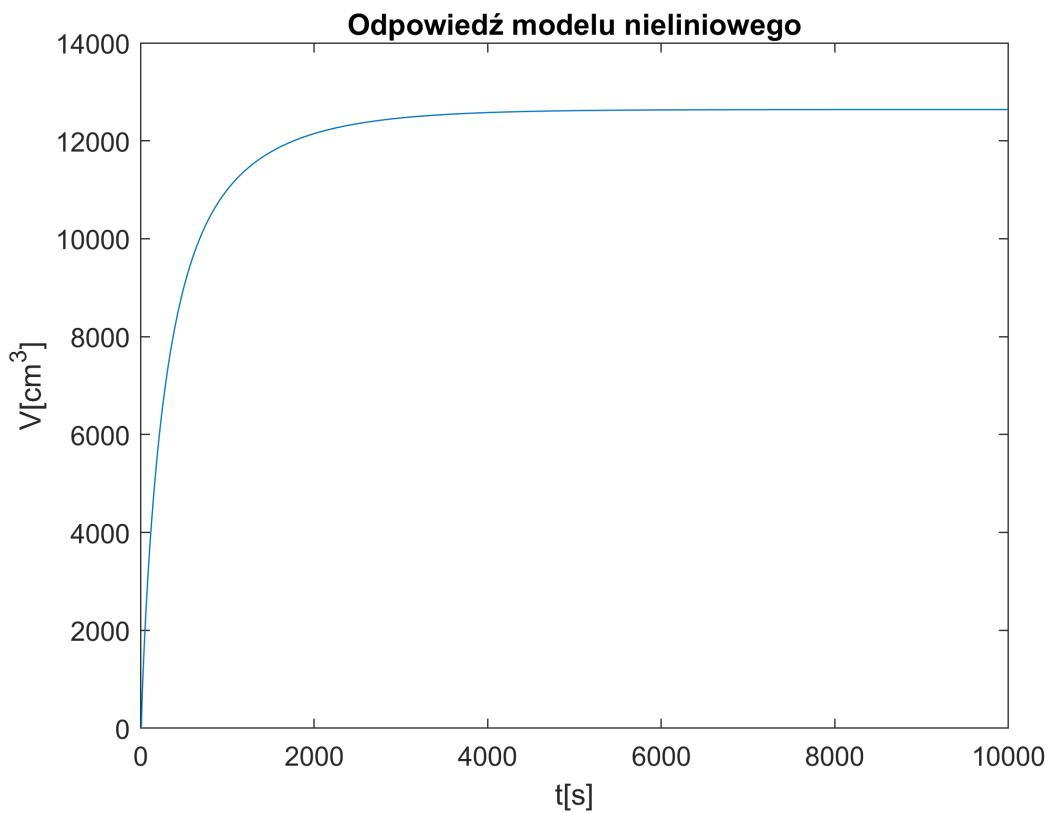
$$\frac{dV_1}{dt} = F_{1in}(t - \tau) + F_D - \alpha_1 \left(\frac{V_1(t)}{C_1} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (1)$$

$$\frac{dV_2}{dt} = \alpha_1 \sqrt[6]{\frac{V_1(t)}{C_1}} - \alpha_2 \sqrt{\frac{V_2(t)}{A_2}} \quad (2)$$

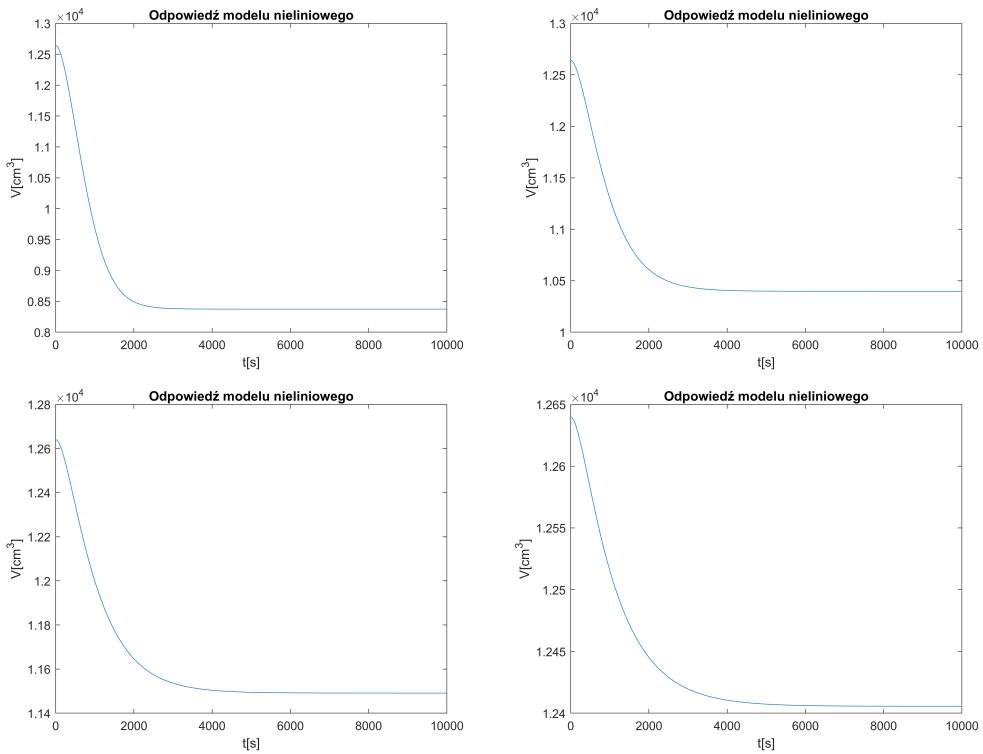
gdzie: V_i - objętość cieczy w zbiorniku i, F_{1in} - wartość wejścia, τ - opóźnienie, F_D - wejście zakłócające, α_i - stała związana z szybkością odpływu ze zbiornika i, C_1 - stała związana z relacją objętość - wysokość w zbiorniku 1, A_2 - pole podstawy zbiornika 2.

2 Symulacja obiektu

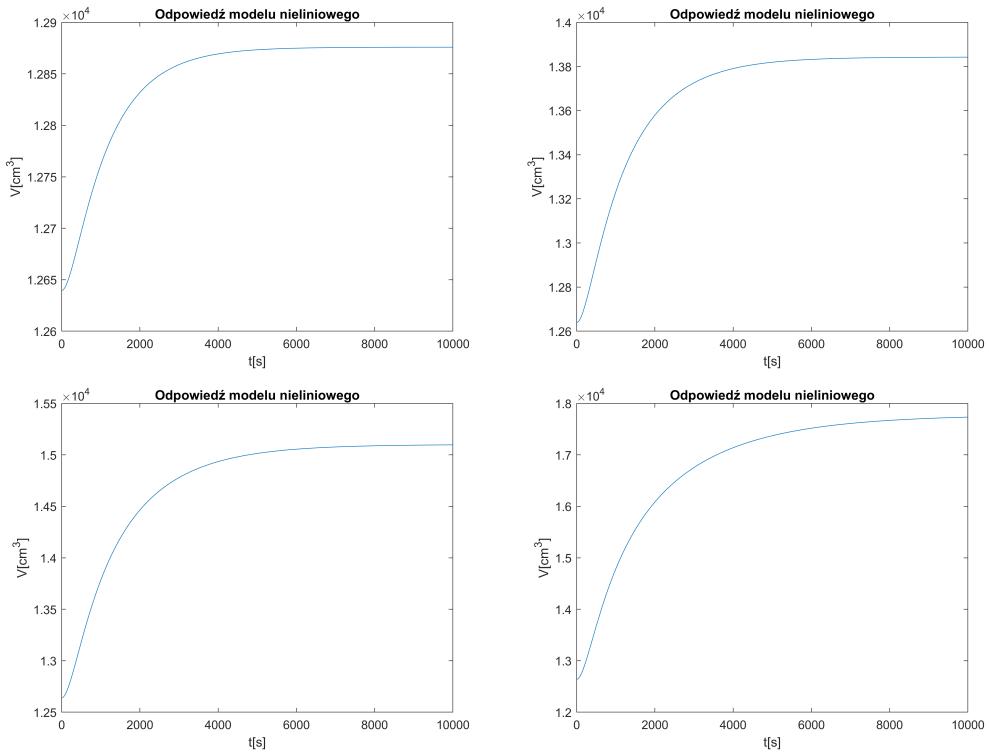
Obiekt jest dość wolny. Wartości zmiennych procesowych ustalają się po około 4000 sekund.



Rysunek 2: Reakcja obiektu na skok sterowania z zera do punktu pracy.



Rysunek 3: Reakcje obiektu na skoki odpowiednio -20, -10, -5 i -1 z punktu pracy.



Rysunek 4: Reakcje obiektu na skoki odpowiednio +1, +5, +10 i +20 z punktu pracy.

3 Model liniowy

Zlinearyzowany model został otrzymany przez przybliżenie liniowe nieliniowych elementów równań różniczkowych w punkcie pracy (pierwiastków):

$$\frac{dV_1}{dt} = F_{1in}(t - \tau) + F_D - \alpha_1 f_{lin6}(V_1(t)) \quad (3)$$

$$\frac{dV_2}{dt} = \alpha_1 f_{lin6}(V_1(t)) - \alpha_2 f_{lin2}(V_2(t)) \quad (4)$$

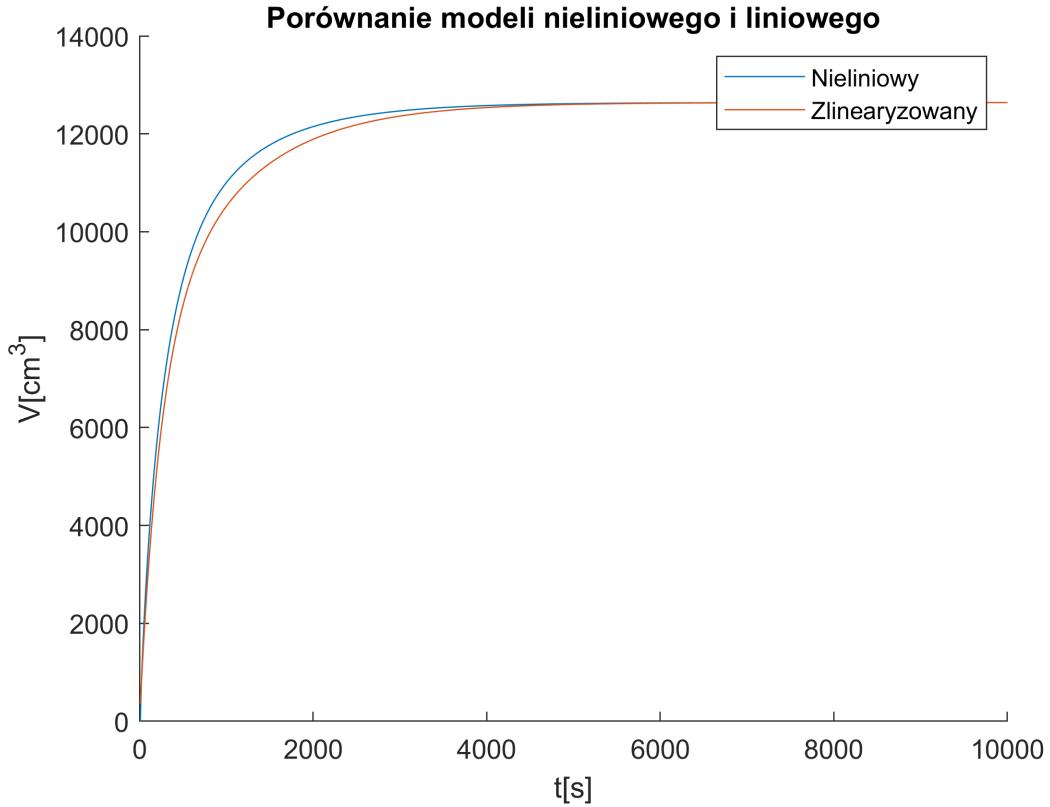
gdzie:

$$f_{lin6}(V_1(t)) = \sqrt[6]{\frac{V_{p1}}{C_1}} + \frac{V_1(t) - V_{p1}}{6C_1^{1/6}V_{p1}^{5/6}} \quad (5)$$

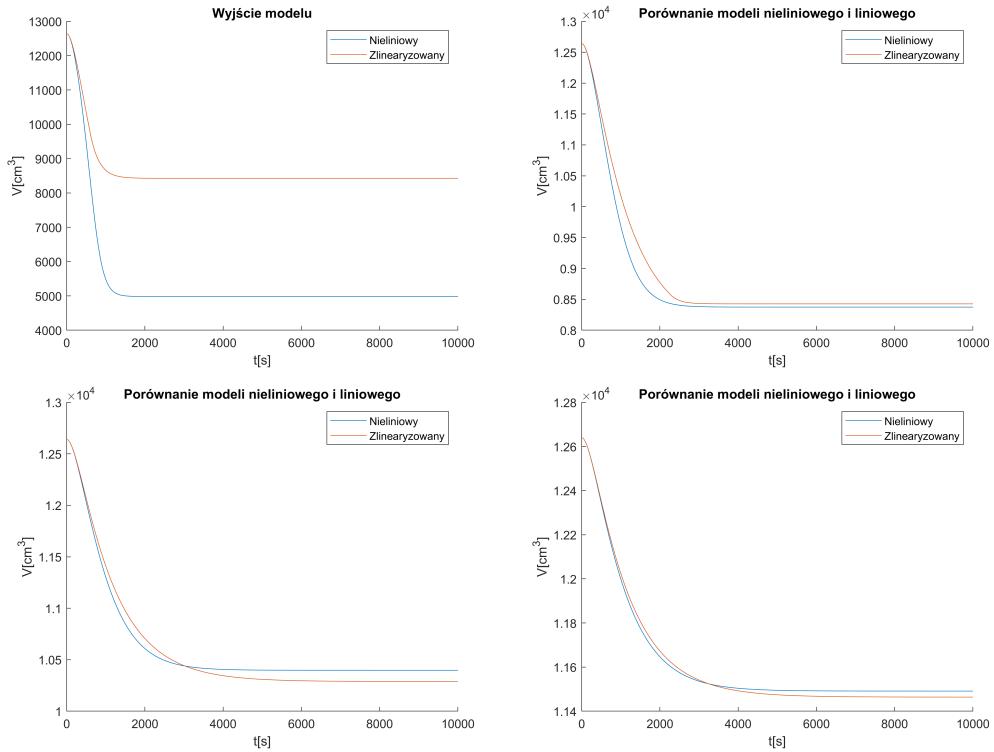
$$f_{lin2}(V_2(t)) = \sqrt{\frac{V_{p2}}{A_2}} + \frac{V_2(t) - V_{p2}}{2\sqrt{A_2}V_{p2}} \quad (6)$$

gdzie $V_{p1} = 18085\text{cm}^3$, $V_{p2} = A_2 * 45.1416 \approx 12639.5\text{cm}^3$

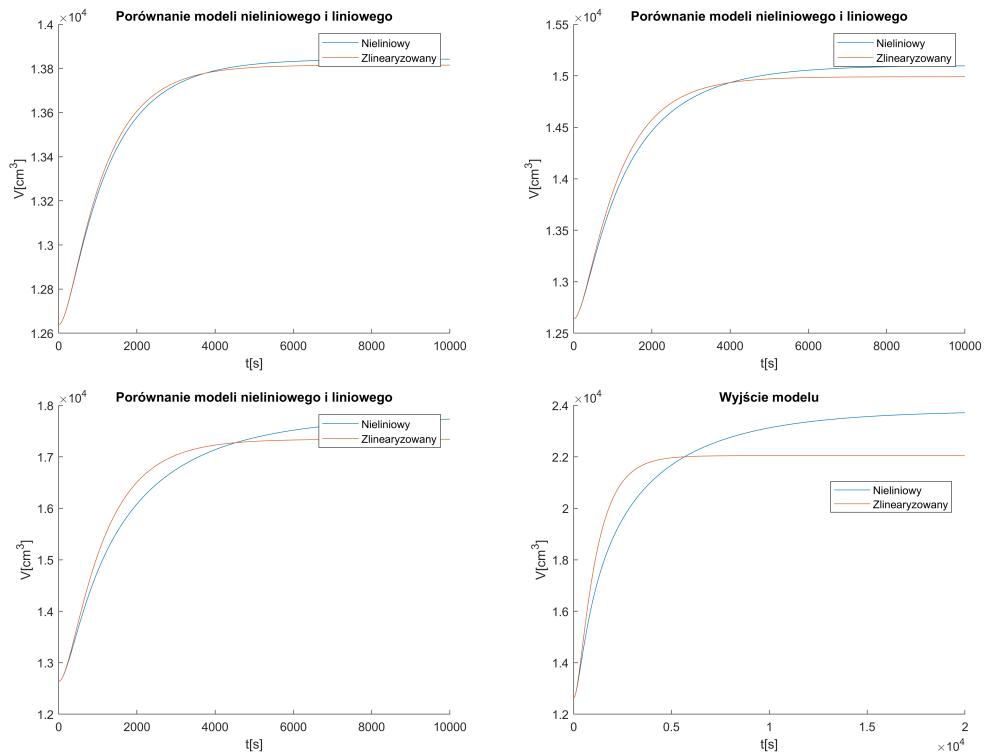
Jak widać poniżej, w okolicach punktu pracy w którym model został zlinearyzowany, odpowiedź skokowa jest bardzo podobna do odpowiedzi modelu nieliniowego. Im bardziej się od tego punktu oddalamy, tym mniej dokładne przybliżenie liniowe.



Rysunek 5: Reakcja obiektu na skok sterowania z zera do punktu pracy.



Rysunek 6: Reakcje obiektu na skoki odpowiednio -40, -20, -10 i -5 z punktu pracy.

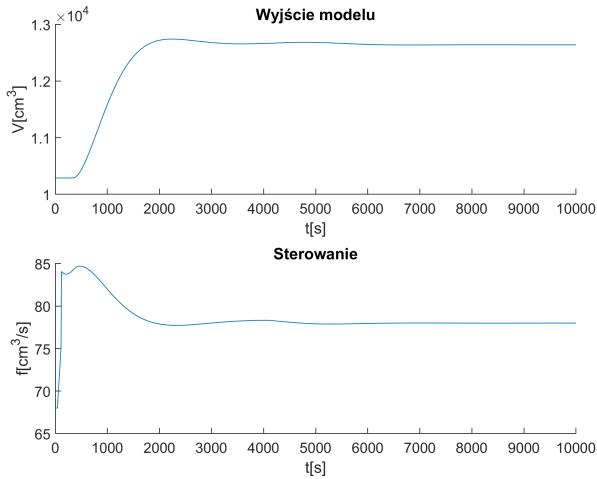


Rysunek 7: Reakcje obiektu na skoki odpowiednio +5, +10, +20 i +40 z punktu pracy.

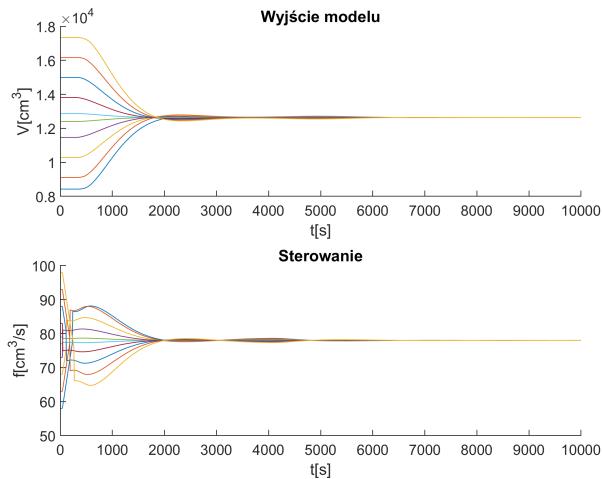
4 Regulator DMC

Podjęto próby zaimplementowania regulatora PID, ale z jakiegoś powodu były z nim bardzo duże problemy, być może przez opóźnienie wejścia. W związku z tym zaimplementowano regulator DMC.

4.1 Bez zakłóceń

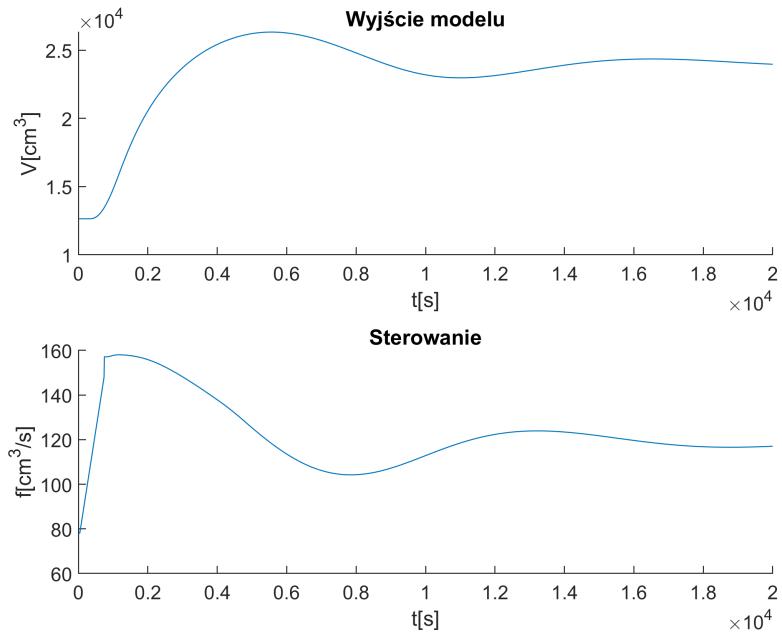


Rysunek 8: Włączenie regulatora - stan początkowy ustalony dla $Fin = 68$, do punktu pracy ($Fin=78$).

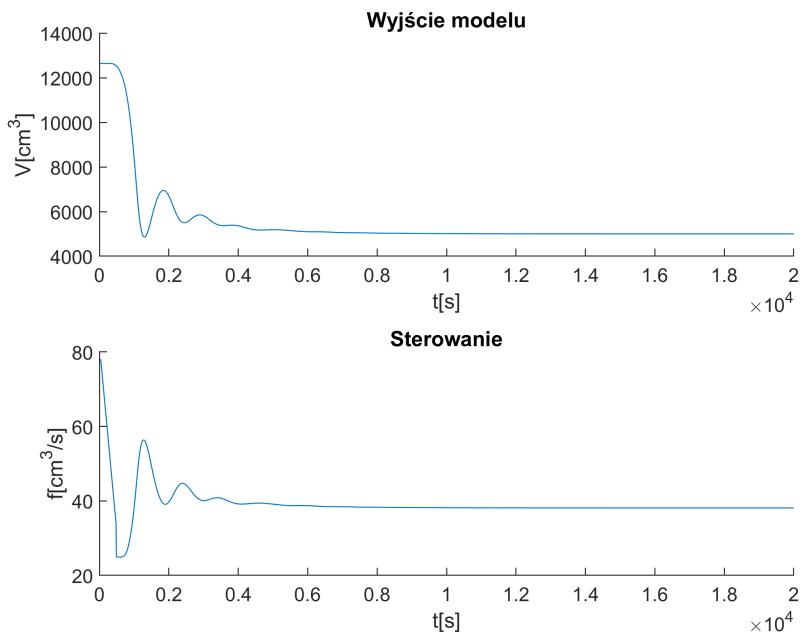


Rysunek 9: Włączenie regulatora - stan początkowy ustalony dla Fin odpowiednio: 58, 63, 68, 73, 77, 79, 83, 88, 93, 98, do punktu pracy.

Czas regulacji dla skoków w okolicy punktu pracy wynosi w zależności od wielkości skoku od ok. 1000 sekund do 3500-4000 sekund. Przesterowanie jest dość małe.



Rysunek 10: Włączenie regulatora - stan początkowy w punkcie pracy, wartość zadana 24000cm^3 .

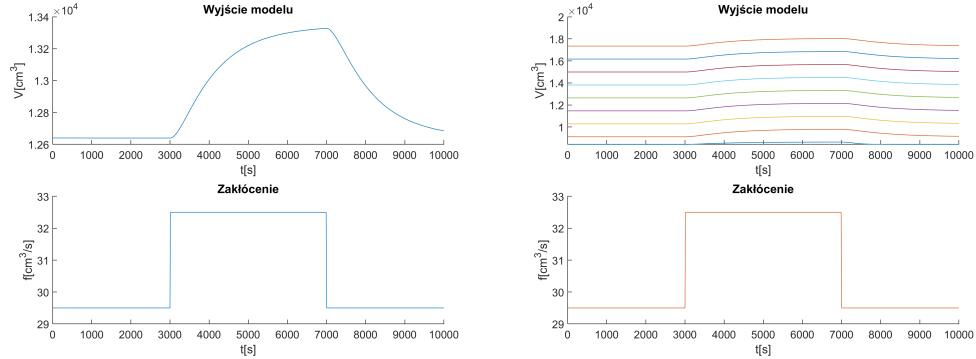


Rysunek 11: Włączenie regulatora - stan początkowy w punkcie pracy, wartość zadana 5000cm^3 .

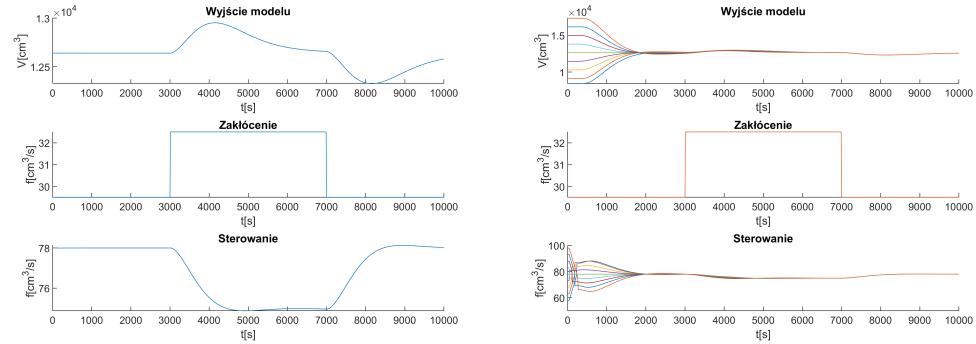
Jak widać na powyższych wykresach, dla wartości zadanych daleko od punktu pracy jakość regulacji znacznie spada - spowodowane odpowiedzią zlinearyzowaną.

4.2 Zakłóczenia

4.2.1 Wolne zmiany zakłócenia



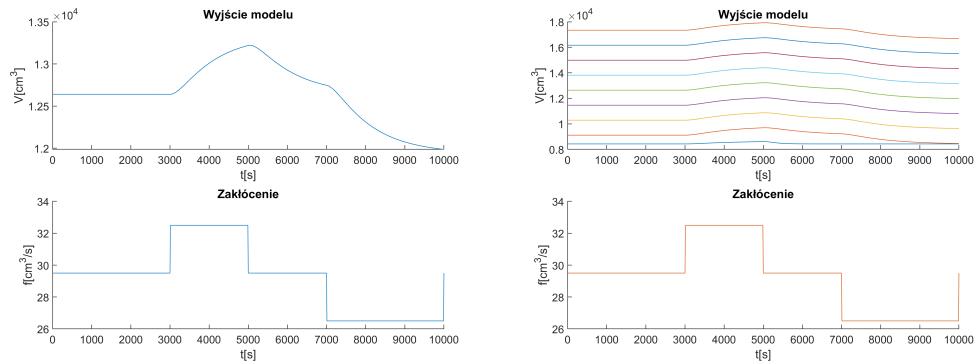
Rysunek 12: Reakcja obiektu na wolne zakłócenia.



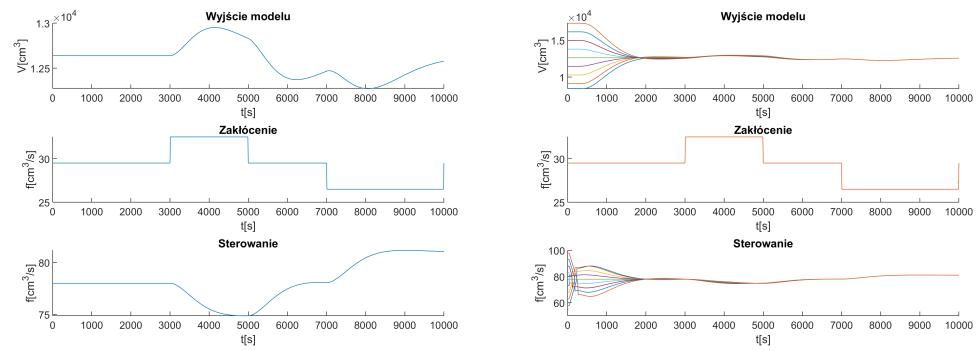
Rysunek 13: Regulacja dla wartości zadanej równej punktowi pracy.

Dla powolnych zakłóceń regulacja jest dość dobra, wartość wyjścia jest sprowadzana po pewnym czasie do wartości zadanej.

4.2.2 Średnio częste zmiany zakłócenia



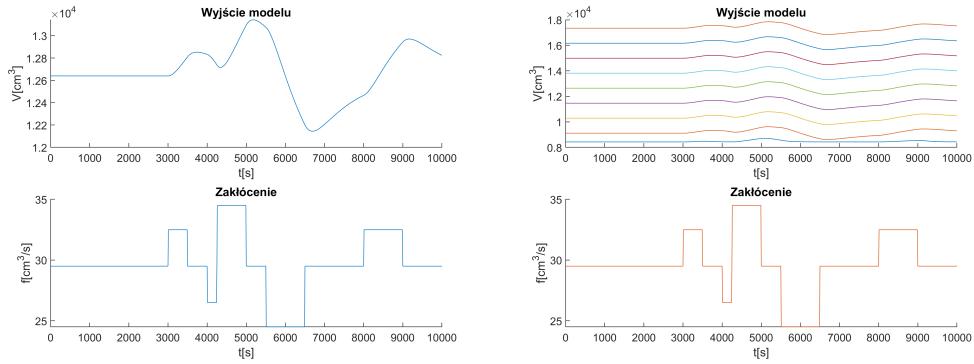
Rysunek 14: Reakcja obiektu na średnie zakłócenia.



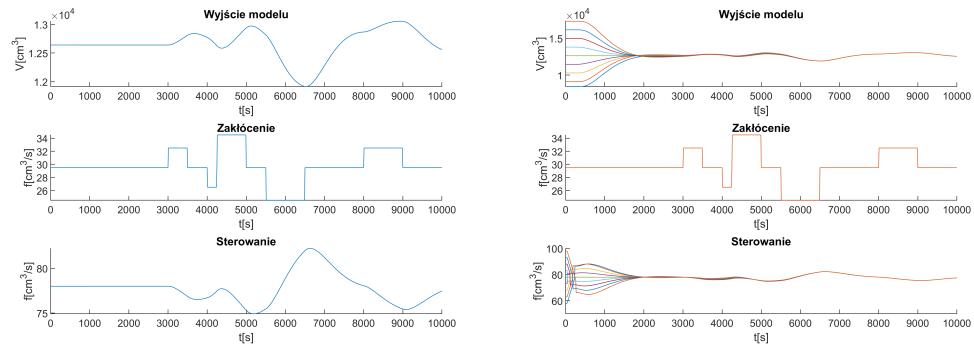
Rysunek 15: Regulacja dla wartości zadanej równej punktowi pracy.

Dla szybciej zmiennych zakłóceń regulator nie zdąży utrzymać obiektu w wartości zadanej, ale zmniejsza wpływ zakłóceń.

4.2.3 Częste zmiany zakłócenia



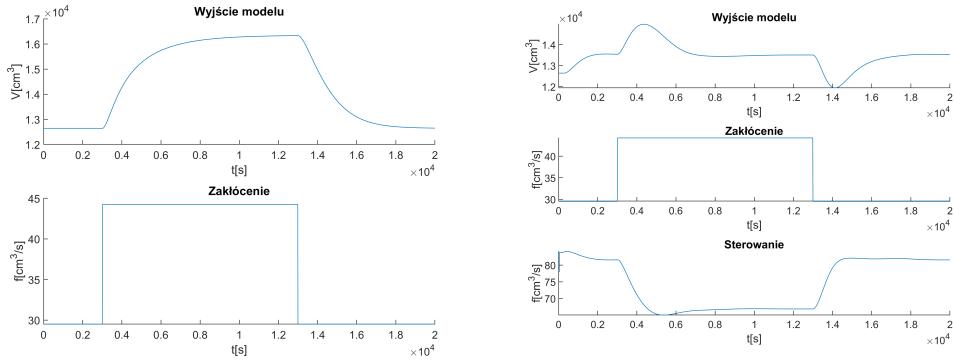
Rysunek 16: Reakcja obiektu na średnie zakłócenia.



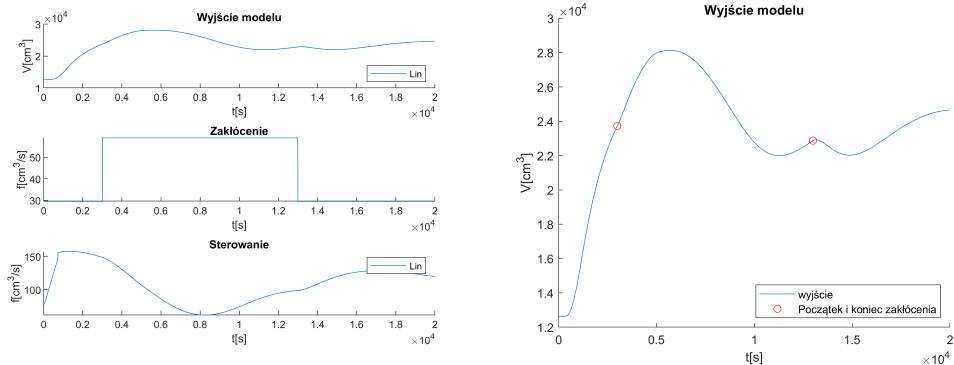
Rysunek 17: Regulacja dla wartości zadanej równej punktowi pracy.

Dla szybko zmiennych zakłóceń regulator nie nadąży stabilizować obiektu, a wręcz pogarsza sytuację. Jakość stabilizacji można by poprawić stosując pomiar zakłócenia i uwzględniając je w regulacji.

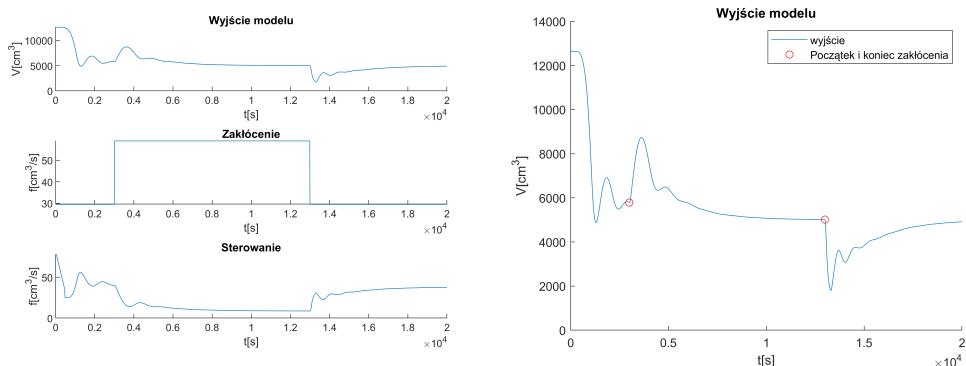
4.2.4 Duże zmiany zakłócenia



Rysunek 18: Reakcja obiektu na duże zakłócenia; Regulacja dla wartości zadanej równej punktowi pracy.



Rysunek 19: Regulacja dla dużych wartości zadanych i dużego zakłócenia.



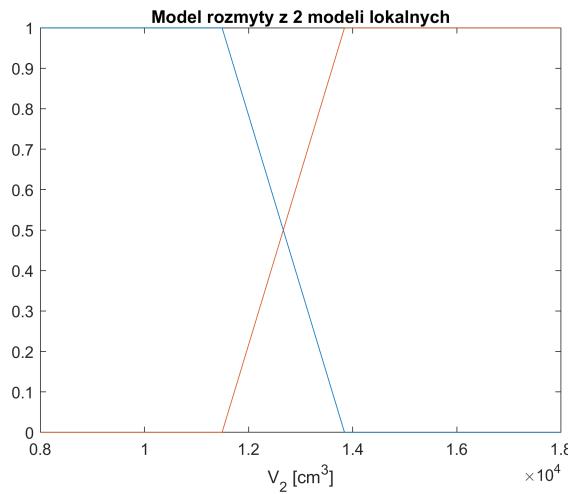
Rysunek 20: Regulacja dla małych wartości zadanych i dużego zakłócenia.

Dla zakłóceń zmieniających się bardzo w wartości ale rzadko regulator w miarę nadąża ze sterowaniem.

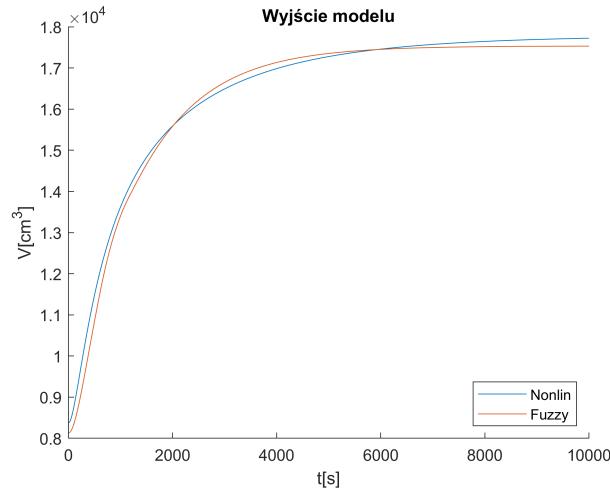
5 Modele rozmyte

Modele rozmyte typu Takagi-Sugeno otrzymano linearyzując obiekt w kilku punktach i łączącą się między modelami lokalnymi. Załamania funkcji przynależności odpowiadają punktom linearyzacji. Jak widać na poniższych wykresach porównujących modele rozmyte z modelem nieliniowym, im więcej modeli lokalnych, tym dokładniejsze przybliżenie nielinowości.

5.1 Dwa modele lokalne

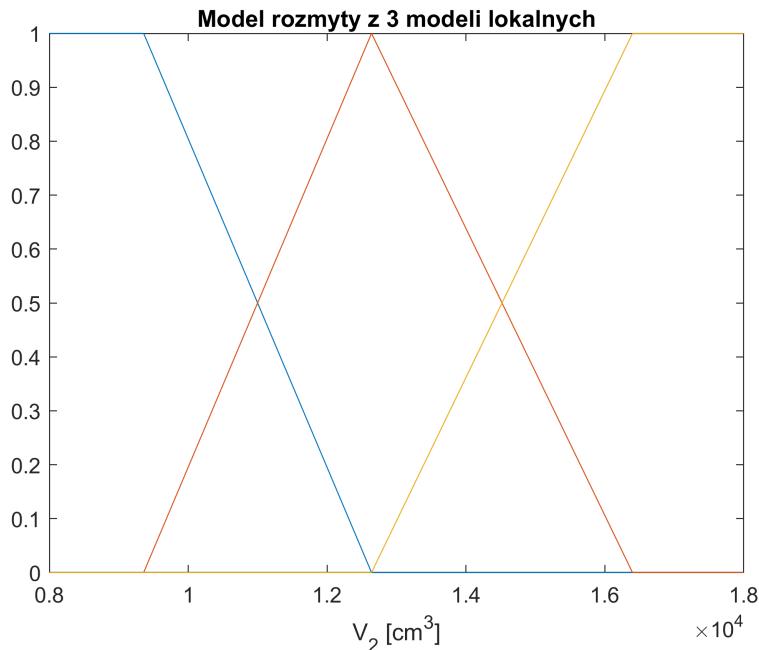


Rysunek 21: Poprzedniki.

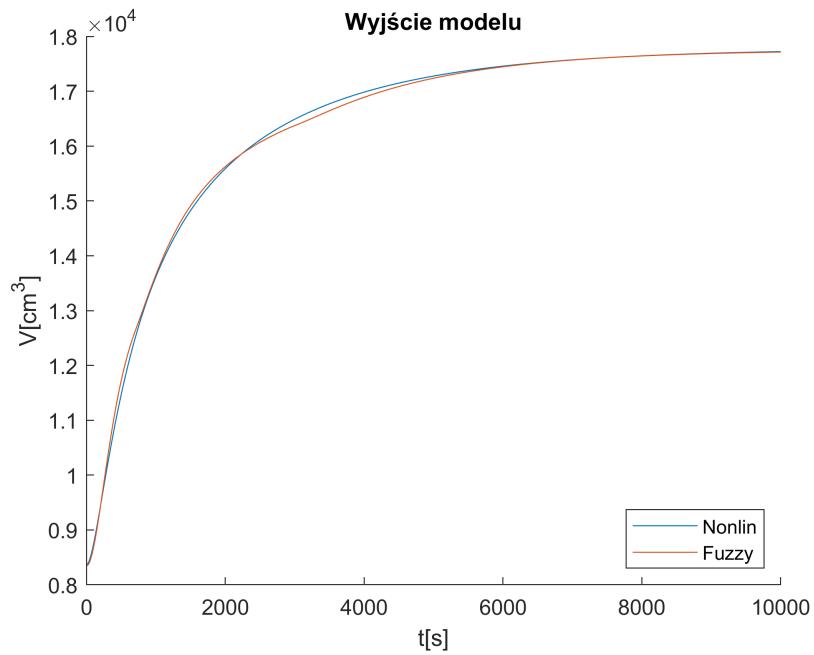


Rysunek 22: Porównanie odpowiedzi modelu nieliniowego i rozmytego dla skoku sterowania przez wszystkie punkty linearyzacji.

5.2 Trzy modele lokalne

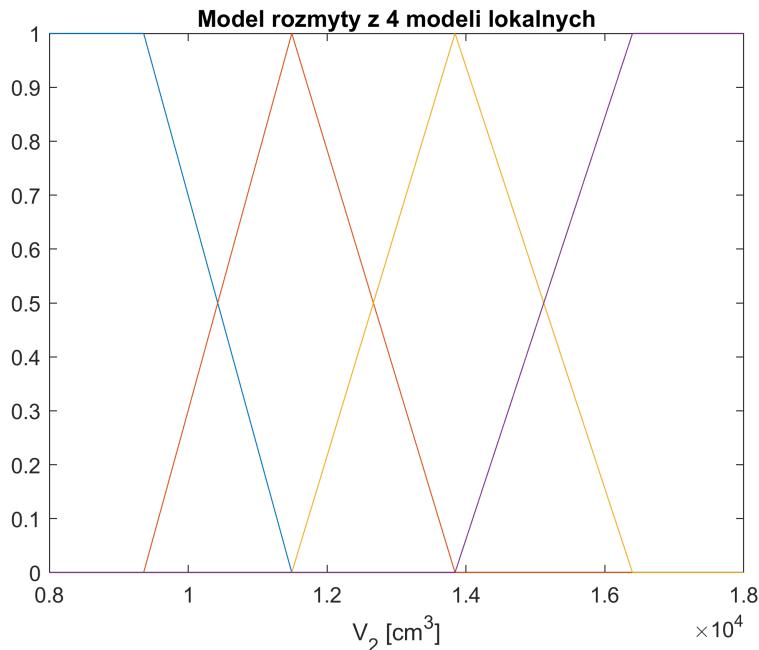


Rysunek 23: Poprzedniki.

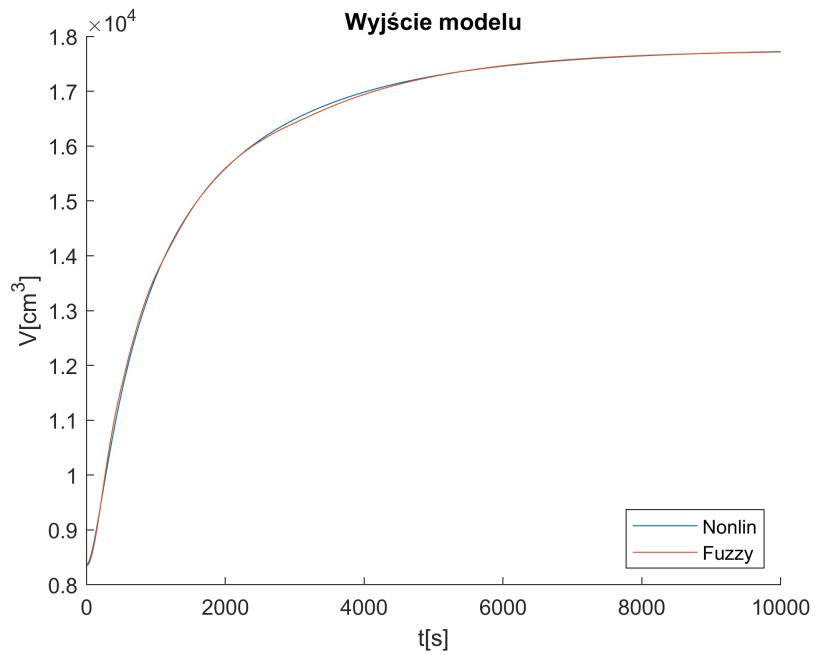


Rysunek 24: Porównanie odpowiedzi modelu nieliniowego i rozmytego dla skoku sterowania przez wszystkie punkty linearyzacji.

5.3 Cztery modele lokalne

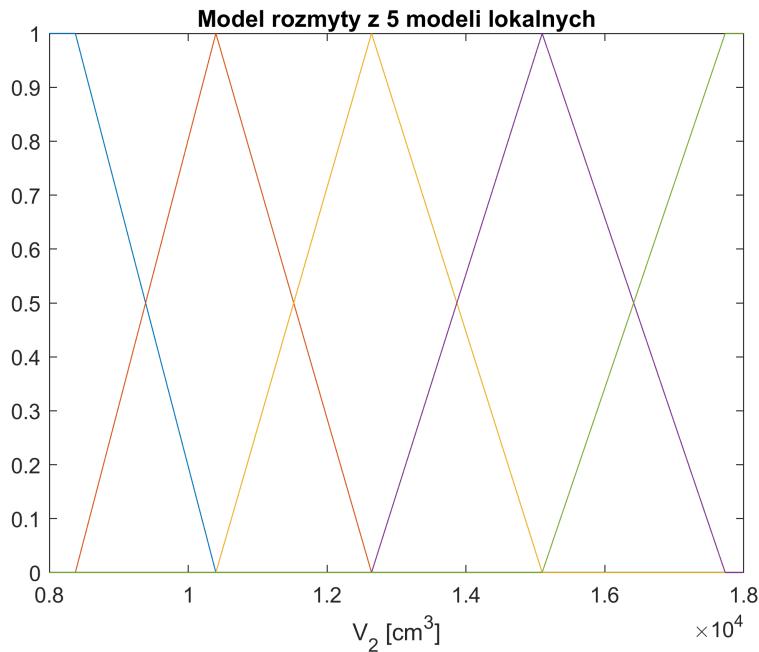


Rysunek 25: Poprzedniki.

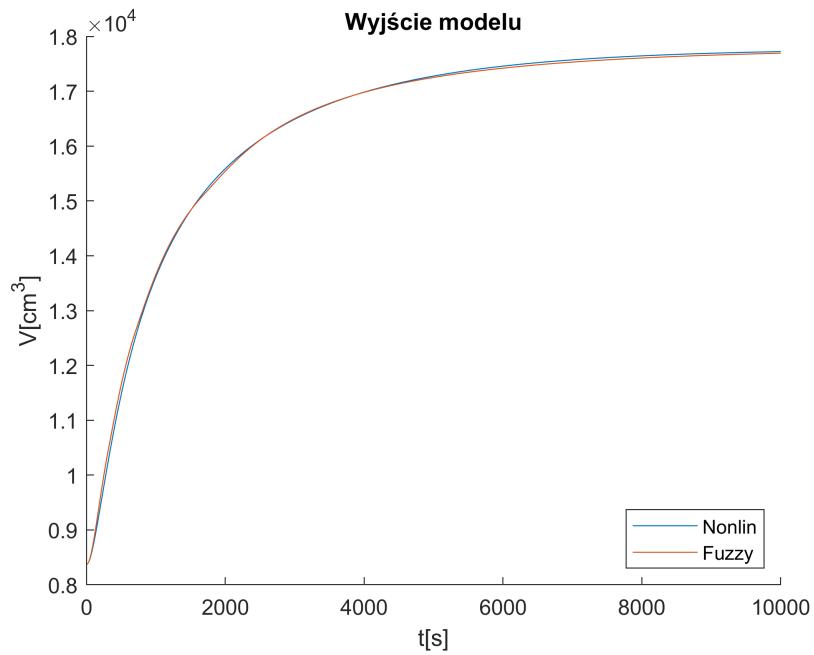


Rysunek 26: Porównanie odpowiedzi modelu nieliniowego i rozmytego dla skoku sterowania przez wszystkie punkty linearyzacji.

5.4 Pięć modeli lokalnych



Rysunek 27: Poprzedniki.

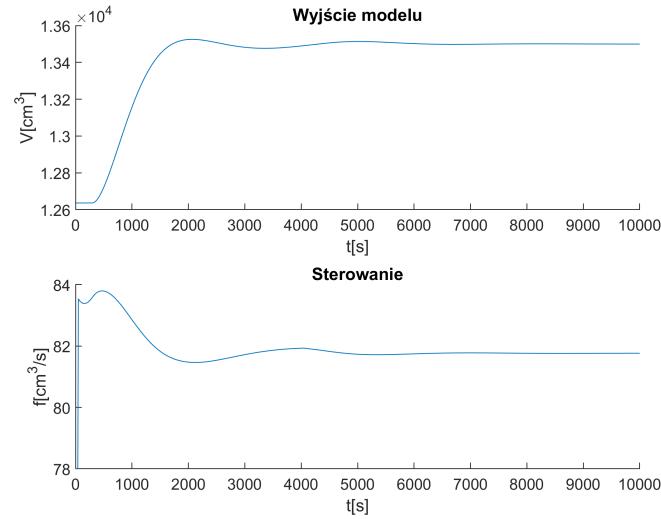


Rysunek 28: Porównanie odpowiedzi modelu nieliniowego i rozmytego dla skoku sterowania przez wszystkie punkty linearyzacji.

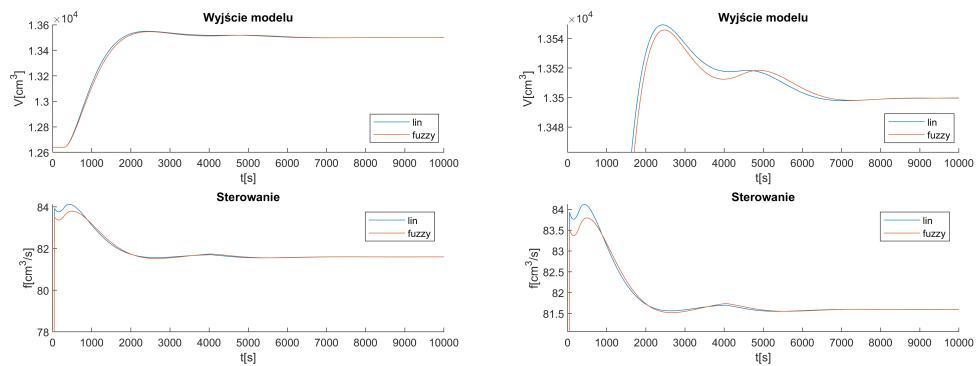
6 Rozmyty regulator DMC

Zaprojektowano regulator z trzema modelami lokalnymi. Rozmyty regulator DMC został wstępnie zaprojektowany z takimi samymi poprzednikami, jak model. Lokalne odpowiedzi skokowe zostały zebrane w tych samych miejscach, co punkty linearyzacji w modelu rozmytym. Odpowiedzi skokowe zostały zebrane w modelu rozmytym.

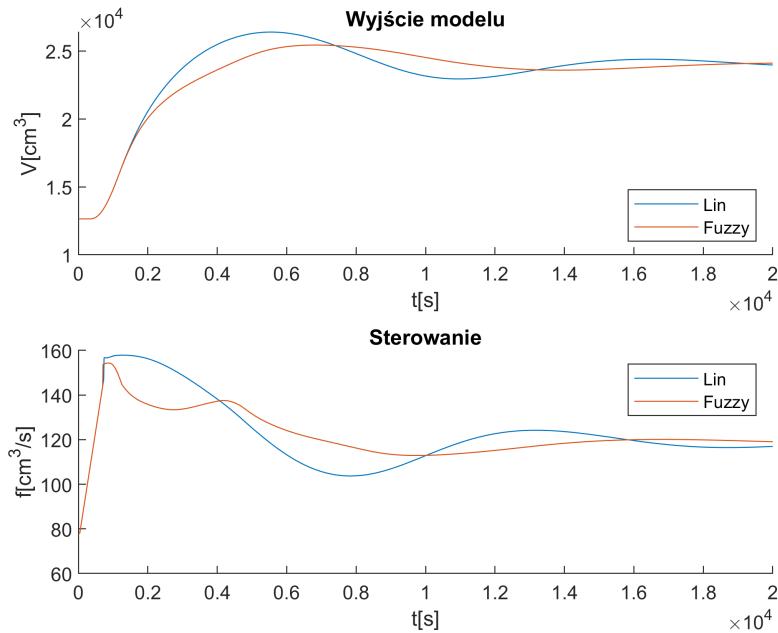
6.1 Początkowe poprzedniki



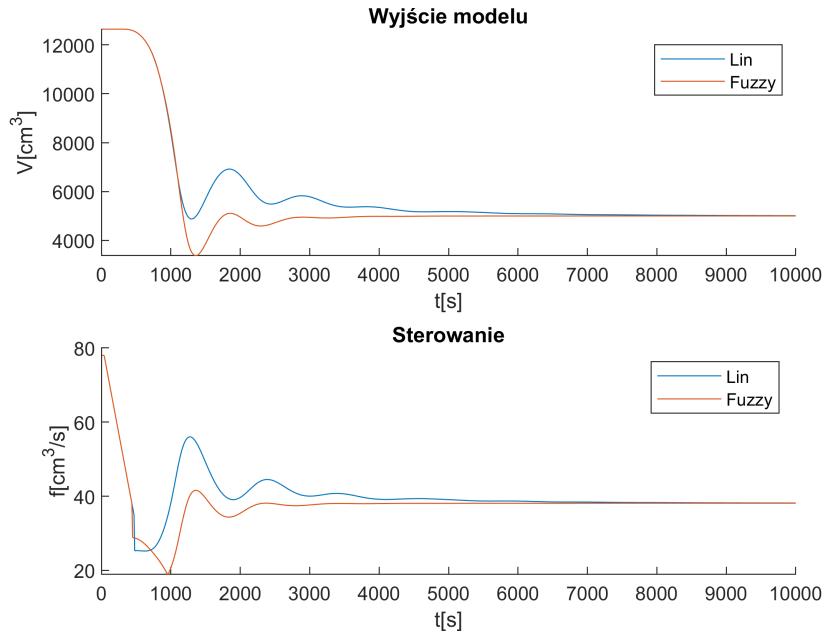
Rysunek 29: Włączenie regulacji w stanie ustalonym w punkcie pracy z wartością zadaną 13500 cm^3 .



Rysunek 30: Porównanie regulacji dla regulatora liniowego i rozmytego (3 modele lokalne) - niewielki skok.

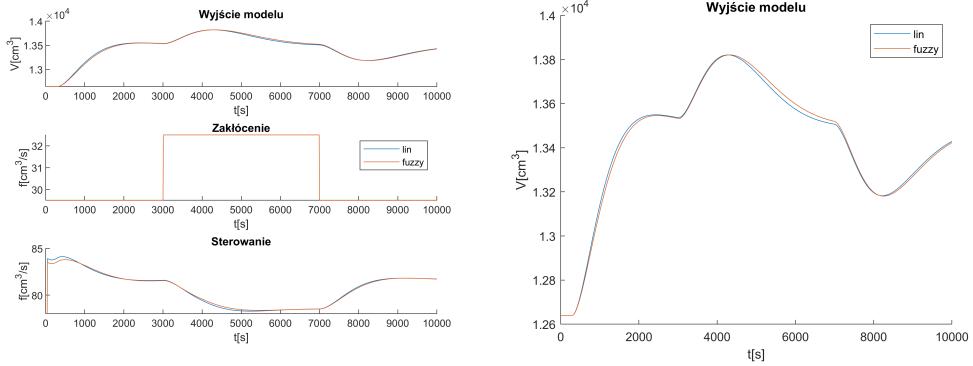


Rysunek 31: Porównanie regulacji dla regulatora liniowego i rozmytego (3 modele lokalne) - duży skok.

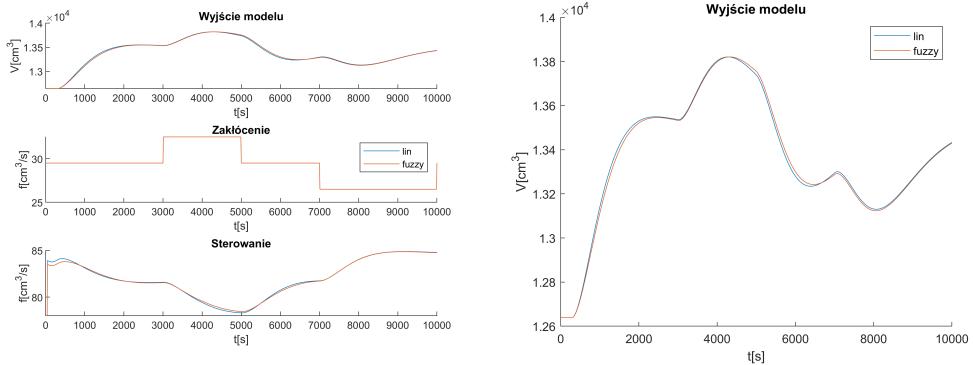


Rysunek 32: Porównanie regulacji dla regulatora liniowego i rozmytego (3 modele lokalne) - duży skok w dół.

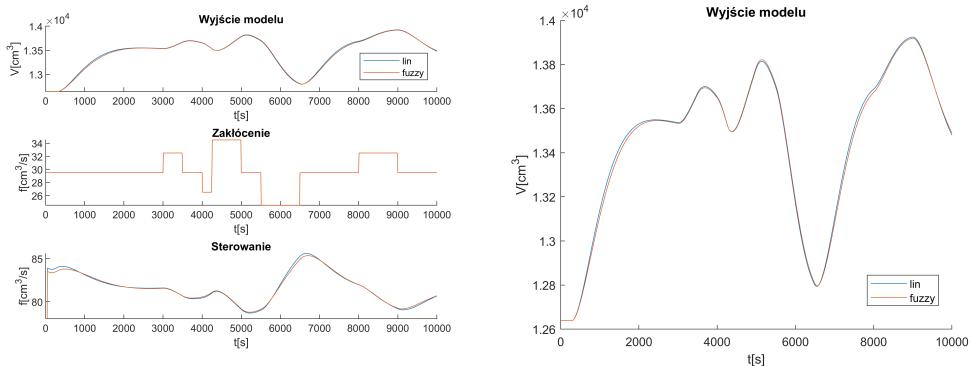
Z powyższych rysunków widać, że regulator rozmyty działa lepiej na szerszym zakresie wartości zadanych, niż nieroźmyty, ponieważ ma dokładniejszą odpowiedź skokową w większym zakresie.



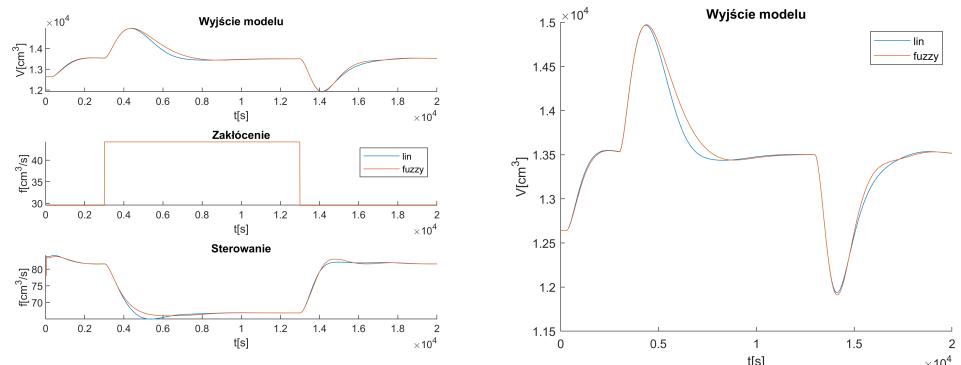
Rysunek 33: Regulacja przy wolnych zakłócenach.



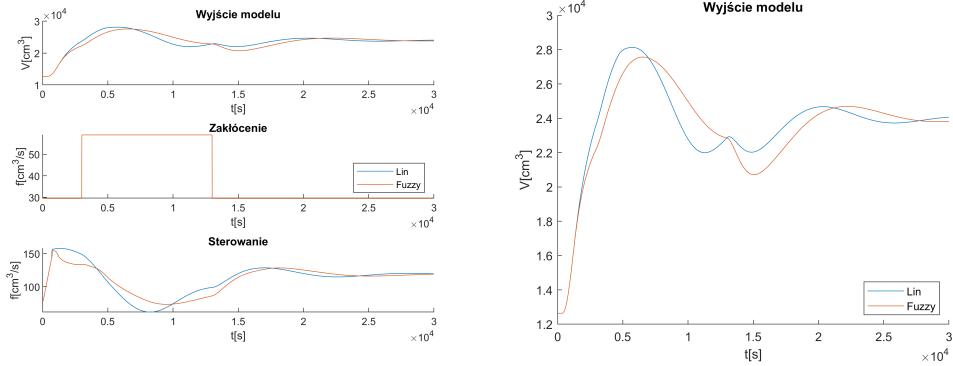
Rysunek 34: Regulacja przy średnich zakłócenach.



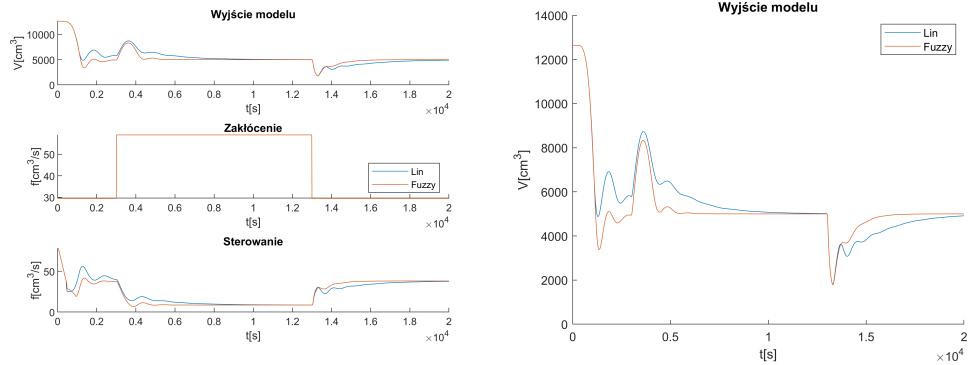
Rysunek 35: Regulacja przy szybkich zakłócenach.



Rysunek 36: Regulacja przy dużych zakłócenach.



Rysunek 37: Regulacja przy dużej wartości zadanej i dużym zakłóceniu.

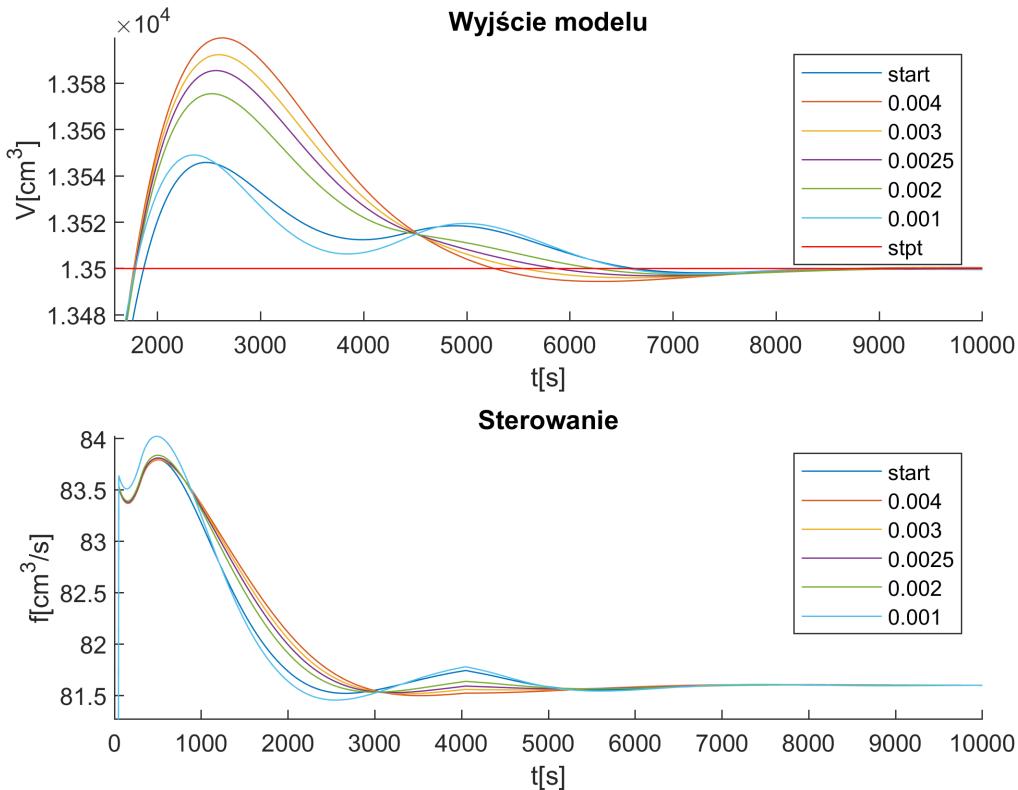


Rysunek 38: Regulacja przy małej wartości zadanej i dużym zakłóceniu.

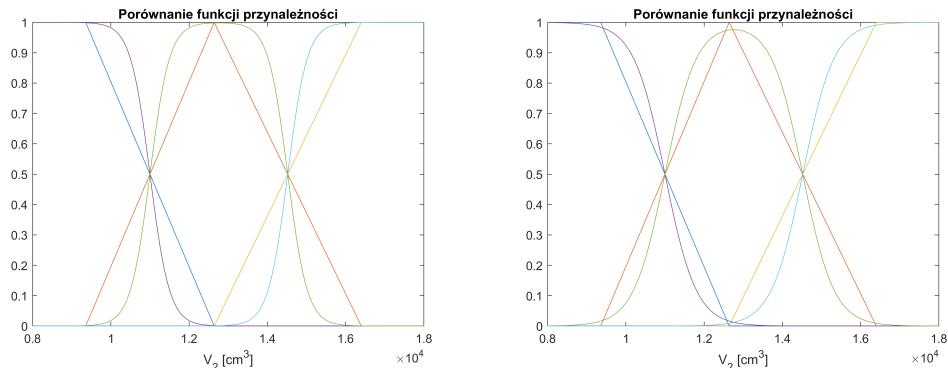
Na powyższych wykresach widać, że regulator nieroźmyty delikatnie lepiej odpowiada na nieduże zakłócenia w okolicy punktu linearyzacji. Jednakże regulator rozmyty jest wyraźnie lepszy dla wartości zadanych położonych dalej od punktu pracy. W sterowaniu widać jednak nagłe przeskoki, związane z przełączaniem modeli lokalnych.

6.2 Inne poprzedniki

Testowano regulator ze zmienionymi funkcjami przynależności: zmiany funkcji trapezowych i trójkątnych nie przynosiły poprawy, więc nie zostały przytoczone; zmiany funkcji na sigmoidalne, funkcje sigmf i dsigmf w MatLabie spowodowały delikatne zwiększenie przeregulowania, ale też poprawienie czasu regulacji i także lekkie wygładzenie sterowania. Testowano różne nachylenia sigmoidy. Testy te były wykonywane na obiekcie nieliniwym.

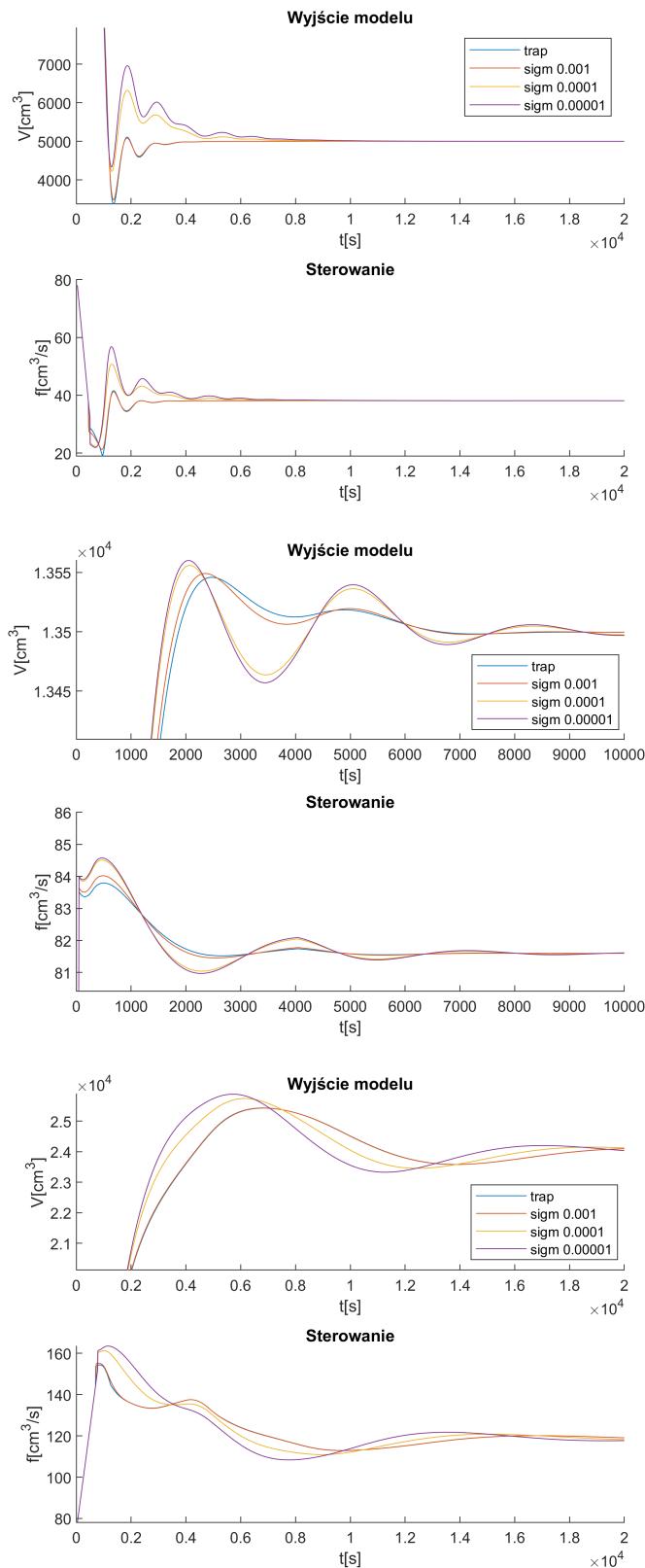


Rysunek 39: Porównanie regulacji dla sigmoidalnych funkcji przynależności.

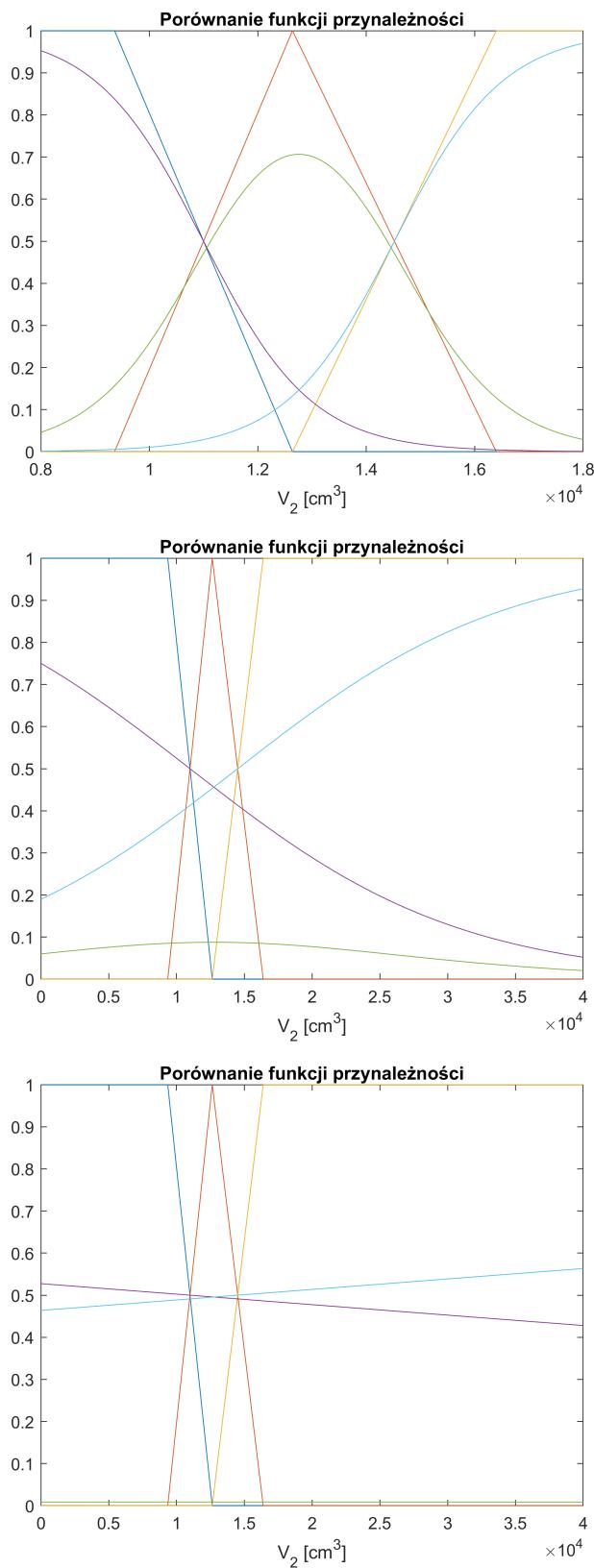


Rysunek 40: Porównanie wybranych sigmoidalnych funkcji przynależności z podstawową.
 $\sigma = 0.004, \sigma = 0.025$

Rysunek 41: Porównanie regulacji dla sigmoidalnych funkcji przynależności z podstawową.



Rysunek 42: Porównanie sigmoidalnych funkcji przynależności:
 $\sigma = 0.001$, $\sigma = 0.0001$, $\sigma = 0.00001$



Zakłócenia

Reakcja regulatorów na zakłócenia dla zastosowanych funkcji sigmoidalnych nie była lepsza od funkcji trapezowych i trójkątnych. Na zakłócenia w okolicy punktu pracy odpowiadały z podobną szybkością, lub wolniej. Na zakłócenia w punktach odległych od punktu pracy reagowały niemal identycznie, jak regulator trapezowo-trójkątny, lub znowu wolniej, czego można się było spodziewać z wyglądu funkcji przynależności. W większej odległości od punktu pracy albo korzystały z odpowiedzi skokowej w ten sam sposób, albo był również wpływ pozostałych odpowiedzi, co nie było korzystne - układ za bardzo się rozmywał.