

PROJEKT ZALICZENIOWY Z PRZEDMIOTU STEROWANIE DYSKRETNE



Temat nr 62

Układ regulacji położenia windy napędzanej
obcowzbudnym silnikiem prądu stałego o zadanych
parametrach

wykonały:

Katarzyna Ślanda

Zuzanna Tkaczyk

gr. 7, AiR, rok III, WIMiR

prowadzący: **dr inż. Marcin Nawrocki**

data oddania projektu: **09.01.2019**

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	2
2. MODEL MATEMATYCZNY.....	X
3. ANALIZA STABILNOŚCI UKŁADU	X
4. SYNTEZA REGULATORÓW	X
4.1. Regulator PID	X
4.2.	
4.3.	
5. WNIOSKI	X

1. WSTĘP

Celem projektu jest zaprojektowanie układu regulacji dla windy napędzanej obcowzbudnym silnikiem prądu stałego o zadanych parametrach, uwzględniając prędkość i przyspieszenie windy. Po wyznaczeniu modelu matematycznego i transmitancji dyskretnego obiektu, dokonano syntezy układu regulacji według trzech różnych algorytmów: regulator PID, xxx i xxx.

Poniżej przedstawiono dane, które zostały użyte w projekcie:

	Dane dotyczące silnika									Dane dotyczące windy		
	Maks. prędkość w stanie ustalonym:	Indukcyjność cewki wirnika	Oporność cewki wirnika	Bezwładność silnika	Tarcie wiskotyczne w łożyskach silnika	Stała mechaniczna	Stała elektryczna	Moc silnika	Promień bębna	Masa windy/ obciążenia	Tarcie wiskotyczne między windą a sztybem	Sprężystość liny
	$V = \left[\frac{m}{s} \right]$	$L = [H]$	$R = [\Omega]$	$J = \left[\frac{kgm^2}{s^2} \right]$	$D = \left[\frac{Nms}{rad} \right]$	$k_m = \left[\frac{Nm}{A} \right]$	$k_e = \left[\frac{Vs}{rad} \right]$	$P = [W]$	$r = [m]$	$m = [kg]$	$B = \left[\frac{Ns}{m} \right]$	$k = \left[\frac{N}{m} \right]$
62.	5	0.1	0.3	0.3	1	10	5	600	0.3	400/150	8	650000

Ponadto wykorzystano także dodatkowe parametry:

$$T_p = 0.01 [s]$$

czas próbkowania

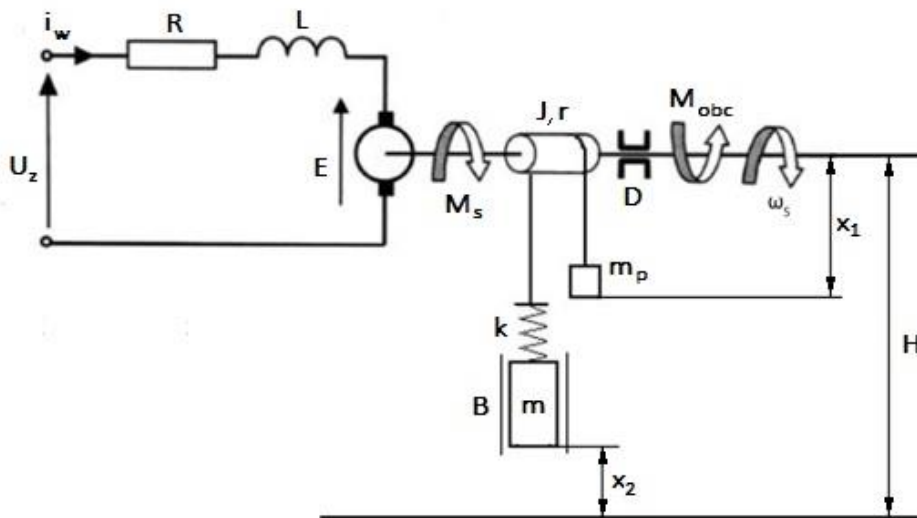
$$m_p = 550 \text{ kg}$$

masa przeciwwagi równa masie windy + masie obciążenia

Powyższe dane wprowadzono do programu Matlab w pliku dane.m

```
wyliczenie_transmitancji.m x dane.m x +
1 - V = 5; %[m/s] max predkosc w stanie ustalonym
2 - L = 0.1; %[H] Indukcyjnosc cewki wirnika
3 - R = 0.3; %[ohm] opornosc cewki wirnika
4 - J = 0.3; %[kgm2/s2] bezwladnosc silnika
5 - D = 1; %[Nms/rad] tarcie wiskotyczne w lozyskach silnika
6 - km = 10; %[Nm/A] stala mechaniczna
7 - ke = 5; %[Vs/rad] stala elektryczna
8 - P = 600; %[W] moc silnika
9 - r = 0.3; %[m] promien bebna
10 - mw = 400; %[kg] masa windy
11 - mo = 150; %[kg] masa obciazenia
12 - B = 8; %[Ns/m] tarcie wiskotyczne miedzy winda a sztybem
13 - k = 650000; %[N/m] sprzynosc liny
14 - g = 9.81; %[m/s2] przyspieszenie ziemskie
15 - m = mw+mo; %[kg] laczna masa windy i obciazenia
16 - mp = 550; %[kg] masa przeciwwagi
17 - Tp = 0.01; %[s] czas probkowania
```

2. MODEL MATEMATYCZNY UKŁADU



Rys. 1. Schemat windy napędzanej silnikiem.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat, w oparciu o który przeprowadzono obliczenia w celu wyznaczenia modelu matematycznego windy napędzanej silnikiem. Założono model windy z przeciwwagą rekompensującą siłę grawitacji działającą na windę.

Wyznaczenie modelu matematycznego układu **przedstawiono na załączniku nr 1.**

W projekcie przyjęto, że:

- wielkość wejściowa - U_z - napięcie zasilające
- wielkość wyjściowa - x_2 - przemieszczenie kabiny

oraz:

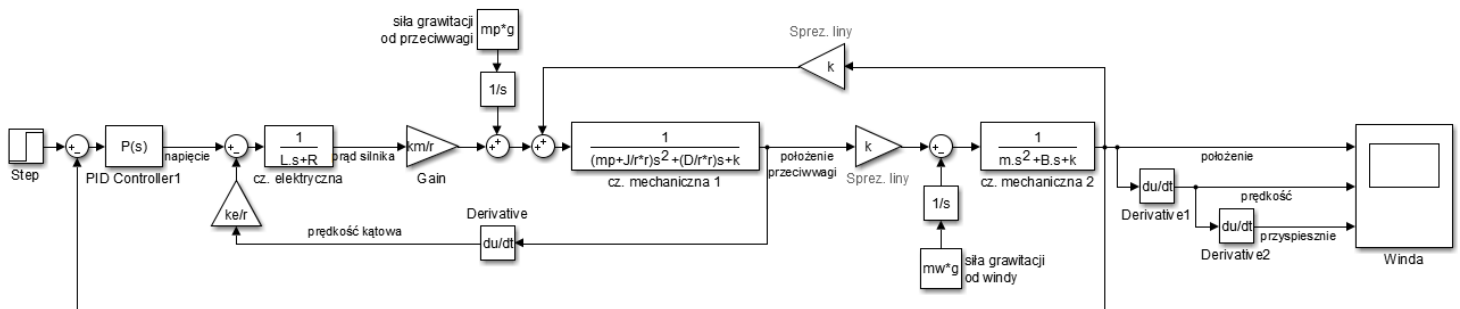
x_1 - położenie przeciwwagi

Otrzymaliśmy następujące transmitancje:

$$I = \frac{U_z - \frac{k_e}{r} s X_1}{Ls + R}$$

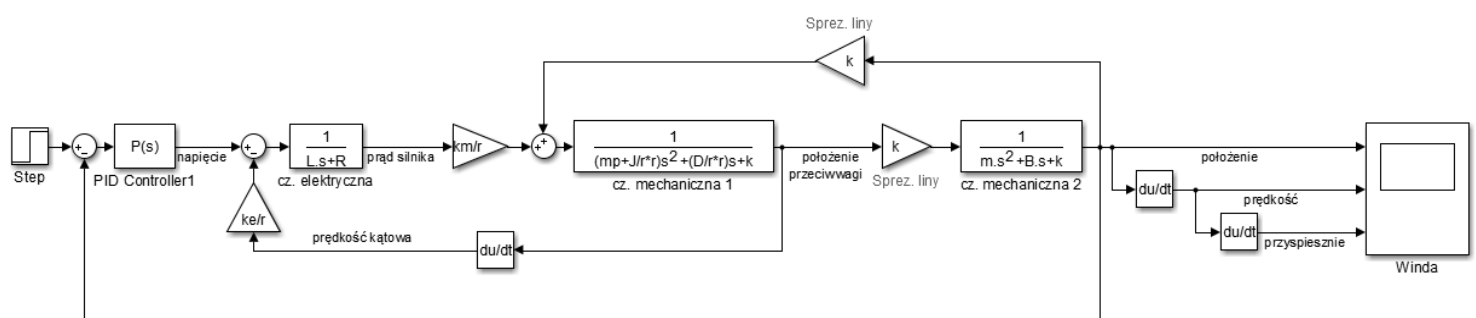
$$X_1 = \frac{\frac{k_m}{r} I + m_p g + k X_2}{\left(\frac{J}{r^2} + m_p\right) s^2 + \frac{D}{r^2} s + k}$$

$$X_2 = \frac{k X_1 - mg}{ms^2 + bs + k}$$



Rys. 2. Schemat blokowy układu z przeciwwagą i siłą grawitacji.

Następnie schemat został uproszczony poprzez zignorowanie wpływu grawitacji, ponieważ siła grawitacji działająca na windę oraz przeciwwagę znoszą się wzajemnie. W efekcie uzyskano schemat przedstawiony na rysunku 2.



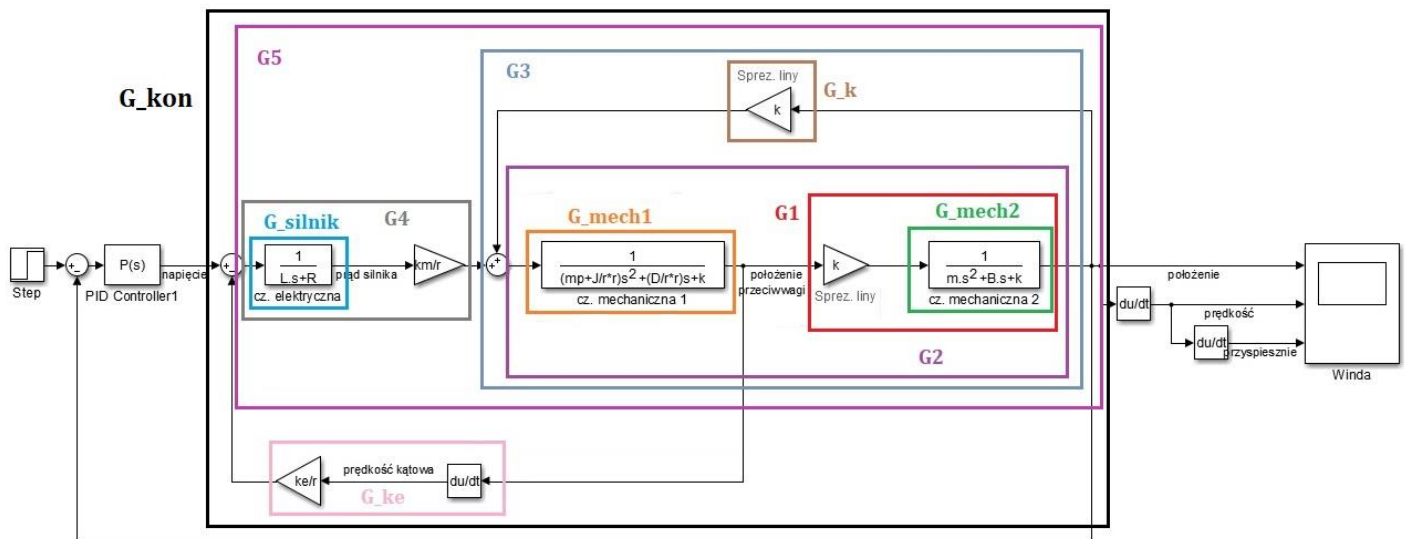
Rys. 3. Schemat blokowy układu z pominięciem wpływu grawitacji.

Następnie w celu wyliczenia transmitancji ciągłej i dyskretniej stworzony został plik w programie Matlab o nazwie `wyliczenie_transmitancji.m` przedstawiony poniżej na rysunku 4.

wyliczenie_transmitancji.m		dane.m	+
1	%wprowadzenie schematu blokowego i wyznaczenie transmitancji		
2	G_mech1 = tf([1],[mp+J/r^2) (D/r^2) k]);	%transmitancja cz. mechanicznej 1	
3	G_mech2 = tf([1],[m B k]);	%transmitancja cz. mechanicznej 2	
4	G_silnik = tf([1],[L R]);	%transmitancja silnika	
5	G_k = tf([k],[1]);	%transmitancja dodatniego sprzężenia z parametrem k	
6	G_ke = tf([ke/r 0],[1]);	%transmitancja ujemnego sprzężenia	
7			
8	G1 = series(G_mech2,k);	%transmitancja czesci mech. 2 i parametru k	
9	%przenosimy sprzężenie zwrotne za blok G1		
10	G2 = series(G1,G_mech2);	%transmitancja obu cz. mechanicznych	
11	G3 = feedback(G2,G_k,1);	%transmitancja obu cz. mech. i dodatniego sprzężenia	
12	G4 = series(G_silnik,km/r);	%transmitancja czesci elektrycznej i parametru km/r	
13	G5 = series(G3,G4);	%transmitancja toru głównego	
14	G6 = series(G_ke,1/G1);	%transmitancja sprzężenia zwrotnego	
15			
16	G_kon = feedback(G5,G6,-1)	%transmitancja ciagla	
17	[lc,mc] = tfdata(G_kon,'v')	%wspolczynniki licznika i mianownika trans. ciaglej	
18	[ldzoh,mdzoh] = c2dm(lc,mc,Tp,'zoh')		
19	Go=tf(lc,mc);	%transmitancja obiektu	
20	Godys=tf(ldzoh,mdzoh,Tp)	%transmitancja dyskretna metoda ZOH	
21	[l wsp, m wsp] = tfdata(Godys, 'v')	%wspolczynniki transmitancji dyskretniej	

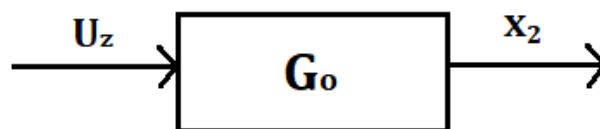
Rys. 4. Plik obliczający transmitancję obiektu.

Poniżej na rysunku 5 przedstawiono także powyższe przekształcenia schematu blokowego w celu znalezienia transmitancji obiektu G_o .



Rys. 5. Graficzne przedstawienie przekształceń schematu blokowego.

Ostatecznie doszliśmy do postaci:



W wyniku powyższych obliczeń otrzymano wzory na:

- transmitancję ciągłą obiektu G_o

$G_o =$

$$\frac{1.408e13}{1.966e10 s^5 + 5.956e10 s^4 + 4.668e13 s^3 + 1.401e14 s^2 + 2.368e14 s}$$

- transmitancję dyskretną obiektu G_{odys}

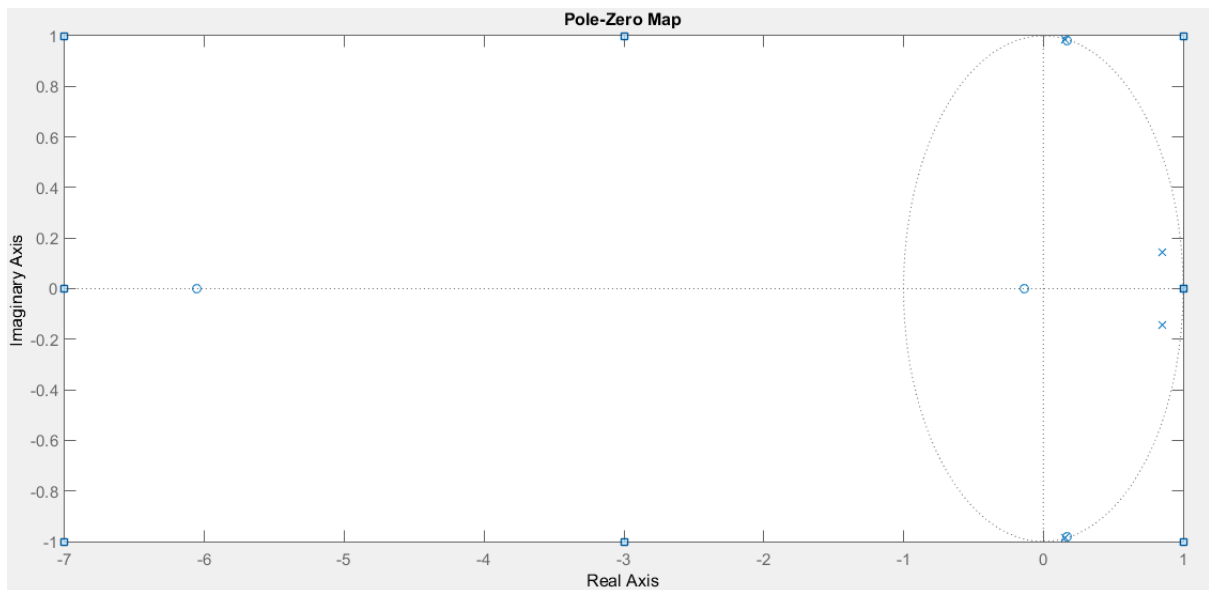
$G_{odys} =$

$$\frac{3.307e-05 z^4 + 0.0001938 z^3 - 8.198e-06 z^2 + 0.0001935 z + 2.74e-05}{z^5 - 3.004 z^4 + 4.264 z^3 - 4.18 z^2 + 2.659 z - 0.7387}$$

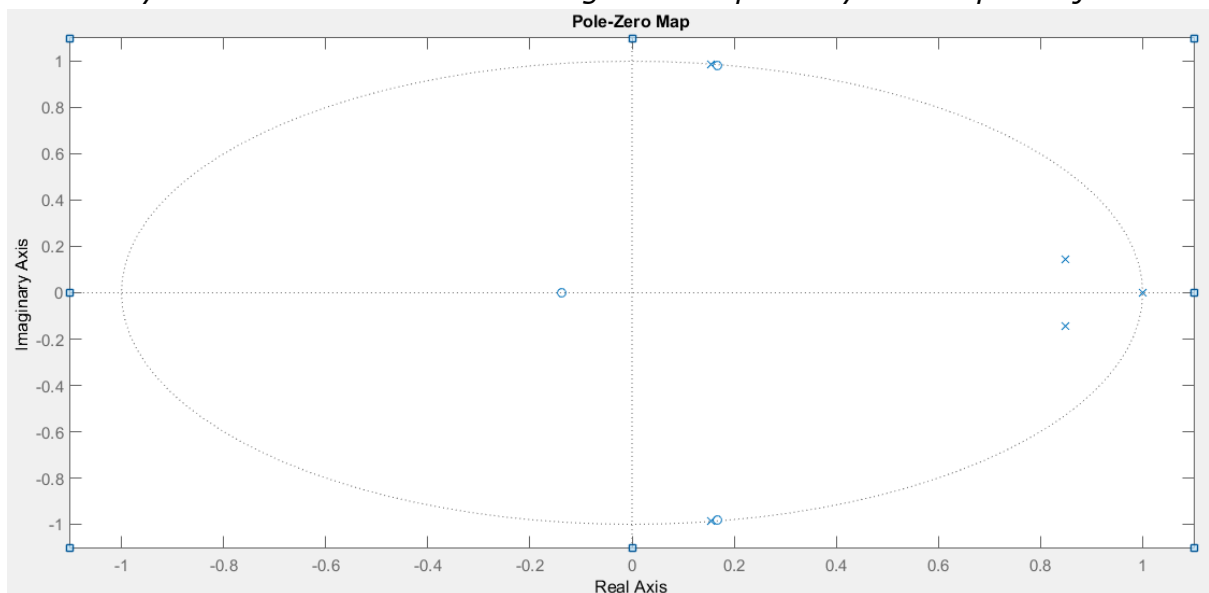
3. ANALIZA STABILNOŚCI UKŁADU

W celu wykonania analizy stabilności układu dyskretnego wykorzystano funkcję Matlab'a pzmap. W wyniku jej użycia otrzymano wykres przedstawiony na rysunku 6 oraz 7.

Bieguny oznaczono symbolem x, natomiast zera symbolem o.



Rys. 6. Przedstawienie zer i biegunów na płaszczyźnie zespolonej.

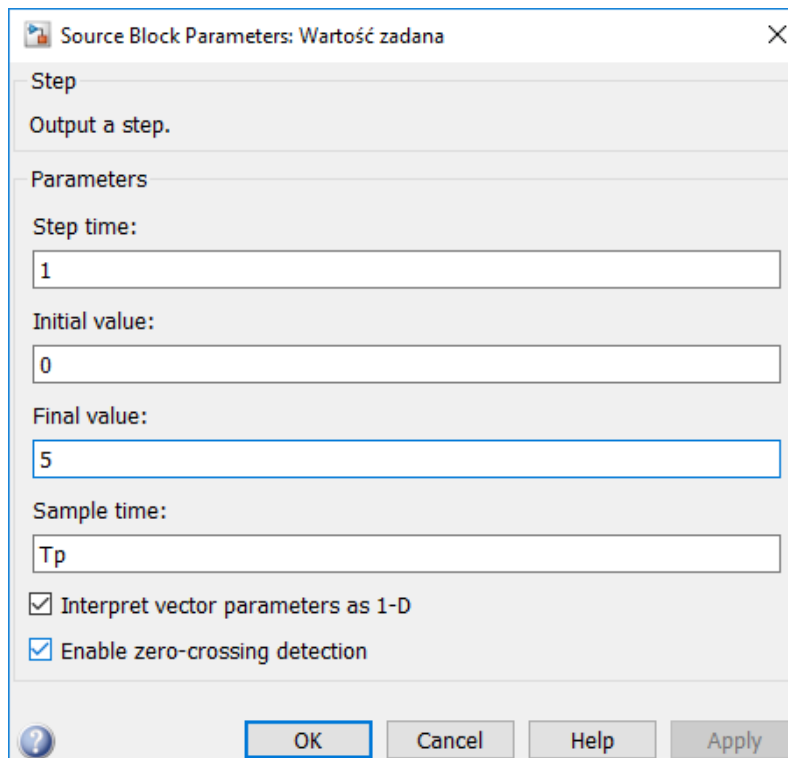


Rys. 7. Przedstawienie zer i biegunów na płaszczyźnie zespolonej (po zbliżeniu na obszar występowania biegunów).

Jak wynika z powyższych wykresów, nasz układ znajduje się na granicy stabilności, jako że część z jego biegunów (jedenokrotnych) dyskretniej transmitancji znajduje się na okręgu o promieniu równym 1. Pozostałe bieguny leżą wewnątrz okręgu jednostkowego.

4. SYNTEZA REGULATORÓW.

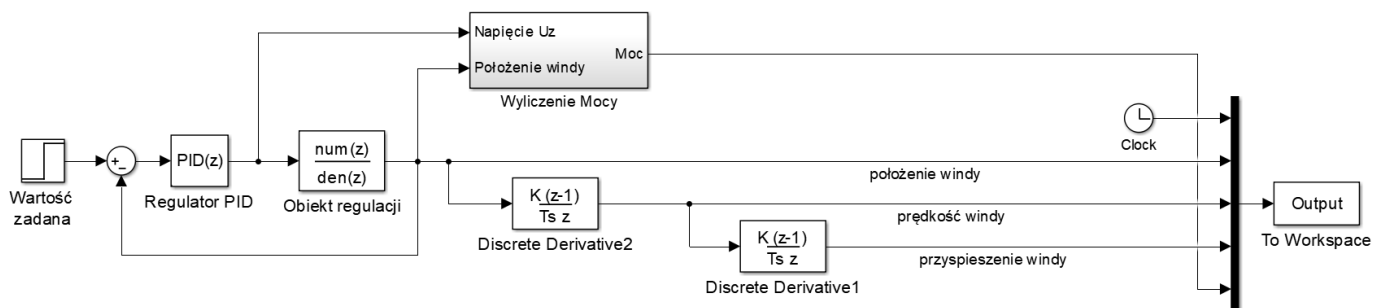
W tym rozdziale przedstawiono syntezę pięciu różnych systemów regulacji: regulatora PID (funkcja Tune, metoda Zieglera-Nicholsa), XX i XX. Wszystkie pomiary prowadzono dla jednego ustawienia skoku sygnału:



Rys. 8. Ustawienia skoku sygnału.

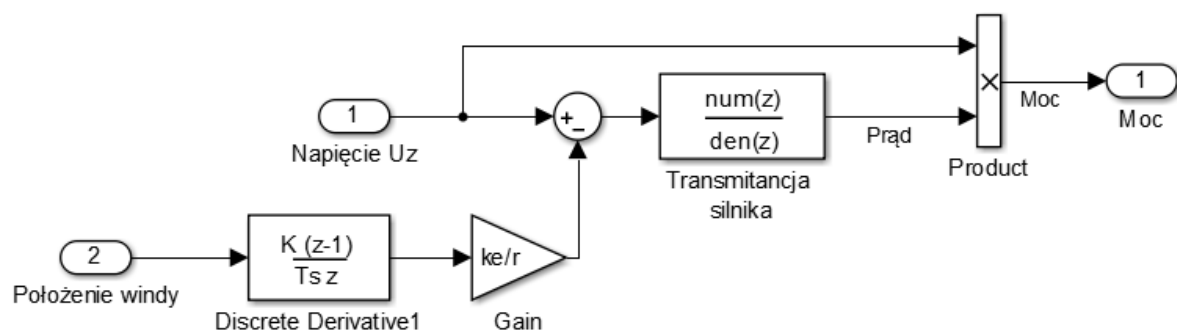
4.1. Regulator PID.

Schemat blokowy układu z dołączonym regulatorem PID został przedstawiony na rysunku 9.



Rys. 9. Schemat blokowy układu z regulatorem PID.

Schemat zawiera subsystem "Wyliczenie Mocy" o schemacie przedstawionym na rysunku 10.



Rys. 10. Subsystem "Wyliczenie Mocy".

Wylicza on moc ze wzoru $P=U_z \cdot I$ (iloczyn natężenia przepływającego prądu I i napięcia zasilającego U_z).

Prąd I liczony jest według transmitancji przedstawionej w punkcie 2 (obliczenia modelu matematycznego) mającej postać:

$$I = \frac{U_z - \frac{k_e}{r} s X_1}{Ls + R}$$

Transmitancja silnika wynosi $1/(Ls+R)$.

4.1.1. Funkcja TUNE wbudowana w programie Matlab Simulink.

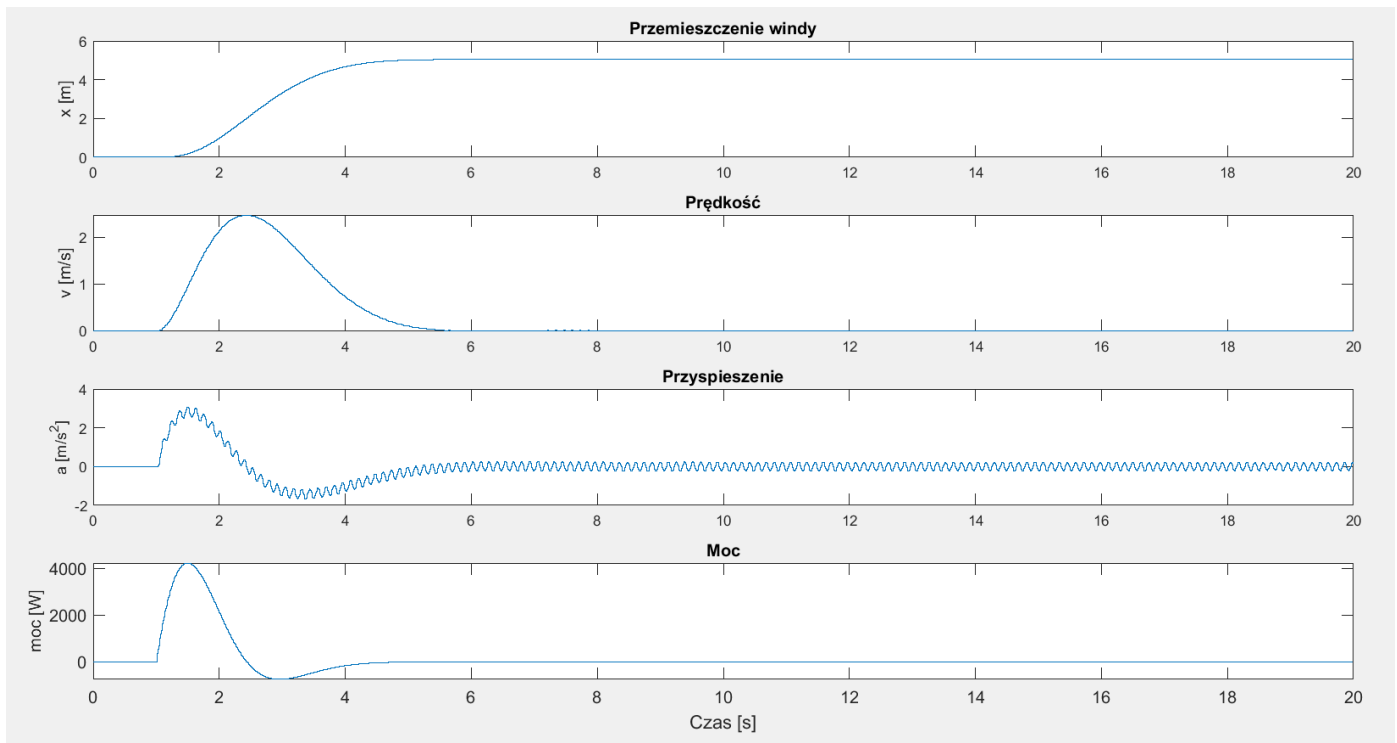
W pierwszej kolejności do wyznaczenia parametrów regulatora PID użyliśmy funkcji TUNE bločku PID wbudowanej w program.

Parametry przedstawiają się następująco:

Proportional (P):	9.76004994768351
Integral (I):	0.04918955764864
Derivative (D):	-0.762691115917643
	<input checked="" type="checkbox"/> Use filtered derivative
Filter coefficient (N):	1.54622820498509

Rys. 11. Dobór nastaw regulatora za pomocą funkcji Tune.

Wyniki pomiarów:



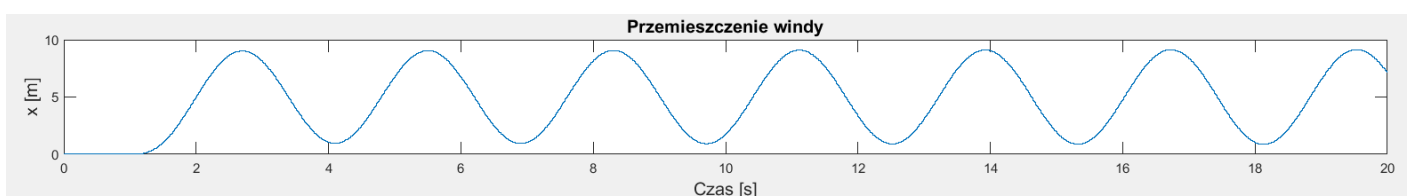
Rys. 12. Przedstawienie wyników pomiarów.

Jak wynika z powyższych wykresów, czas regulacji wyniósł 5 sekund, natomiast maksymalna wartość bezwzględna przyspieszenia windy wyniosła ok. 3 m/s^2 . Prędkość windy nie przekroczyła maksymalnej dopuszczalnej prędkości.

4.1.2. Metoda Zieglera-Nicholsa

Szukamy wzmocnienia krytycznego, dla którego układ znajdzie się na granicy stabilności, tzn. dojdzie do niegasnących oscylacji. Realizujemy to poprzez doświadczalne zwiększanie współczynnika wzmocnienia K_p w układzie zamkniętym z regulatorem P.

Dla $K_{kr}=50$ otrzymaliśmy oscylacje niegasnące o okresie $T_{osc}=3$.



Rys. 13. Oscylacje niegasnące dla $K_{kr} = 50$.

Parametry regulatora PID wyznaczono wykorzystując poniższe wzory z materiałów pomocniczych od dr inż. Agaty Nawrockiej:

	K_p	T_I/T_P	T_D/T_P
PID discret	$0,6K_{kr} \left(1 - \frac{T_P}{T_{osc}}\right)$	$0,5 \left(\frac{T_{osc}}{T_P} - 1\right)$	$0,125 \frac{\left(\frac{T_{osc}}{T_P}\right)^2}{\left(\frac{T_{osc}}{T_P} - 1\right)}$

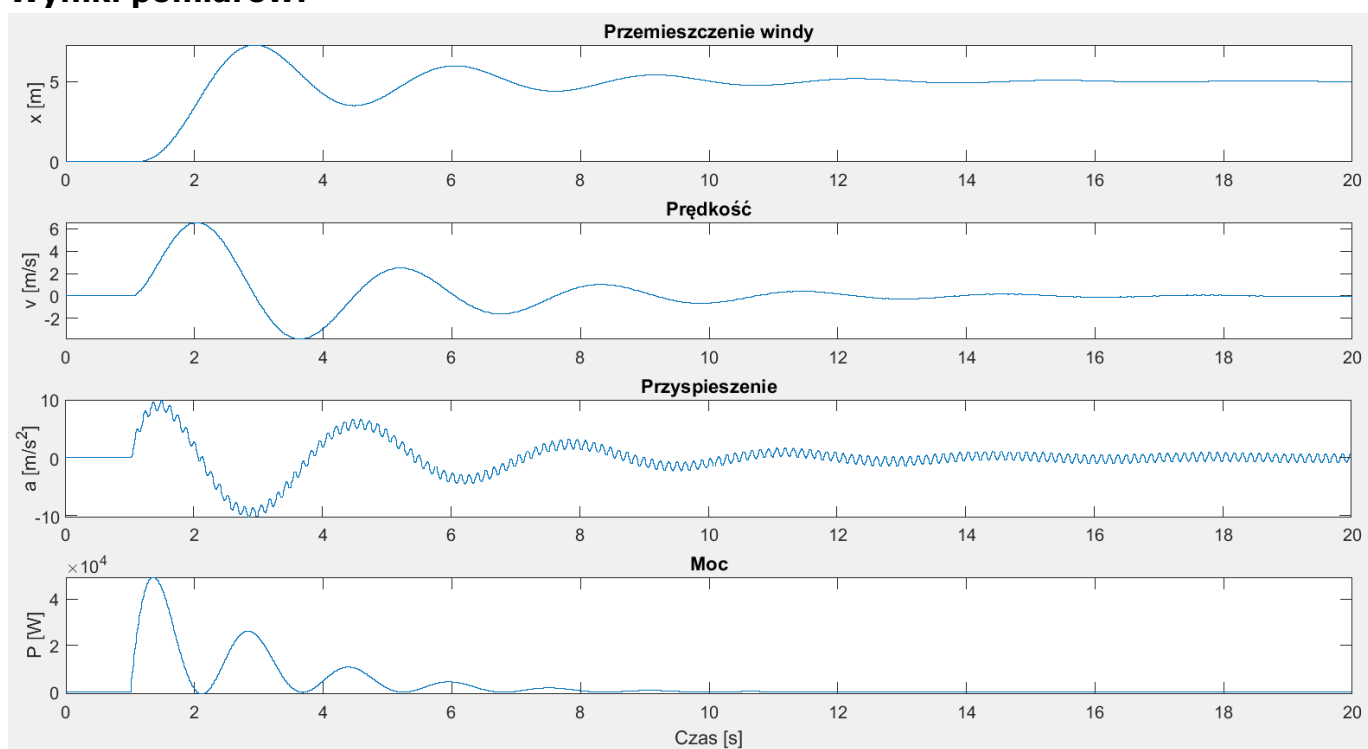
Tabela 1. Parametry regulatora dyskretnego PID na podstawie metody Zieglera-Nicholsa.

$$K_p = 29,9$$

$$T_p/T_i = 0,00669$$

$$T_d/T_p = 37,62542$$

Wyniki pomiarów:



Rys. 14. Wyniki pomiarów przy zastosowaniu regulatora PID (metoda ZN)

Wnioski:

Po doborze parametrów metodą Zieglera-Nicholsa można zaobserwować wzrost prędkości, przyspieszenia, a także poboru mocy windy w stosunku do funkcji Tune. W przypadku doboru nastaw za pomocą funkcji Tune przyspieszenie nie przekracza 3 m/s², zaś po doborze metodą Zieglera-Nicholsa przyspieszenie osiąga wartość bliską 10 m/s², co nie jest dla nas zjawiskiem pożądanym.

Ponadto prędkość osiąga wartość większą aniżeli maksymalna dopuszczalna prędkość windy (tj. 5 m/s).

Wszystkie te czynniki, a także znaczne przeregulowanie wykluczają zastosowanie regulacji metodą Zieglera-Nicholsa.

4.2. Regulator Deadbeat

Aby dobrać nastawy regulatora deadbeat stworzony został skrypt w programie MatLab o nazwie deatbeatR.m przedstawiony na rysunku nr 15.

```

1  %współczynniki licznika
2  q0=1/(ldzoh(2)+ldzoh(3)+ldzoh(4)+ldzoh(5)+ldzoh(6))
3  q1=mdzoh(2)*q0
4  q2=mdzoh(3)*q0
5  q3=mdzoh(4)*q0
6  q4=mdzoh(5)*q0
7  q5=mdzoh(6)*q0
8
9  %współczynniki mianownika
10 p1=ldzoh(2)*q0
11 p2=ldzoh(3)*q0
12 p3=ldzoh(4)*q0
13 p4=ldzoh(5)*q0
14 p5=ldzoh(6)*q0
15
16 %licznik regulatora deadbeat
17 l_deadbeat=[q0 q1 q2 q3 q4 q5]
18 %mianownik regulatora deadbeat
19 m_deadbeat=[1 -p1 -p2 -p3 -p4 -p5]
20 %wyznaczenie transmitancji
21 g_deadbeat=filt(l_deadbeat,m_deadbeat,Tp)

```

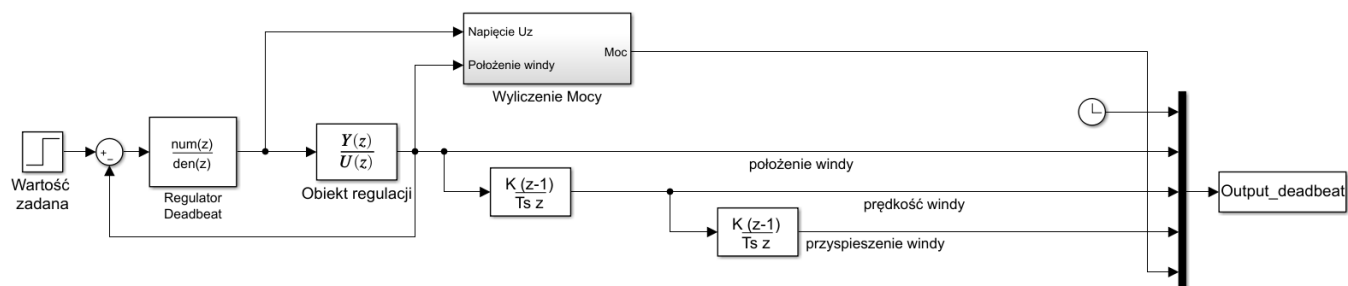
Rys. 15. Skrypt obliczający transmitancję regulatora Deadbeat.

W wyniku powyższych obliczeń otrzymano transmitancję:

$g_deadbeat =$

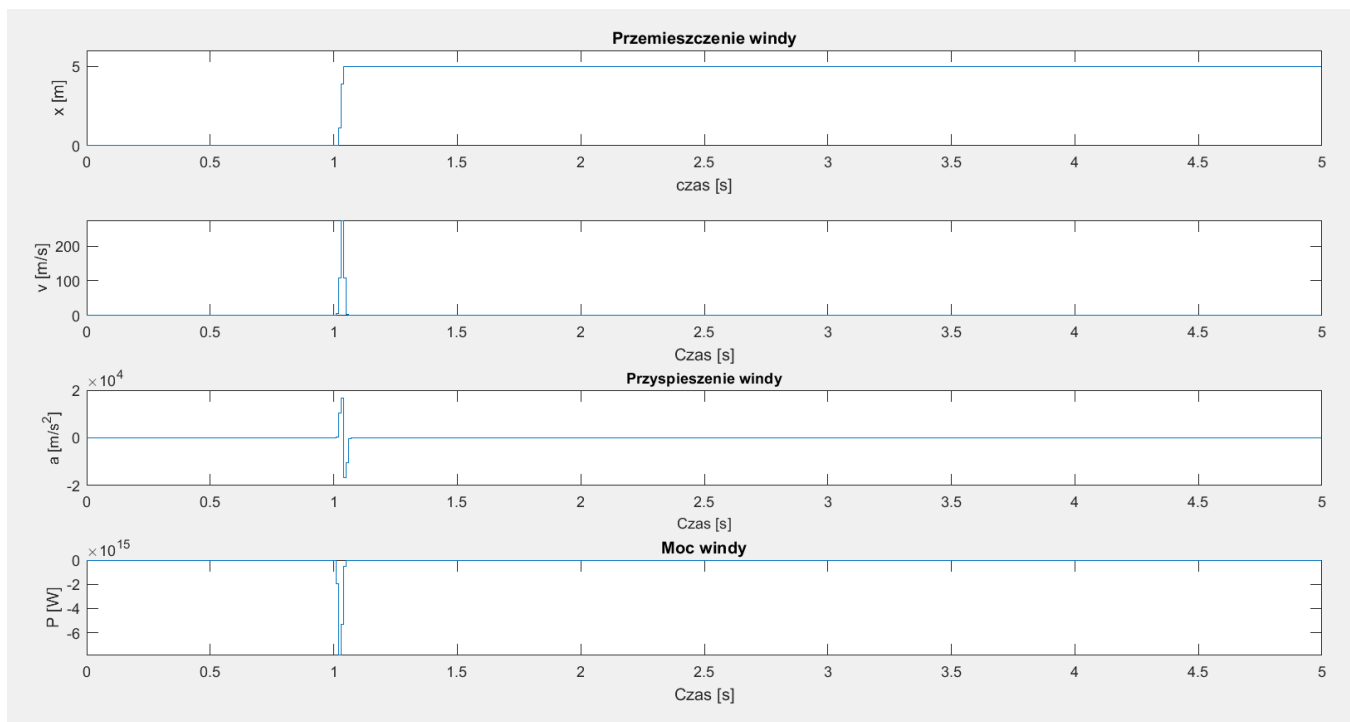
$$\frac{1.454e07 - 6.892e07 z^{-1} + 1.337e08 z^{-2} - 1.329e08 z^{-3} + 6.771e07 z^{-4} - 1.411e07 z^{-5}}{1 - 0.008538 z^{-1} - 0.2183 z^{-2} - 0.5487 z^{-3} - 0.2161 z^{-4} - 0.008367 z^{-5}}$$

Schemat blokowy układu regulacji został przedstawiony na rysunku 16.



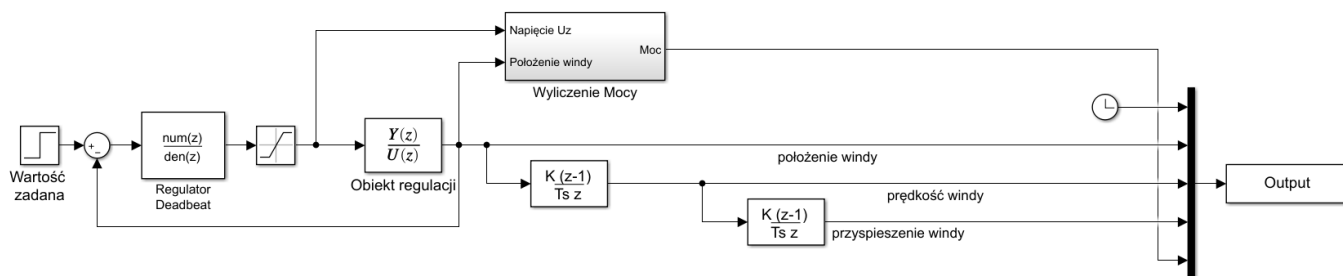
Rys. 16. Schemat blokowy układu z regulatorem Deadbeat.

Wyniki pomiarów:



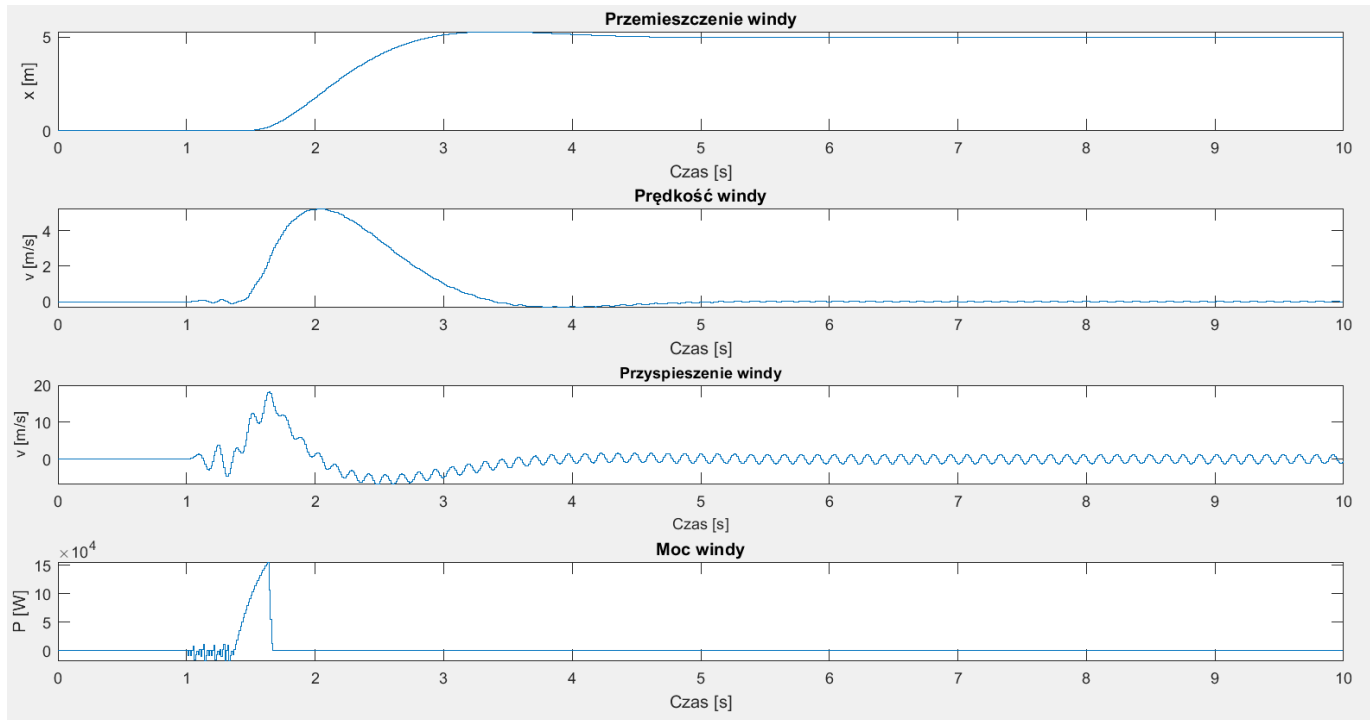
Rys. 17. Wyniki pomiarów przy wykorzystaniu regulatora Deadbeat.

Po dobraniu parametrów za pomocą regulatora deadbeat winda osiąga zadane położenie w bardzo krótkim czasie, jednak wiąże się to z ogromnymi wartościami prędkości, przyspieszenia oraz poboru mocy. Aby temu zapobiec, zastosowaliśmy blok *Saturation*, ograniczając sygnał sterujący do zakresu (-300, 300 [V]). Tak zmodyfikowany schemat blokowy układu przedstawiono na rysunku 18.



Rys. 18. Zmodyfikowany schemat blokowy z regulatorem deadbeat i ograniczeniem sygnału sterującego.

Wyniki pomiarów:



Rys. 19. Wyniki pomiarów dla zastosowania regulatora deadbeat z ograniczeniem sygnału sterującego.

Po ograniczeniu sygnału sterującego winda osiąga zadane położenie po około 4,5 s, prędkość nie przekracza maksymalnej dopuszczalnej, tj. 5 m/s. Natomiast przyspieszenie pomimo ograniczenia sygnału osiąga wartość bliską 20 m/s², przez co zastosowanie regulatora tego typu nie sprawdzi się w naszym przypadku.

4.3. Regulator Czasooptymalny

W celu wyznaczenia transmitancji regulatora czasooptymalnego skorzystano z następującego wzoru:

$$G_r(z) = \frac{M_o(z)}{z^{n_o} \cdot L_o(1) - L_o(z)}$$

gdzie:

$L_o(z)$ - licznik obiektu regulacji

$M_o(z)$ - mianownik obiektu regulacji

n_o - rząd obiektu regulacji

Do obliczeń został wykorzystany poniższy skrypt o nazwie Reg_Czasooptymalny.m.

```

Reg_Czasooptymalny.m  dane.m  wyliczenie_transmitancji.m  wyniki.m  +
1  %współczynnik przy najwyższej potędze mianownika
2  -  Lol=sum(ldzoh);
3  %współczynniki licznika
4  -  l_czasooptymalny=mdzoh
5  %współczynniki mianownika
6  -  m_czasooptymalny=[Lol -ldzoh(2) -ldzoh(3) -ldzoh(4) -ldzoh(5) -ldzoh(6)]
7  %wyznaczenie transmitancji regulatora
8  -  G_czasooptymalny=tf(l_czasooptymalny,m_czasooptymalny,Tp)

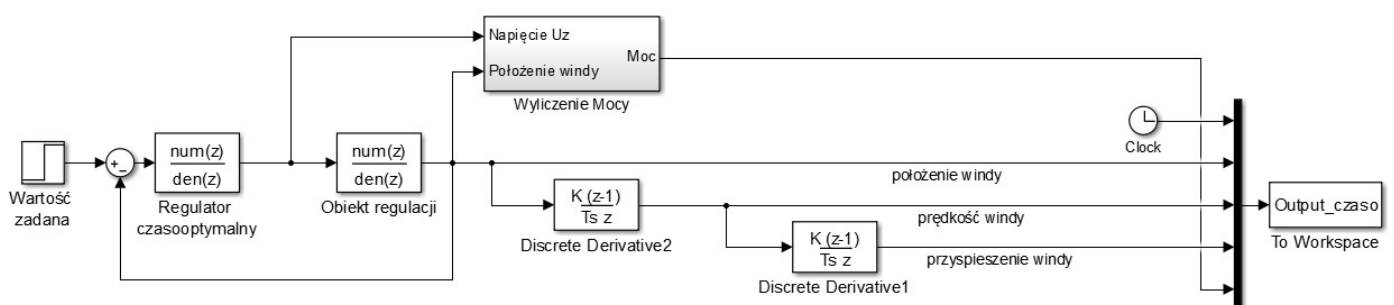
```

Rys. 20. Skrypt obliczający transmitancję regulatora Czasooptymalnego.

W wyniku powyższych obliczeń otrzymano transmitancję:

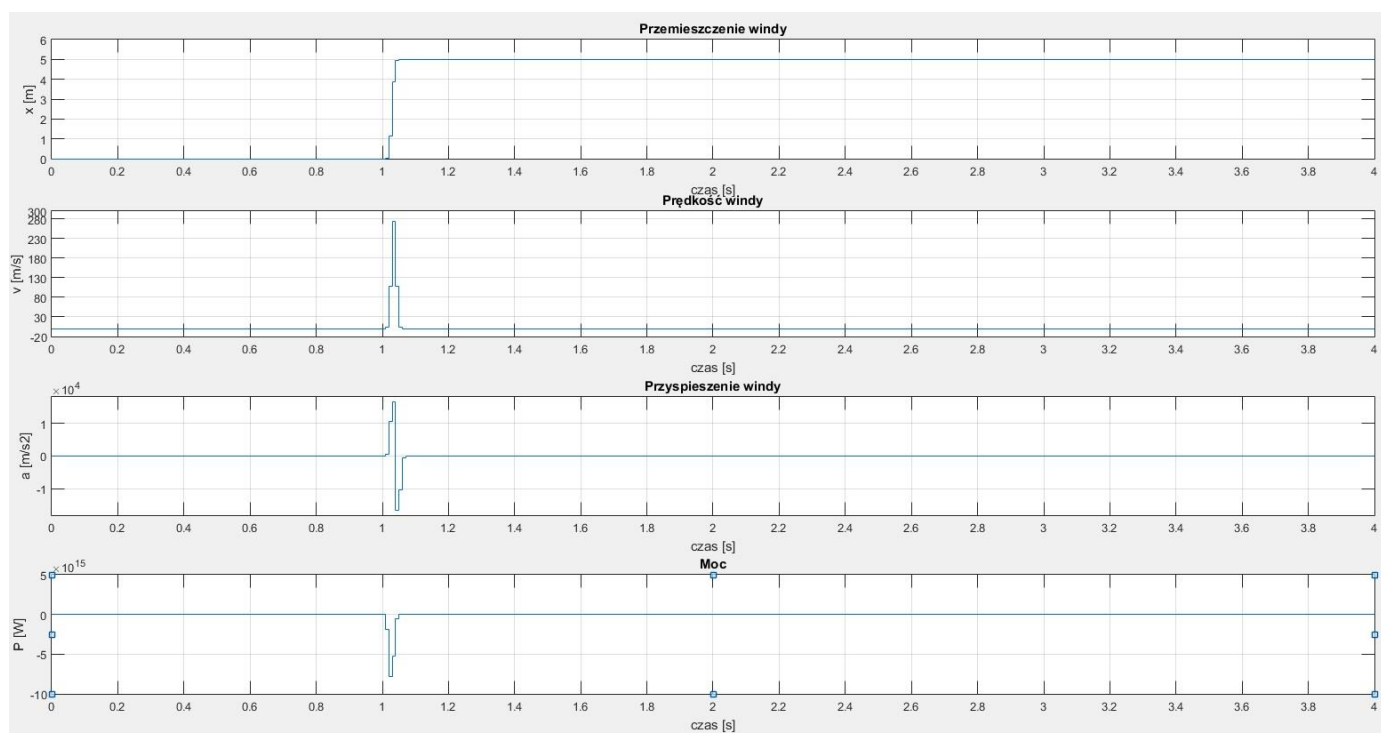
$$G_{\text{czasooptymalny}} = \frac{z^5 - 4.738 z^4 + 9.191 z^3 - 9.138 z^2 + 4.655 z - 0.9701}{6.875e-08 z^5 - 5.87e-10 z^4 - 1.501e-08 z^3 - 3.773e-08 z^2 - 1.486e-08 z - 5.752e-10}$$

Schemat układu regulacji:



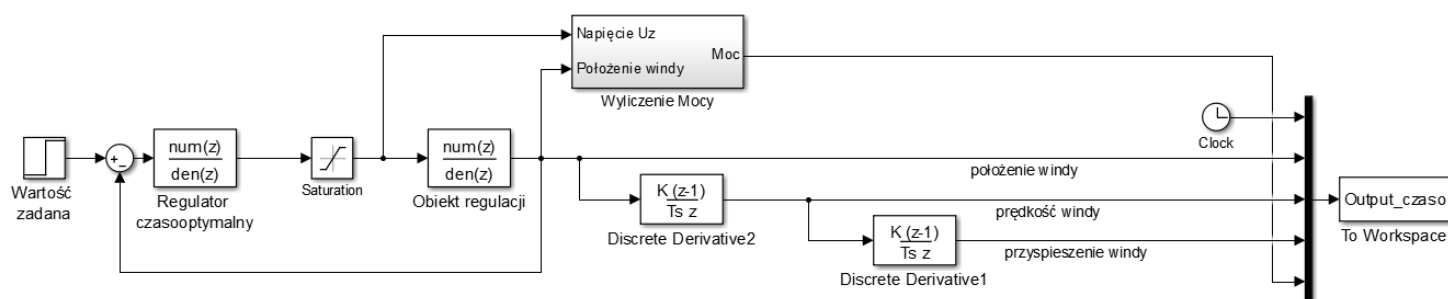
Rys. 21. Schemat blokowy układu z regulatorem czasoodpornym bez ograniczenia sygnału sterującego.

Wyniki pomiarów:



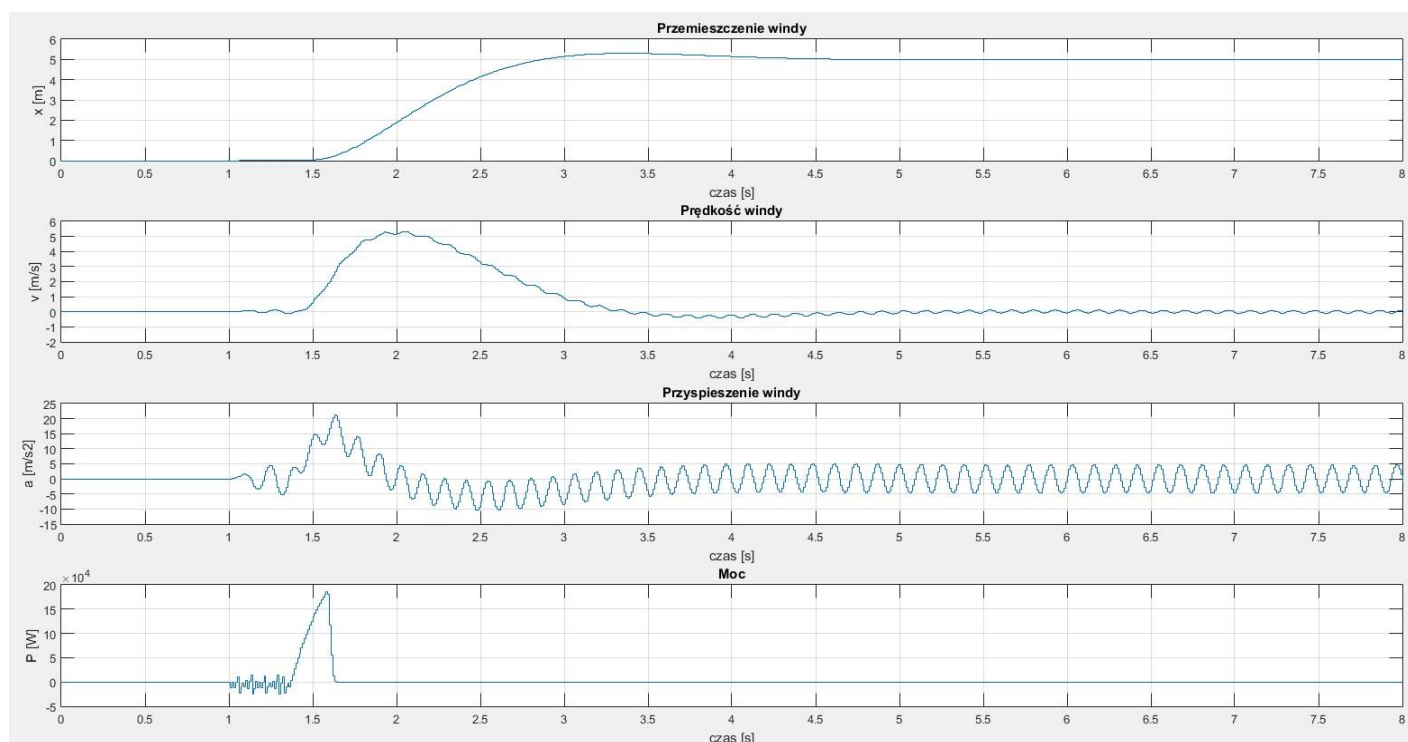
Rys. 22. Wyniki pomiarów dla regulatora czasooptymalnego bez ograniczeń sygnału sterującego.

Bez zastosowania ograniczeń sygnału sterującego winda, chociaż w bardzo krótkim czasie osiąga zadaną pozycję, uzyskuje przy tym ogromne wartości przyspieszenia i prędkości, co jest niemożliwe w realnym układzie. Z tego powodu zastosowałyśmy blok *Saturation*, ograniczając sygnał sterujący do zakresu $(-325, 325 \text{ [V]})$. Tak zmodyfikowany schemat blokowy układu przedstawiono na rysunku 23.



Rys. 23. Zmodyfikowany schemat blokowy z regulatorem czasooptymalnym i ograniczeniem sygnału sterującego.

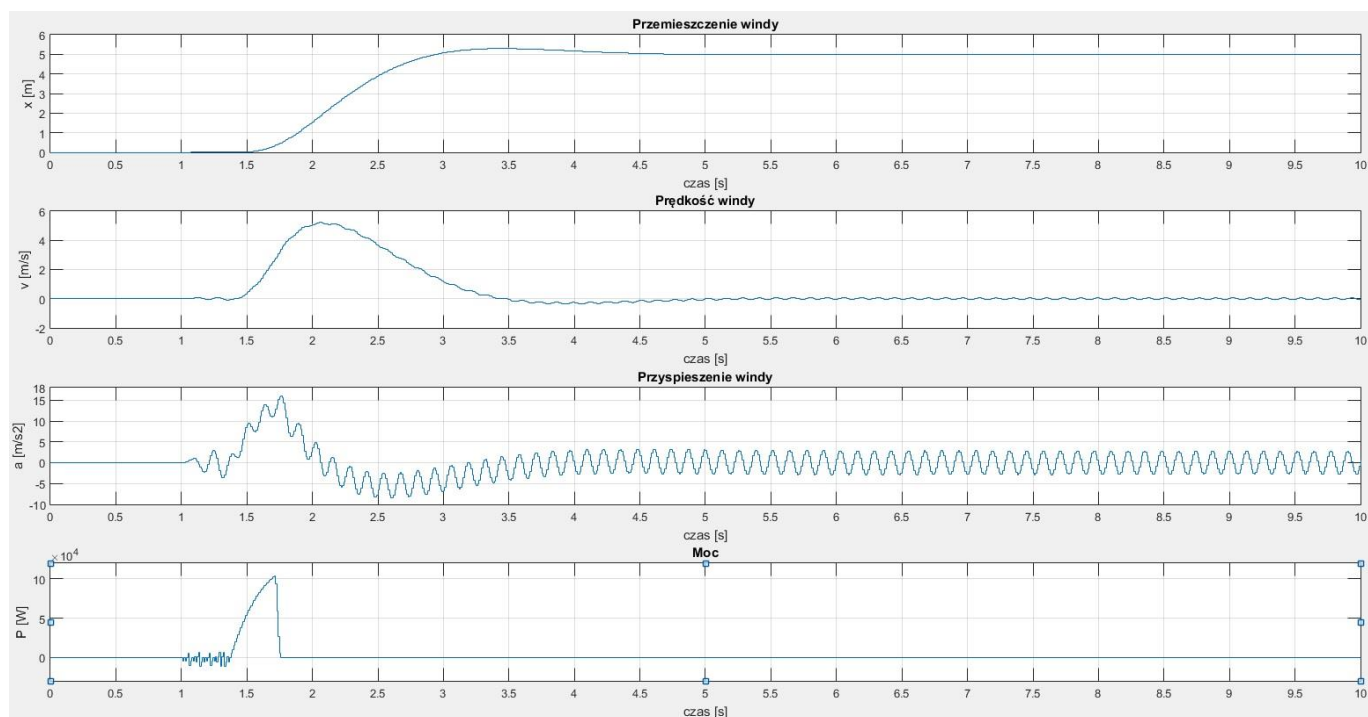
Wyniki pomiarów:



Rys. 24. Wyniki pomiarów dla zastosowania regulatora czasooptymalnego z ograniczeniem sygnału sterującego.

Po ograniczeniu sygnału sterującego winda osiąga zadaną pozycję w ok. 4.5 sekundy, jednak pomimo zastosowania bloku Saturation, przyspieszenie windy osiąga wartość ponad 20 m/s², co jest niemożliwe do zrealizowania w fizycznym układzie.

Dla tego samego regulatora ograniczyliśmy ponownie sygnał sterujący do poziomu (-230, 230). Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 25.



Rys. 25. Wyniki pomiarów dla regulatora czasooptymalnego z ograniczeniem sygnału sterującego do $(-230, 230)$.

Jak widać, większe ograniczenie sygnału sterującego zmniejszyło prędkość windy tak, że mieści się w dopuszczalnym zakresie prędkości, przyspieszenie jednak nadal osiąga ogromne wielkości, co sprawia, że układ ten nie znajdzie zastosowania w realnym urządzeniu.

4.4. Odporny układ regulacji

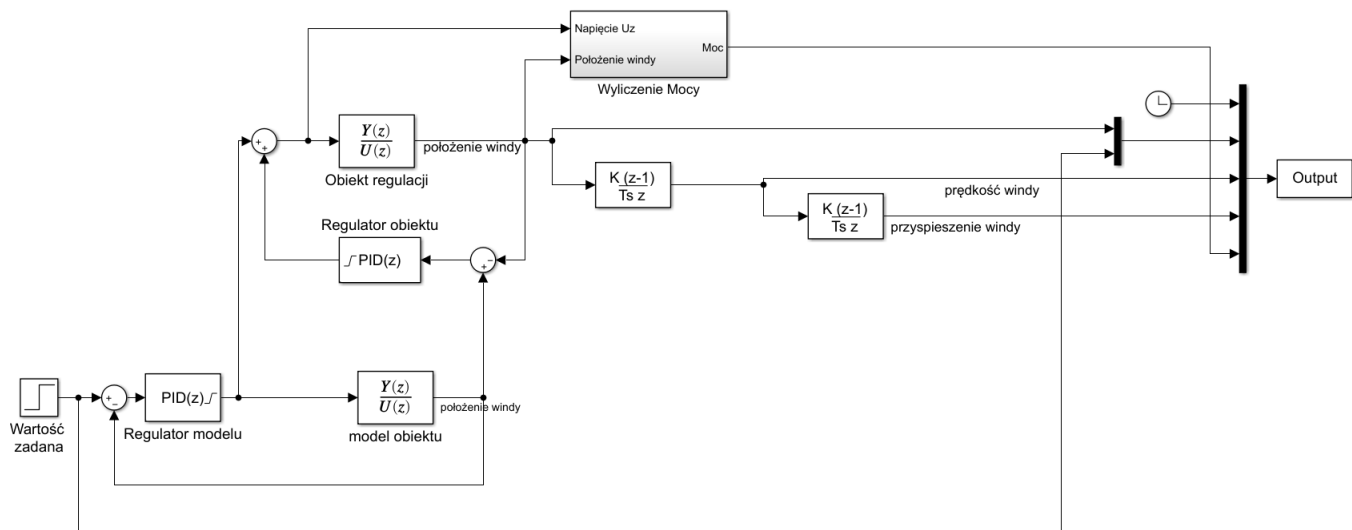
Jako model obiektu dla opornego układu regulacji wybrałyśmy obiekt bez obciążenia. Transmitancja przedstawia się następująco:

Gzs =

1.268e12

 $1.295e09 s^5 + 3.936e09 s^4 + 3.638e12 s^3 + 1.095e13 s^2 + 2.134e13 s$

Schemat układu przedstawiono poniżej na rysunku 26.



Rys. 26. Schemat odpornego układu regulacji.

Następnie dobraliśmy nastawy dla regulatora PID obiektu oraz regulatora PID modelu metodą prób i błędów. Parametry przedstawiają się następująco:

- Regulator PID obiektu:

Proportional (P):

Integral (I):

Derivative (D):

Rys. 27.

- Regulator PID modelu:

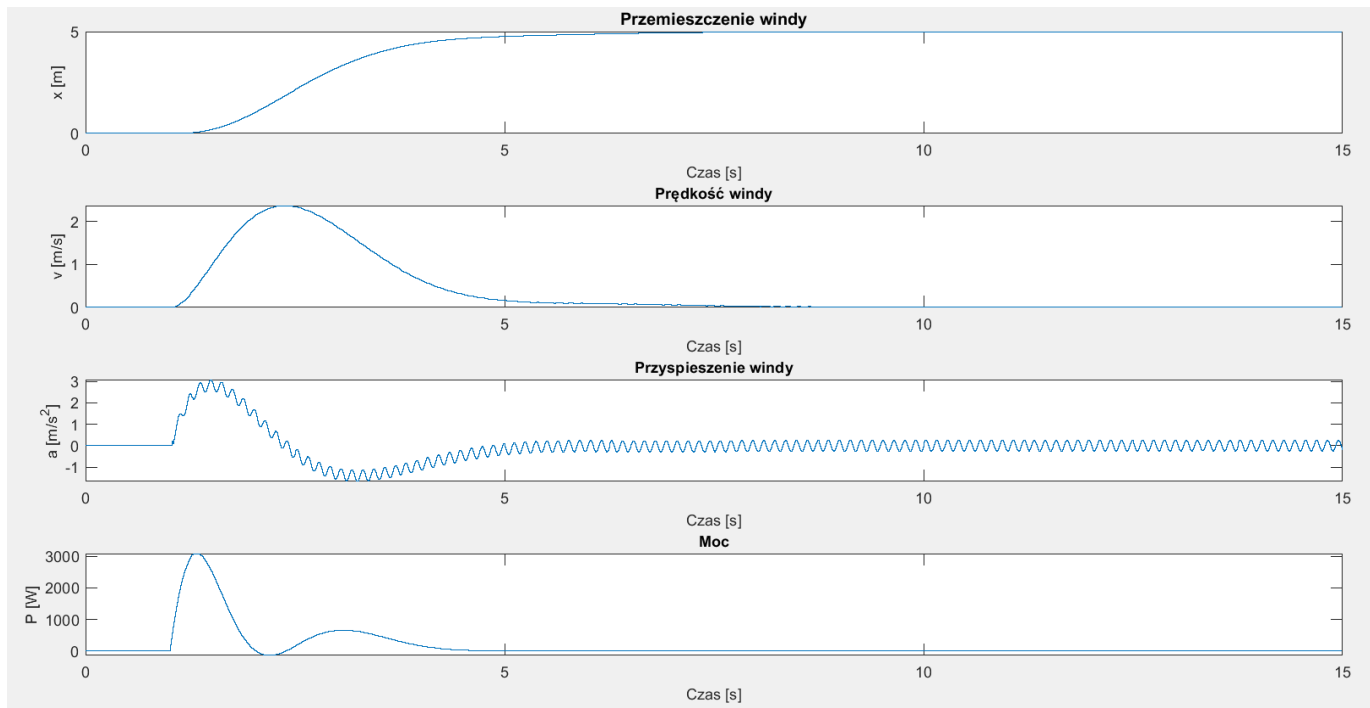
Proportional (P):

Integral (I):

Derivative (D):

Rys. 28.

Ograniczyliśmy sygnał sterujący do poziomu (-230, 230). Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 29.



Rys. 28. Wyniki pomiarów dla odpornego układu regulacji z ograniczeniem sygnału sterującego do $(-230, 230)$.

Jak wynika z powyższych wykresów, odporny układ regulacji zadziałał bardzo dobrze. Nie otrzymaliśmy przeregulowania, czas regulacji wyniósł 7.5 sekundy, prędkość windy nie przekroczyła maksymalnej dopuszczalnej prędkości, a maksymalna wartość bezwzględna przyspieszenia windy wyniosła ok. 3 m/s². Również zużycie mocy utrzymało się na niskim poziomie.

4.5. Regulacja rozmyta (Fuzzy logic).

Ostatnim sposobem regulacji, jaki zastosowaliśmy w badaniu układu regulacji przemieszczenia windy był układ regulacji rozmytej z wykorzystaniem regulatora rozmytego PD. W tym celu ustaliliśmy dwa wejścia - uchyb e i zmianę uchybu de oraz jedno wyjście - u , sygnał sterujący, który w tym przypadku ze względu na uzyskiwane duże przeregulowania doświadczalnie zmniejszyliśmy do zakresu $(-60, 60)$.

Zmienne lingwistyczne (wejściowe e i de , a także zmienna wyjściowa u) przyjmują po 7 trójkątnych funkcji przynależności o następujących nazwach:

- DD** - duża dodatnia
- SD** - średnia dodatnia
- MD** - mała dodatnia
- Z** - zerowa
- MU** - mała ujemna
- SU** - średnia ujemna
- DU** - duża ujemna

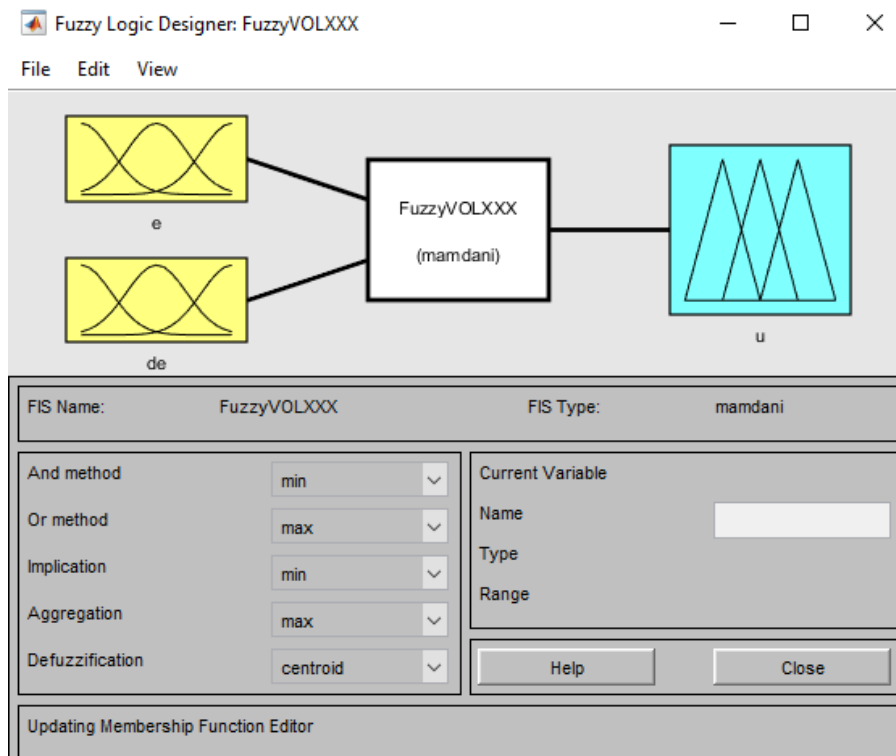
W tabeli 1 przedstawiono zastosowaną w modelu bazę reguł, którą oparto na bazie reguł Maca Vicara-Whelana.

$\begin{matrix} e \\ \backslash \\ de \end{matrix}$	DU	SU	MU	Z	MD	SD	DD
DU	DU	DU	DU	DU	SU	MU	Z
SU	DU	DU	DU	SU	MU	Z	MD
MU	DU	DU	SU	MU	Z	MD	SD
Z	DU	SU	MU	Z	MD	SD	DD
MD	SU	MU	Z	MD	SD	DD	DD
SD	MU	Z	MD	SD	DD	DD	DD
DD	Z	MD	SD	DD	DD	DD	DD

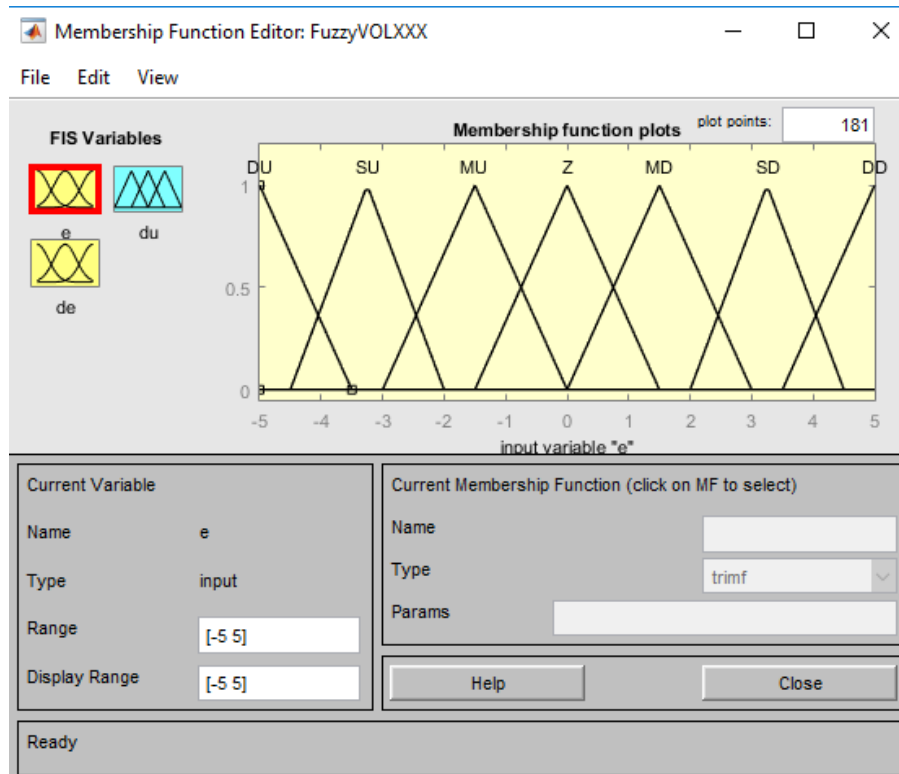
Tabela 1. Baza reguł zastosowanych dla naszego projektu.

W projekcie użyliśmy modelu rozmytego Mamdaniego.

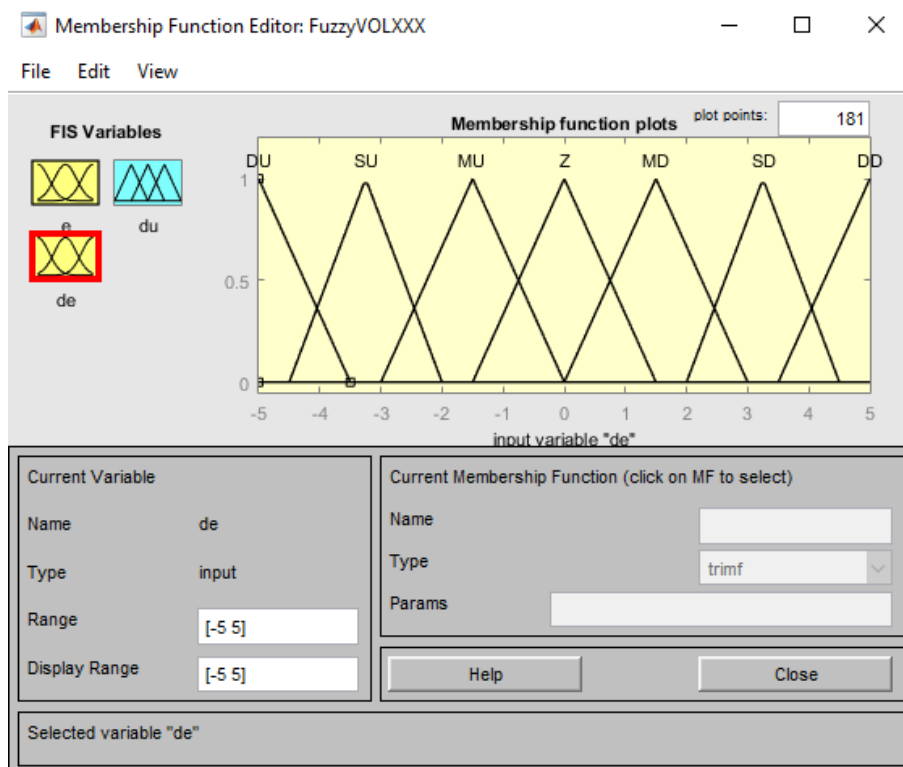
Na poniższych rysunkach przedstawiono poszczególne kroki rozmywania wejść i wyjścia regulatora poprzez użycie funkcji przynależności. Jako metodę defuzyfikacji zastosowaliśmy metodę środka ciężkości (*centroid*), ponieważ ze względu na to, że wszystkie aktywne reguły biorą udział w procesie defuzyfikacji, gwarantuje ona większą czułość regulatora rozmytego na zmiany jego wejść.



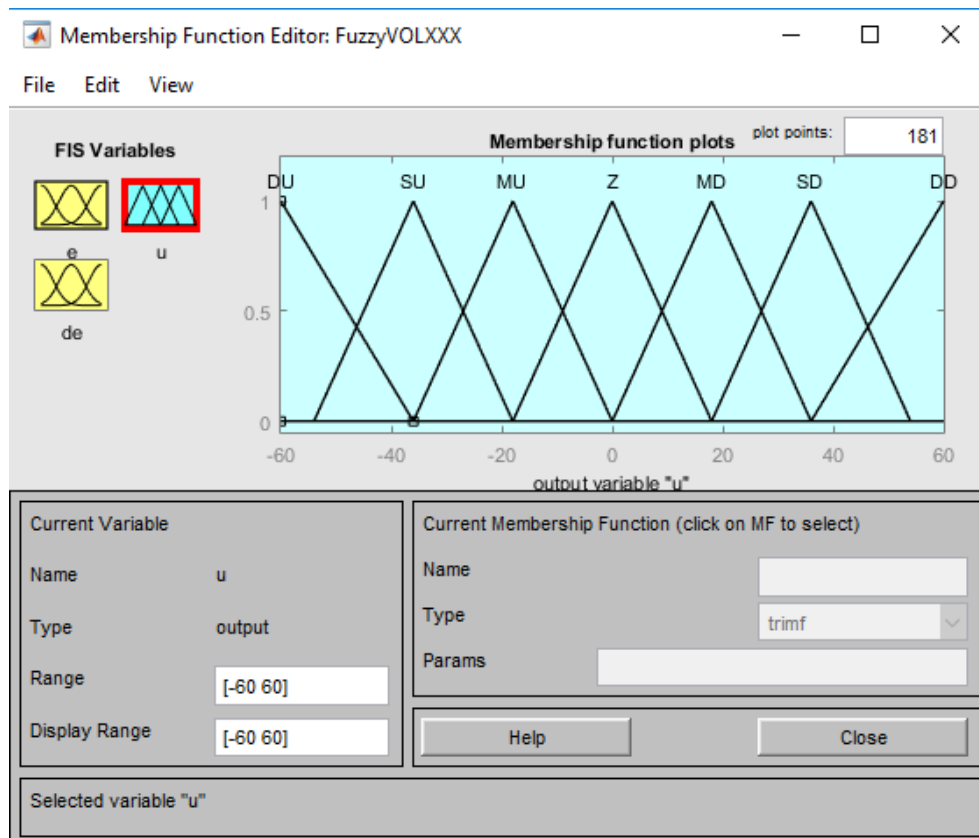
Rys x. Edytor FIS.



Rys x. Edytor funkcji przynależności zmiennej e.



Rys. x. Edytor funkcji przynależności zmiennej de.



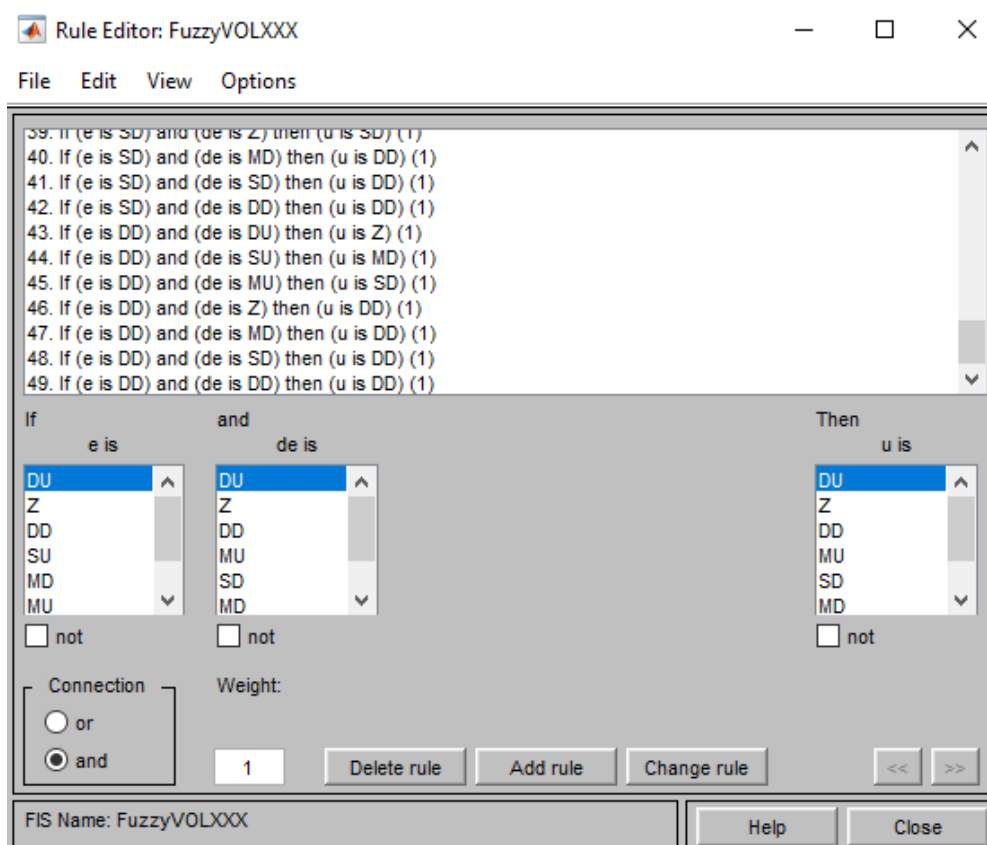
Rys. x. Edytor funkcji przynależności zmiennej u.

Parametry trójkątnych funkcji przynależności dla wszystkich zmiennych zawarto w tabeli 2.

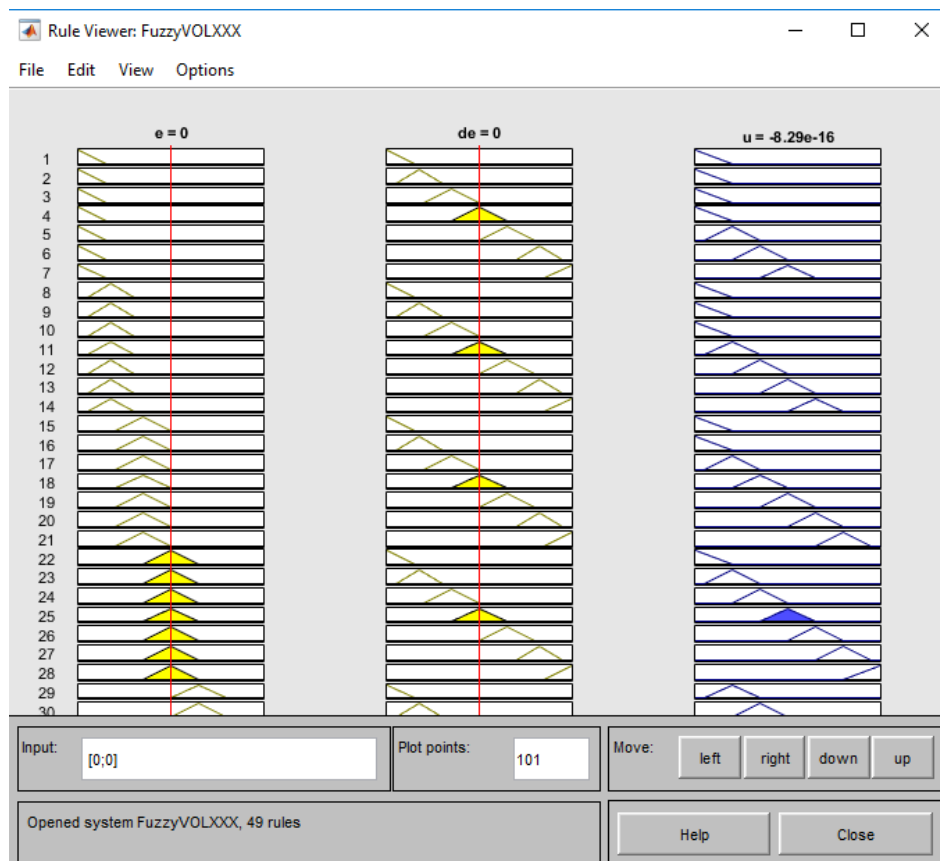
	e	de	u
DU	[-5 -5 -3.5]	[-5 -5 -3.5]	[-60 -60 -36]
SU	[-4.5 -3.25 -2]	[-4.5 -3.25 -2]	[-54 -36 -18]
MU	[-3 -1.5 0]	[-3 -1.5 0]	[-36 -18 0]
Z	[-1.5 0 1.5]	[-1.5 0 1.5]	[-18 0 18]
MD	[0 1.5 3]	[0 1.5 3]	[0 18 36]
SD	[2 3.25 4.5]	[2 3.25 4.5]	[18 36 54]
DD	[3.5 5 5]	[3.5 5 5]	[36 60 60]
zakres	[-5 5]	[-5 5]	[-60 60]

Tabela 2. Parametry funkcji przynależności zmiennych lingwistycznych.

Następnie dodaliśmy reguły które wcześniej ustaliliśmy i przedstawiliśmy w tabeli 1. Jest ich 49 (macierz 7x7).

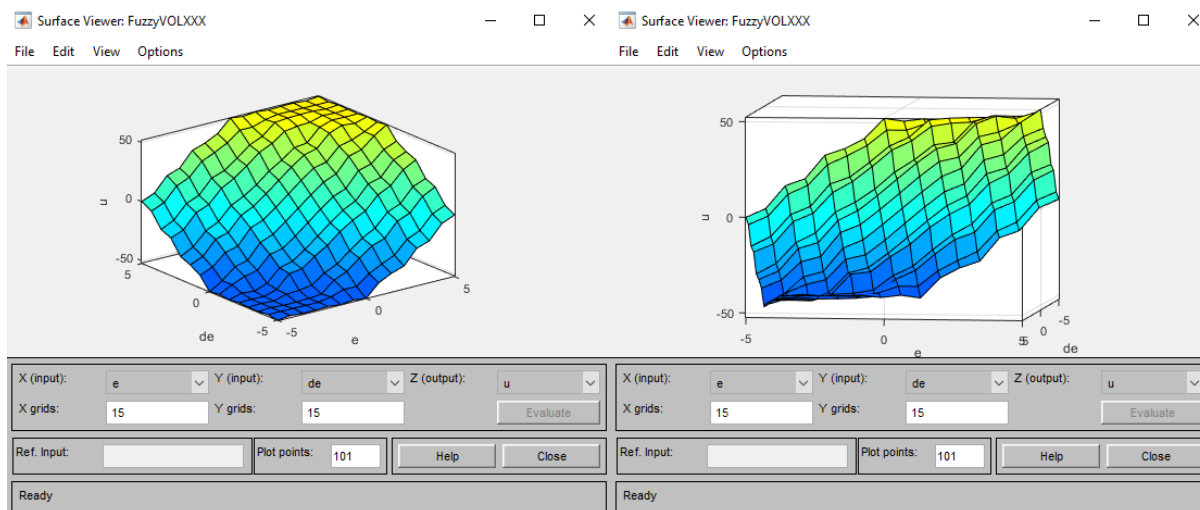


Rys. x. Edytor reguł.



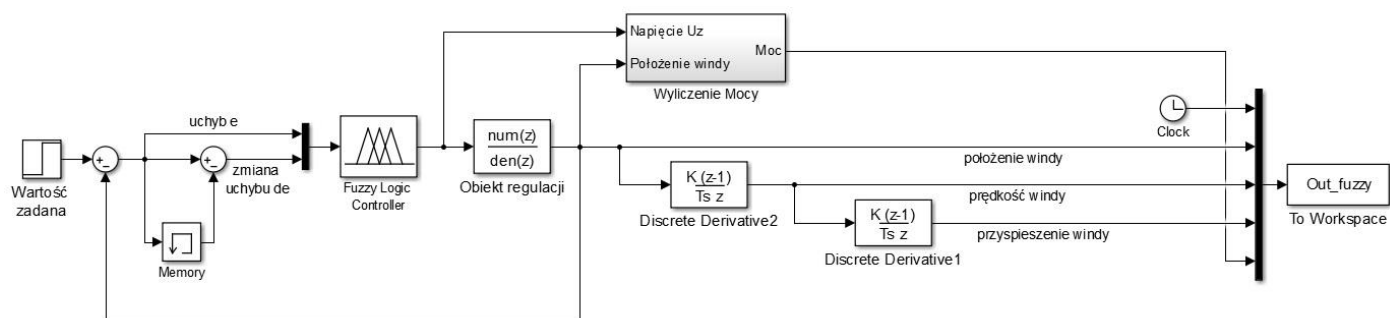
Rys. x. Podgląd zaimplementowanych reguł.

W wyniku tych zabiegów otrzymałyśmy powierzchnię sterowania regulatora rozmytego przedstawioną na rysunku x.



Rys. x. Płaszczyzny sterowania regulatora.

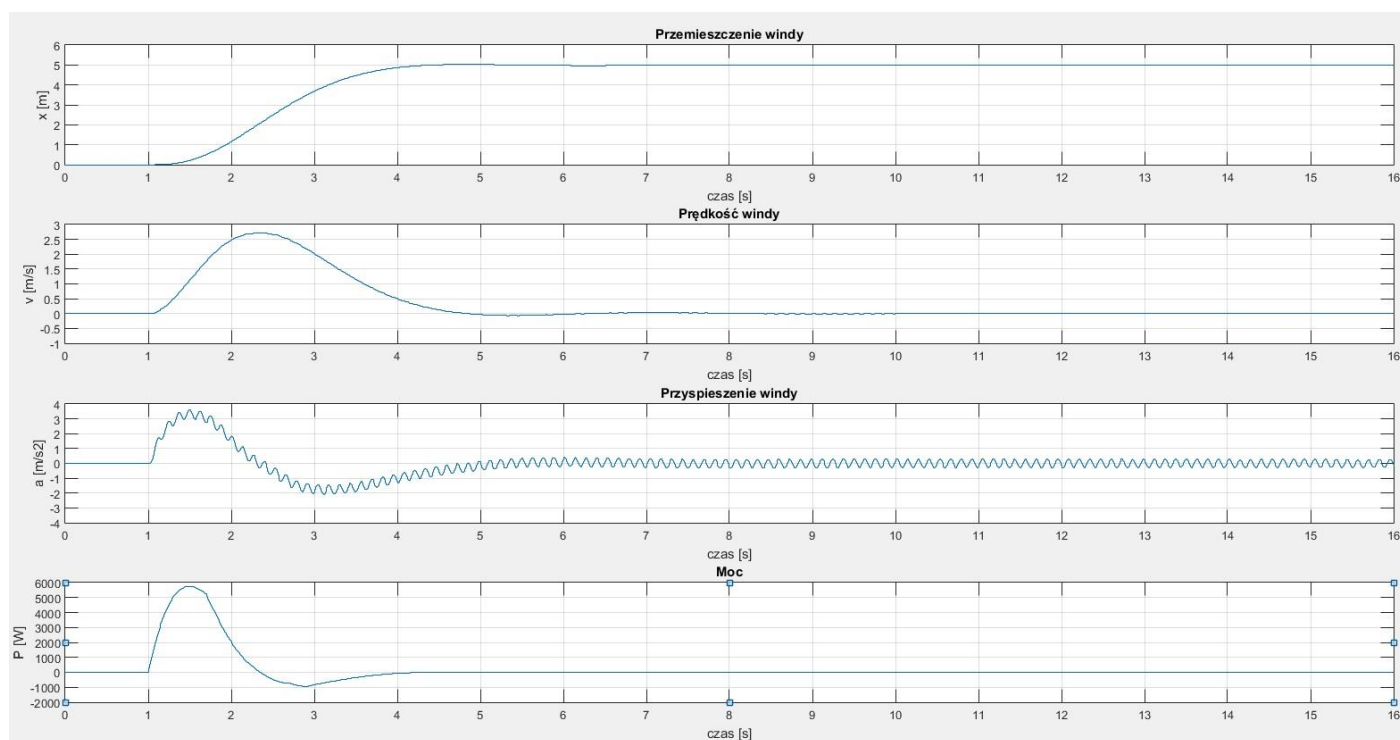
Tak stworzony regulator włączyłyśmy do układu, którego schemat blokowy został przedstawiony na rysunku x.



Aby uzyskać sygnał zmiany uchybu sygnału de zastosowano blok *Memory* wiedząc, że:

$$de = e_i - e_{i-1}$$

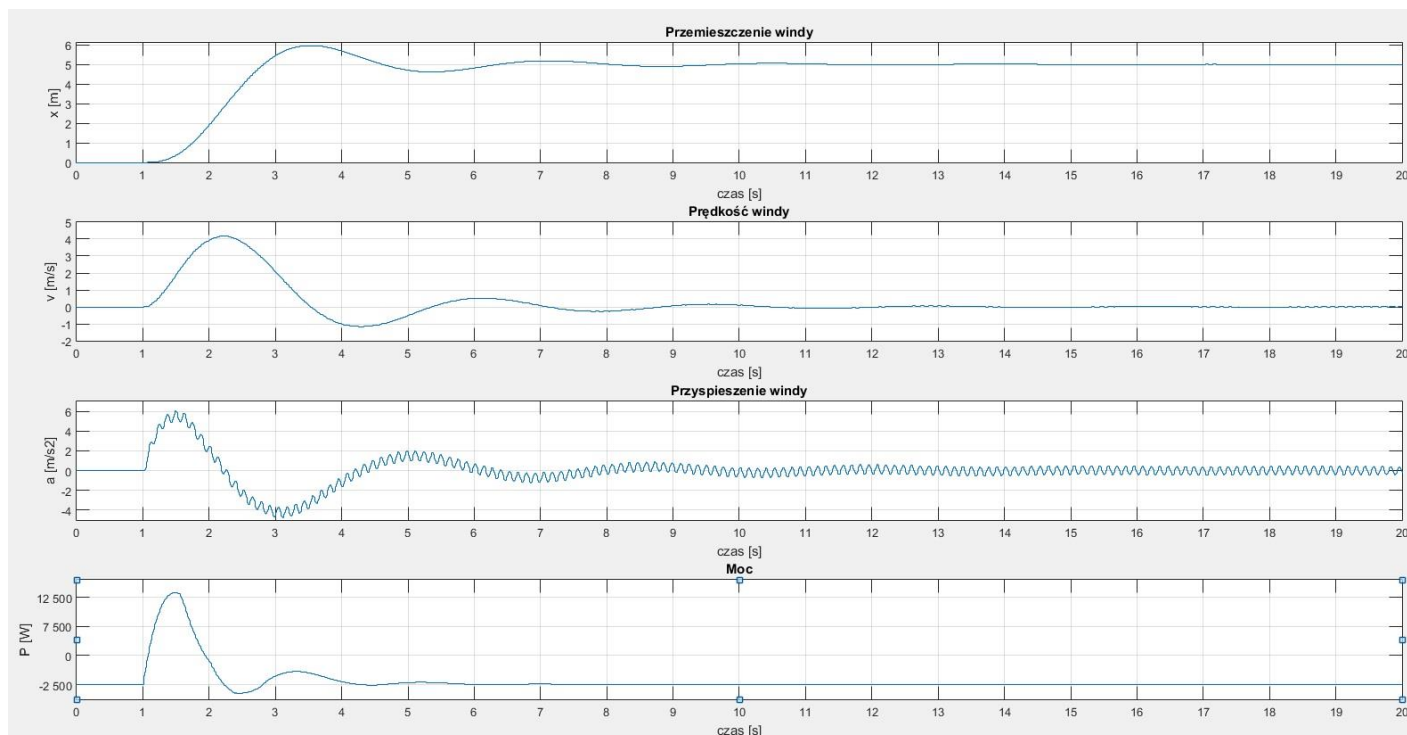
Następnie użyto bloku *Mux* aby wprowadzić obie zmienne do regulatora rozmytego. Wyniki pomiarów położenia, prędkości i przyspieszenia windy oraz mocy przedstawiono na wykresie na rysunku x.



Rys. x. Wyniki pomiarów dla regulatora rozmytego i sygnału sterującego w zakresie (-60, 60).

Jak widać, układ sterowania rozmytego zadziałał w tym przypadku bardzo dobrze. Nie otrzymaliśmy przeregulowania, czas regulacji wyniósł 4.5 sekundy, prędkość windy nie przekroczyła maksymalnej dopuszczalnej wartości równej 5. Również zużycie mocy utrzymało się na stosunkowo niskim poziomie.

Znaczny wpływ na odpowiedź skokową miało również ograniczenie sygnału sterującego. Dla porównania na rysunku x przedstawiono sygnał w zakresie (-100, 100).



Rys. x. Wyniki pomiarów dla regulatora rozmytego i sygnału sterującego w zakresie $(-100, 100)$.

Zaobserwować możemy tutaj niewielkie przeregulowanie i znacznie dłuższy czas regulacji, większą prędkość oraz przyspieszenie windy, a także ponad dwukrotne zwiększenie zużycia mocy. Przy zwiększaniu zakresu sygnału sterującego przeregulowanie zwiększało swoją wartość.

5. WNIOSKI