

**Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska**

**Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)**

Sprawozdanie z projektu nr 5, zadanie nr 5

Kamil Gabryjelski, Paweł Rybak, Paweł Walczak

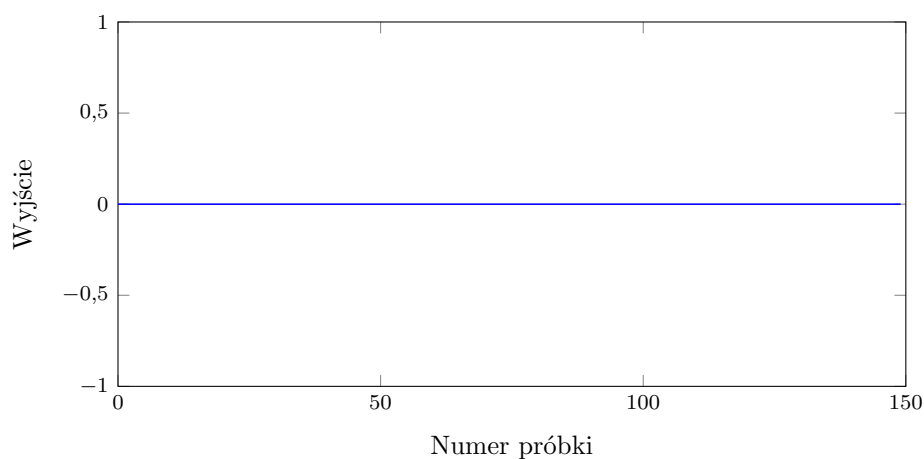
Warszawa, 2017

Spis treści

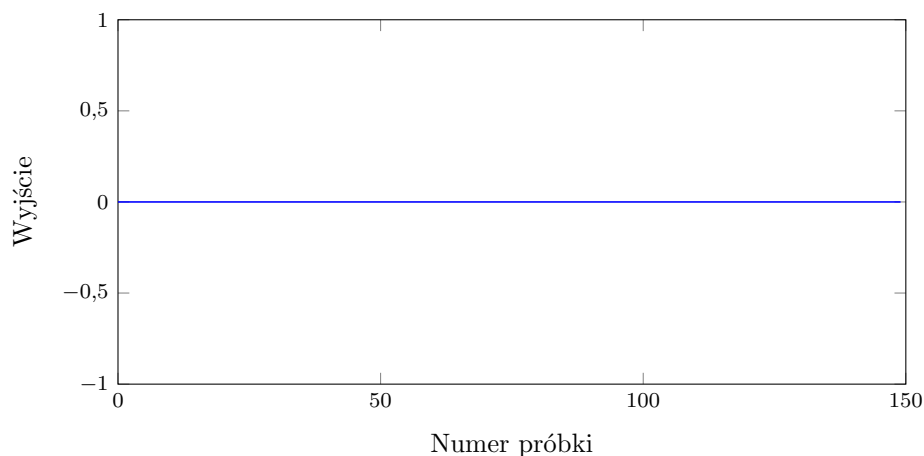
1. Punkt pracy	2
2. Odpowiedzi skokowe	4
3. PID	6
4. DMC	12
4.1. Dobór horyzontów predykcji i sterowania	12
5. Parametry λ i ψ	23
5.1. Parametr λ	23
5.2. Parametr ψ	30

1. Punkt pracy

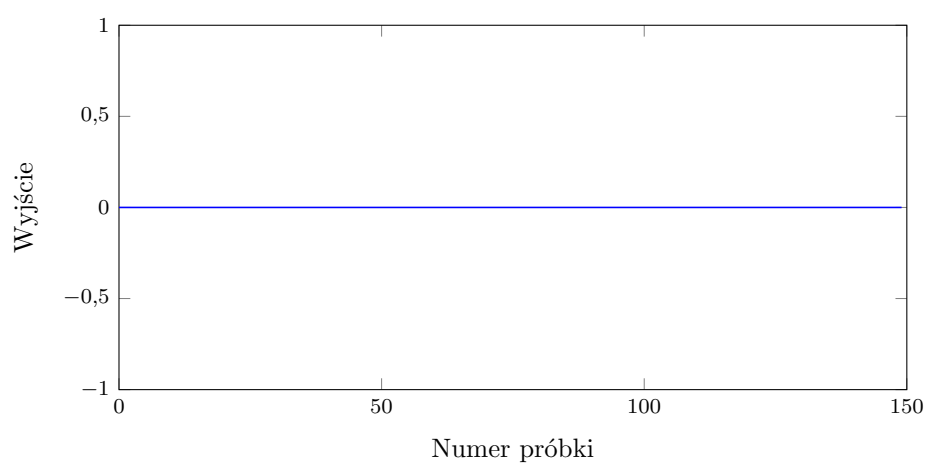
Celem zadania pierwszego było zweryfikowanie poprawności punktu pracy procesu. Podany punkt pracy to $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = y_1 = y_2 = y_3 = 0$. Poprawność sprawdzimy, poprzez podanie na wejście obiektu $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = 0$ i sprawdzenie czy wyjścia obiektu stabilizują się na wartości 0. Eksperyment wykazał, że rzeczywiście obiekt stabilizuje się na wartościach wyjść $y_1 = y_2 = y_3 = 0$, a pokazują to wykresy 1.1, 1.2 oraz 1.3.



Rys. 1.1. Wyjście y_1

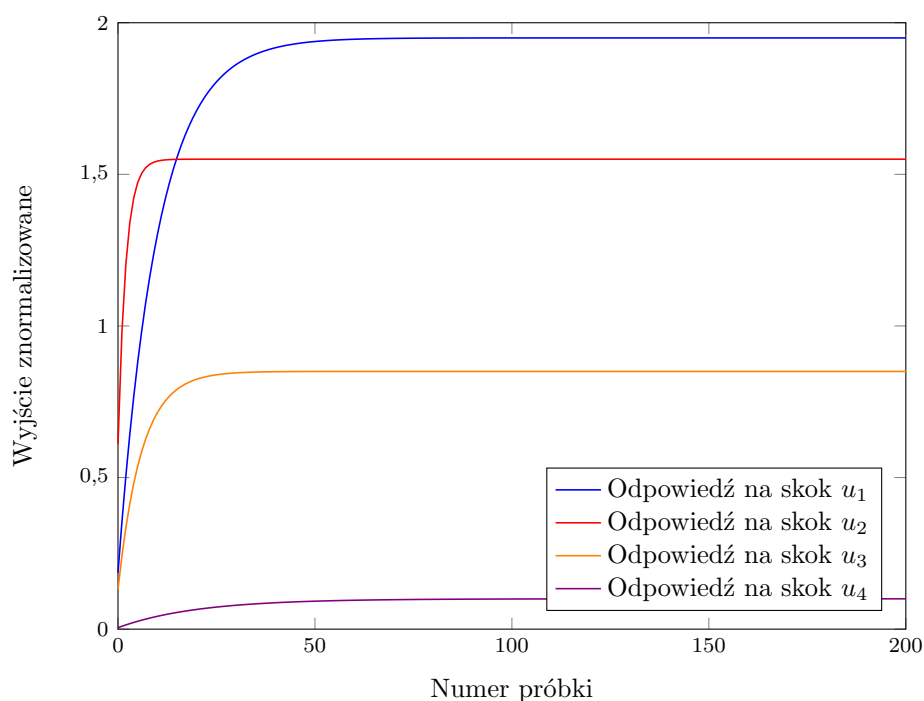


Rys. 1.2. Wyjście y_2

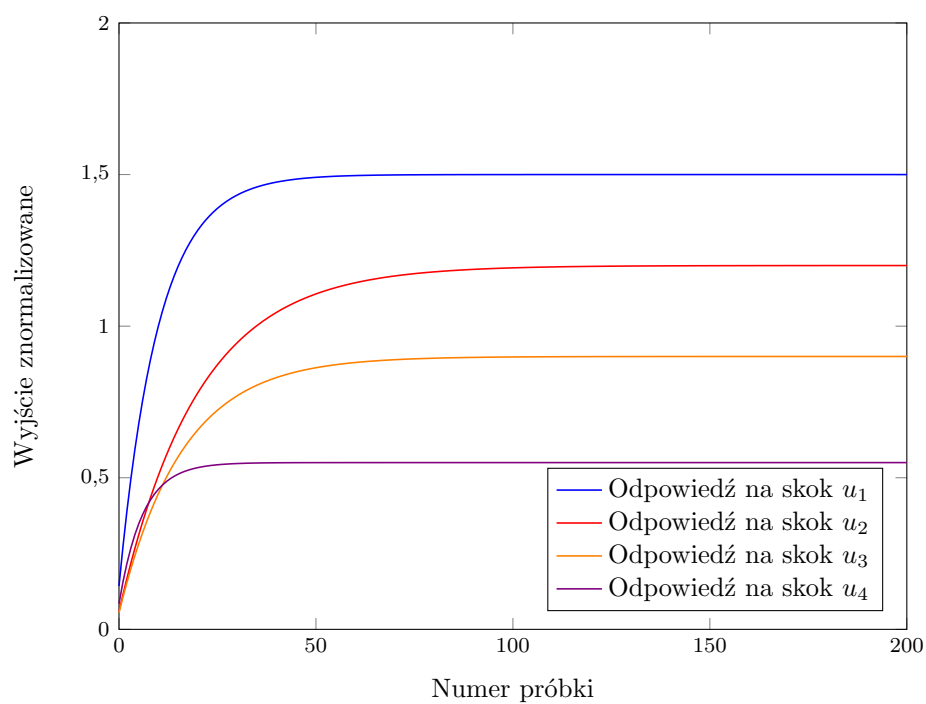
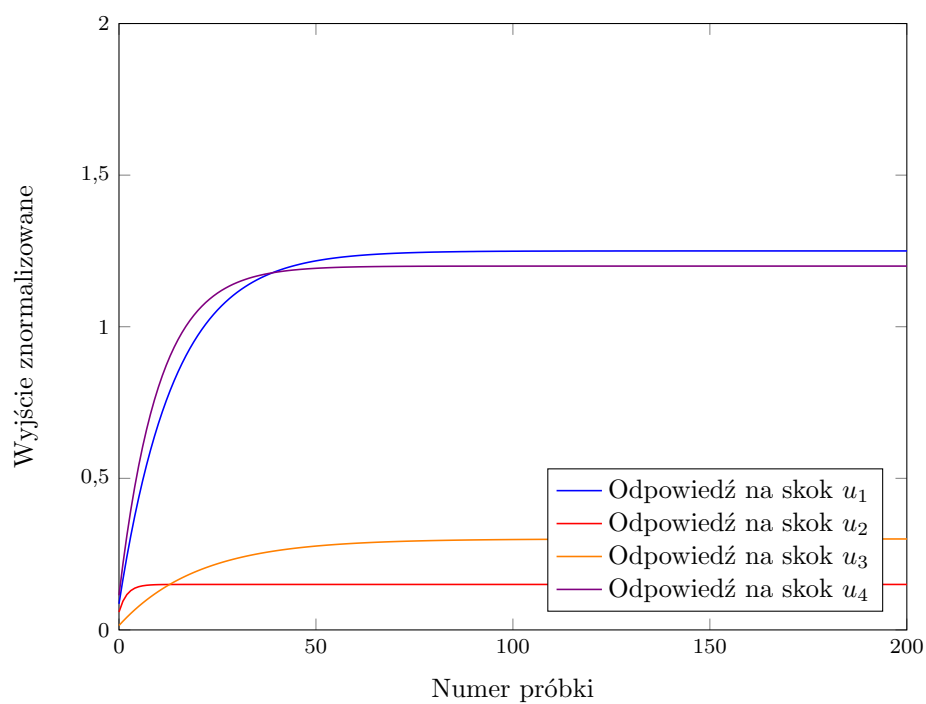
Rys. 1.3. Wyjście y_3

2. Odpowiedzi skokowe

Celem zadania drugiego było symulacyjne wyznaczenie wszystkich odpowiedzi skokowych (każdego toru). Założyliśmy, że obiekt będzie znajdował się przed wykonaniem skoku w wyznaczonym w zadaniu 1. punkcie pracy, a skok będzie jednostkowy. Na podanych niżej wykresach znajdują się wykresy odpowiedzi skokowych dla każdego toru.



Rys. 2.1. Odpowiedzi skokowe wyjścia y_1

Rys. 2.2. Odpowiedzi skokowe wyjścia y_2 Rys. 2.3. Odpowiedzi skokowe wyjścia y_3

3. PID

Na początku strojenia wyznaczona została macierz wzmocnień, zawierająca wzmocnienie każdego z wyjść w zależności od wejścia. Macierz ta jest następująca:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 1,9500 & 1,5000 & 1,2500 \\ 1,5500 & 1,2000 & 0,1500 \\ 0,8500 & 0,9000 & 0,3000 \\ 1,0000 & 0,5500 & 1,2000 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Następnie otrzymujemy z tego cztery macierze \mathbf{K}_i . Każda z nich powstaje poprzez usunięcie i -tego wiersza z macierzy \mathbf{K} . Macierze te są następujące:

$$\mathbf{K}_1 = \begin{bmatrix} 1,5500 & 1,2000 & 0,1500 \\ 0,8500 & 0,9000 & 0,3000 \\ 1,0000 & 0,5500 & 1,2000 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$\mathbf{K}_2 = \begin{bmatrix} 1,9500 & 1,5000 & 1,500 \\ 0,8500 & 0,9000 & 0,3000 \\ 1,0000 & 0,5500 & 1,2000 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$\mathbf{K}_3 = \begin{bmatrix} 1,9500 & 1,5000 & 1,2500 \\ 1,5500 & 1,2000 & 0,1500 \\ 1,0000 & 0,5500 & 1,2000 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$\mathbf{K}_4 = \begin{bmatrix} 1,5500 & 1,2000 & 0,1500 \\ 0,8500 & 0,9000 & 0,3000 \\ 1,0000 & 0,5500 & 1,2000 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Następnie obliczane są wskaźniki uwarunkowania każdej z czterech macierzy:

$$\text{cond}(\mathbf{K}_1) = 14,0133 \quad (3.6)$$

$$\text{cond}(\mathbf{K}_2) = 46,4314 \quad (3.7)$$

$$\text{cond}(\mathbf{K}_3) = 35,4269 \quad (3.8)$$

$$\text{cond}(\mathbf{K}_4) = 20,1116 \quad (3.9)$$

Następnie wylicza się macierz $\mathbf{K}\mathbf{K}_i = \mathbf{K}_i * \mathbf{K}_i^{-1}$. Z tej macierzy wybiera się tory sterowania, poprzez wybranie najmniejszych wartości dodatnich z macierzy $\mathbf{K}\mathbf{K}_i$, tak aby wybrana była tylko jedna wartość w danym wierszu i kolumnie. Wartości ujemne są wykluczone. Tory sterowania są wyznaczone poprzez numer kolumny i wiersza wybranych wartości. Numer kolumny odpowiada wyjściu, a numer wiersza sterowaniu. Teoretycznie najlepszy wynik będzie osiągnięty dla macierzy $\mathbf{K}\mathbf{K}_i$, dla której wskaźnik uwarunkowania \mathbf{K}_i był najmniejszy, czyli w naszym wypadku \mathbf{K}_1 , ale mimo to sprawdzimy wszystkie cztery opcje. Macierze wychodzą następujące:

$$\mathbf{K}\mathbf{K}_1 = \begin{bmatrix} 2,8981 & -1,7655 & -0,1326 \\ -2,3579 & 3,1448 & 0,2130 \\ 0,4598 & -0,3793 & 0,9195 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$\mathbf{K}\mathbf{K}_2 = \begin{bmatrix} 10,9045 & -6,6005 & -3,3040 \\ -5,7792 & 5,9954 & 0,7838 \\ -4,1253 & 1,6050 & 3,5202 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$\mathbf{K}\mathbf{K}_3 = \begin{bmatrix} -7,5149 & 7,2818 & 1,2331 \\ 4,8953 & -3,7133 & -0,1820 \\ 3,6196 & -2,5685 & -0,0511 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$\mathbf{K}\mathbf{K}_2 = \begin{bmatrix} 1,0935 & -1,2617 & 1,1682 \\ 2,6075 & -1,4280 & -0,1794 \\ -2,7009 & 3,6897 & 0,0112 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Stąd wybieramy cztery opcje torów sterowania. Dla $\mathbf{K}\mathbf{K}_1$:

- $y_1 - u_2$
- $y_2 - u_3$
- $y_3 - u_4$

Zgodnie z wyznaczonymi wskaźnikami uwarunkowania te tory powinny być najlepsze. Dla $\mathbf{K}\mathbf{K}_2$:

- $y_1 - u_1$
- $y_2 - u_3$
- $y_3 - u_4$

Dla $\mathbf{K}\mathbf{K}_3$ nie udało się wyznaczyć torów. Dla $\mathbf{K}\mathbf{K}_4$:

- $y_1 - u_2$
- $y_2 - u_3$
- $y_3 - u_1$

Mając teoretycznie najlepsze tory sterowania przystąpiliśmy do dobierania nastaw dla regulatorów. Nasza taktyka polegała na wyłączeniu wszelkich regulatorów, a następnie znalezieniu wartości wzmocnienia pierwszego regulatora, dla którego oscylacje są niegasnące. Mając tę wartość wzmocnienia dzielona była ona przez dwa i dołączany był regulator drugi. Znowś szukaliśmy wartości oscylacji niegasnących i po znalezieniu dzieliliśmy wzmocnienie drugiego regulatora na dwa. Następnie dołączaliśmy trzeci regulator i postępowaliśmy tak samo. Następnie dobieraliśmy wartości całkowania, metodą prób i błędów, a na końcu tak samo dobieraliśmy wartości członów różniczkujących dla regulatorów. Zaskakująco metoda ta okazała się przynosić zadowalające rezultaty. Dla toru otrzymanego na podstawie macierzy $\mathbf{K}\mathbf{K}_1$ ta metoda dała nastawy:

$$\begin{aligned} K_1 &= 1,3170 & T_{i1} &= 5, & T_{d1} &= 0 \\ K_2 &= 14,8350 & T_{i2} &= 10, & T_{d2} &= 0 \\ K_3 &= 6,2700 & T_{i3} &= 8, & T_{d3} &= 0 \end{aligned} \quad (3.14)$$

Wskaźnik jakości regulacji dla takich nastaw wynosił $E_1 = 301,8303$. Co ciekawe włączenie różniczki nie dawało poprawy wskaźnika jakości, więc z niej zrezygnowaliśmy. Wyniki działania takiego regulatora dla tych nastaw przedstawiają wykresy 3.1, 3.2 oraz 3.3.

Następnie sprawdzony został tor otrzymany na podstawie macierzy $\mathbf{K}\mathbf{K}_2$. Po kilku eksperymentach otrzymaliśmy następujące nastawy:

$$\begin{aligned} K_1 &= 5,1325 & T_{i1} &= 9, & T_{d1} &= 0 \\ K_2 &= 3,1150 & T_{i2} &= 10, & T_{d2} &= 0 \\ K_3 &= 7,2400 & T_{i3} &= 10, & T_{d3} &= 0 \end{aligned} \quad (3.15)$$

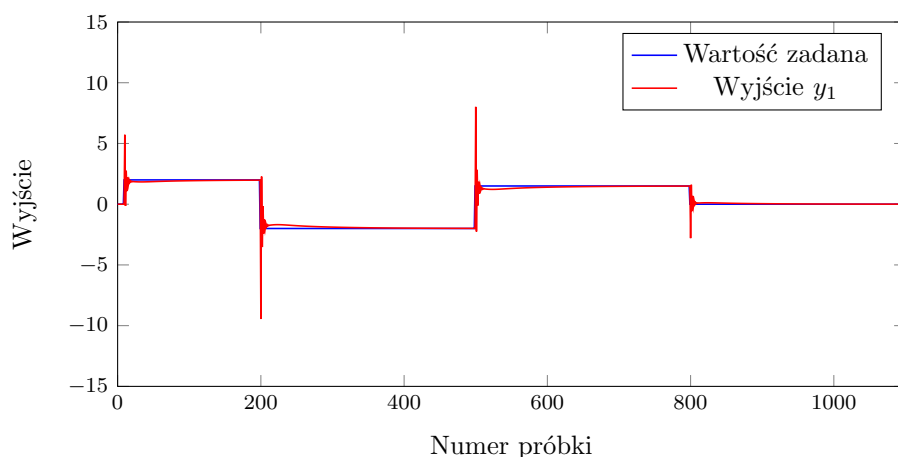
Wskaźnik jakości regulacji dla takich nastaw wynosił $E_2 = 134,8370$, czyli wbrew temu co wyszło z wyliczeń wskaźników jakości — lepszy niż ten dla pierwszego toru sterowania. Podobnie jak wcześniej, dodanie różniczkowania nie poprawiało wyników w sensie wskaźnika jakości, więc z niego zrezygnowaliśmy. Działanie tych regulatorów przedstawiają wykresy 3.4, 3.5 oraz 3.6.

Dla ułatwienia porównania zastosowano tą samą skalę co w przypadku poprzedniego zestawu regulatorów.

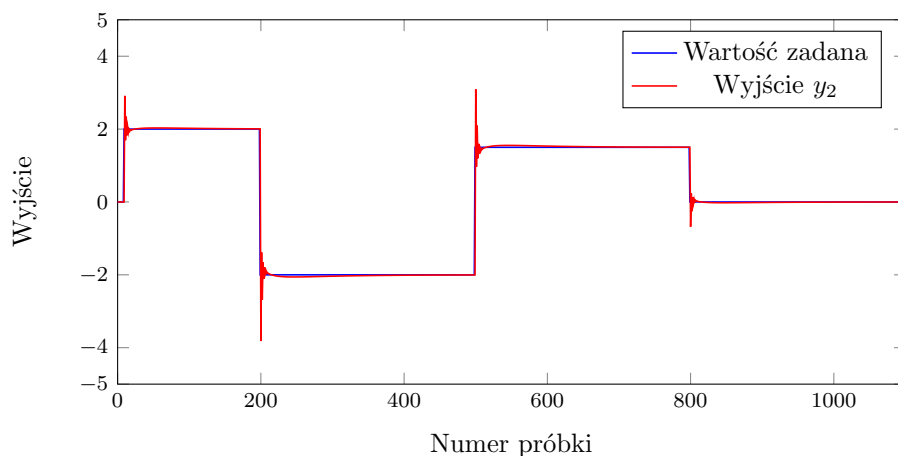
Macierz $\mathbf{K}\mathbf{K}_3$ nie dała nam żadnego toru sterowania wyjściami, więc przeszliśmy od razu do zestawu który wynił z macierzy $\mathbf{K}\mathbf{K}_4$. Otrzymane nastawy były następujące:

$$\begin{aligned} K_1 &= 1,3170 & T_{i1} &= 4, & T_{d1} &= 0 \\ K_2 &= 14,8350 & T_{i2} &= 9, & T_{d2} &= 0 \\ K_3 &= 5,6000 & T_{i3} &= 6, & T_{d3} &= 0 \end{aligned} \quad (3.16)$$

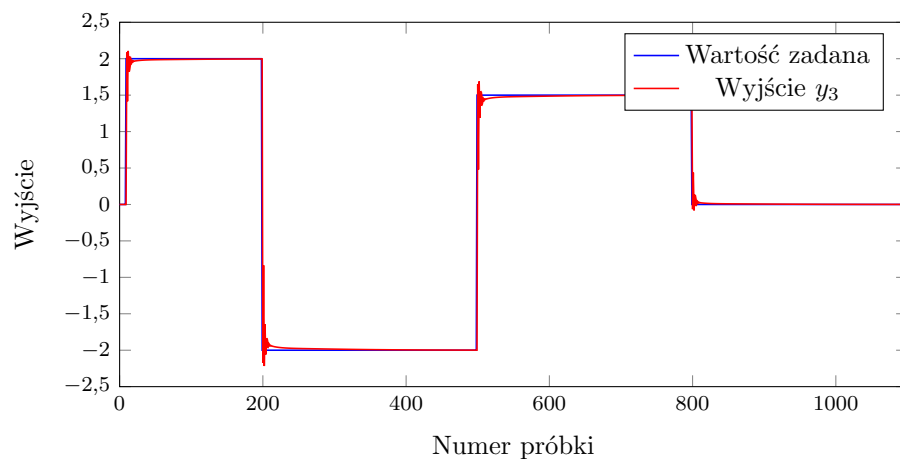
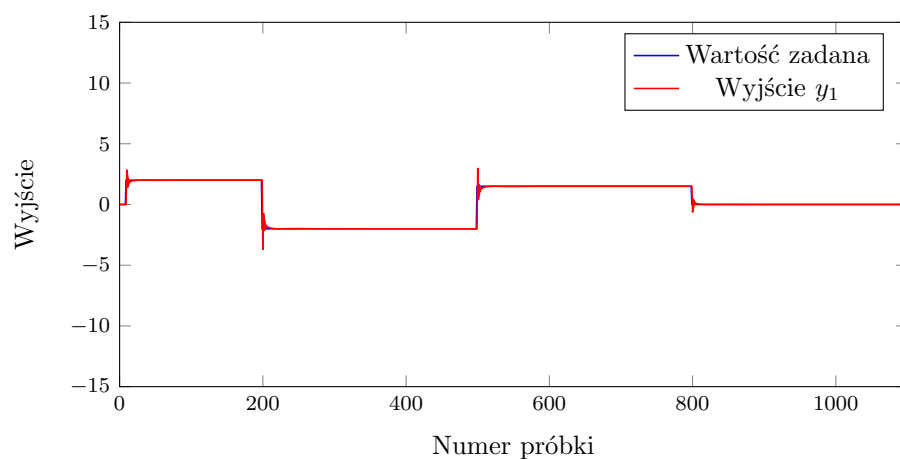
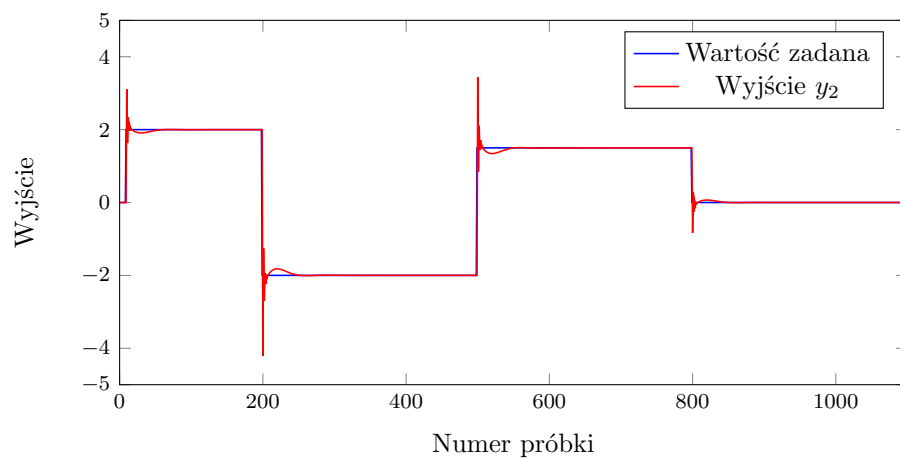
Wskaźnik jakości wynosił 565,3247, czyli był najgorszy ze wszystkich. Znow, dodanie różniczkowania jedynie pogarszało wyniki. Działanie tych regulatorów ukazują wykresy 3.7, 3.8 oraz 3.9.

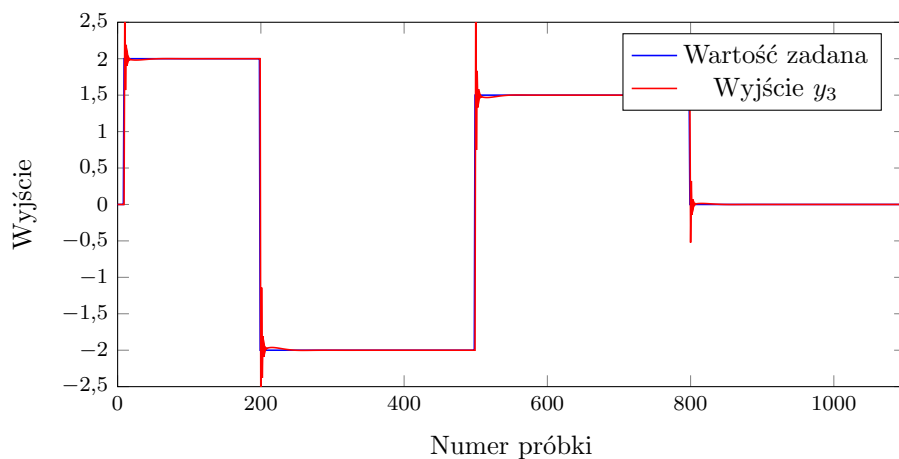
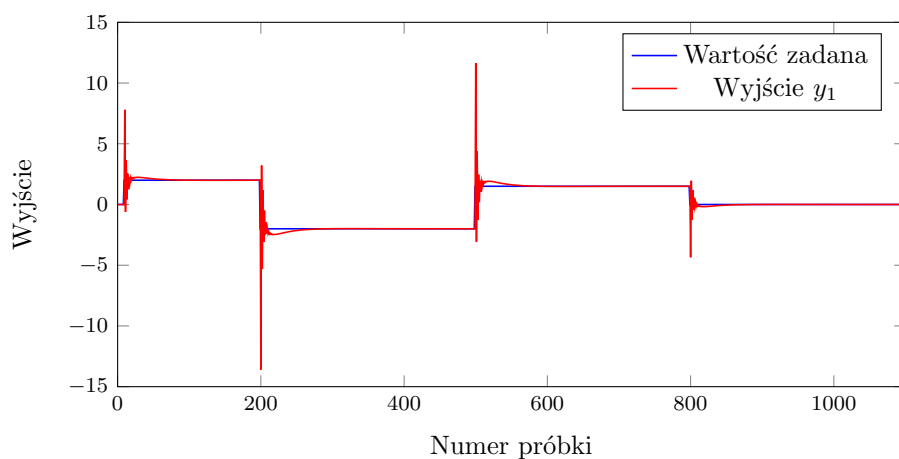
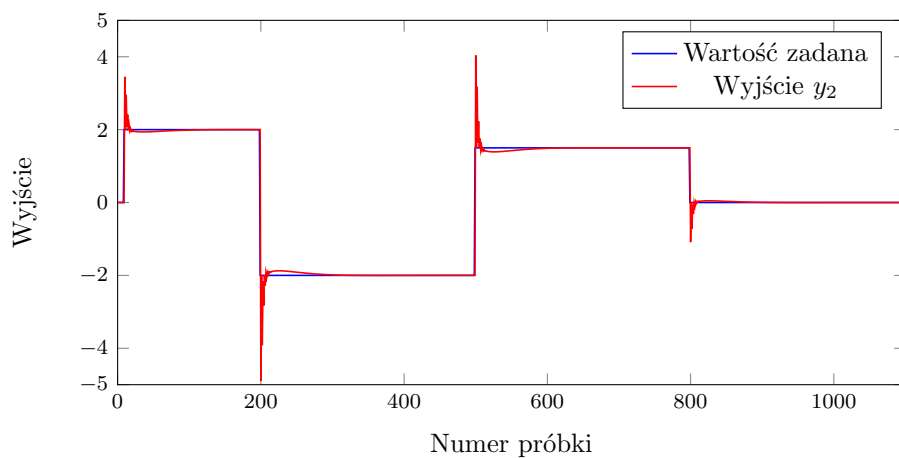


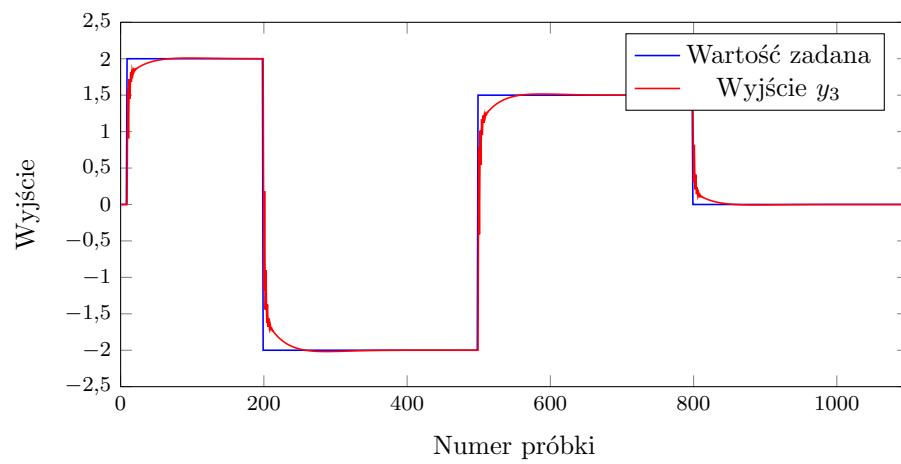
Rys. 3.1. Trajektorja wyjścia y_1 , dla pierwszego zestawu regulatorów PID



Rys. 3.2. Trajektorja wyjścia y_2 , dla pierwszego zestawu regulatorów PID

Rys. 3.3. Trajektoria wyjścia y_3 , dla pierwszego zestawu regulatorów PIDRys. 3.4. Trajektoria wyjścia y_1 , dla drugiego zestawu regulatorów PIDRys. 3.5. Trajektoria wyjścia y_2 , dla drugiego zestawu regulatorów PID

Rys. 3.6. Trajektoria wyjścia y_3 , dla drugiego zestawu regulatorów PIDRys. 3.7. Trajektoria wyjścia y_1 , dla trzeciego zestawu regulatorów PIDRys. 3.8. Trajektoria wyjścia y_2 , dla trzeciego zestawu regulatorów PID



Rys. 3.9. Trajektoria wyjścia y_3 , dla trzeciego zestawu regulatorów PID

4. DMC

Na podstawie analizy odpowiedzi skokowych przyjęliśmy horyzont dynamiki $D = 80$. Przez E_i oznaczyliśmy wartość wskaźnika błędu dla wyjścia i , natomiast E jest sumą błędów dla wszystkich wyjść obiektu.

4.1. Dobór horyzontów predykcji i sterowania

Dobór horyzontów przeprowadzaliśmy korzystając z parametrów ψ i λ równymi 1. Rozpoczęliśmy od nastaw $N = N_u = D = 80$. Dla tych parametrów błędy wynosiły:

- $E_1 = 45,0725$
- $E_2 = 45,9624$
- $E_3 = 24,6561$
- $E = 115,6910$

Przebieg wyjść obiektu przedstawia wykres 4.1, a sterowań wykres 4.2.

Postanowiliśmy skrócić horyzonty do wartości $N = N_u = 50$. Otrzymane błędy wyniosły:

- $E_1 = 45,0726$
- $E_2 = 45,962$
- $E_3 = 24,6562$
- $E = 115,6908$

Błędy regulacji były więc praktycznie jednakowe jak dla dłuższych horyzontów. Przebiegi wyjść i sterowań przedstawiają wykresy 4.3 i 4.4.

W kolejnym kroku skróciliśmy horyzont predykcji do wartości $N = 40$, a sterowania $N_u = 10$. Taka zmiana przyniosła niewielką poprawę wskaźników błędu:

- $E_1 = 45,0801$
- $E_2 = 45,933$
- $E_3 = 24,6021$
- $E = 115,6152$

Przebieg wyjść obiektu przedstawiają wykresy 4.5 i 4.6.

Jak się okazało, dalsze skracanie horyzontu sterowania przyniosło znacznie bardziej wymierne rezultaty - dla $N_u = 5$ wskaźniki błędów zmalały do wartości:

- $E_1 = 44,4289$
- $E_2 = 44,1988$
- $E_3 = 23,0761$
- $E = 111,7038$

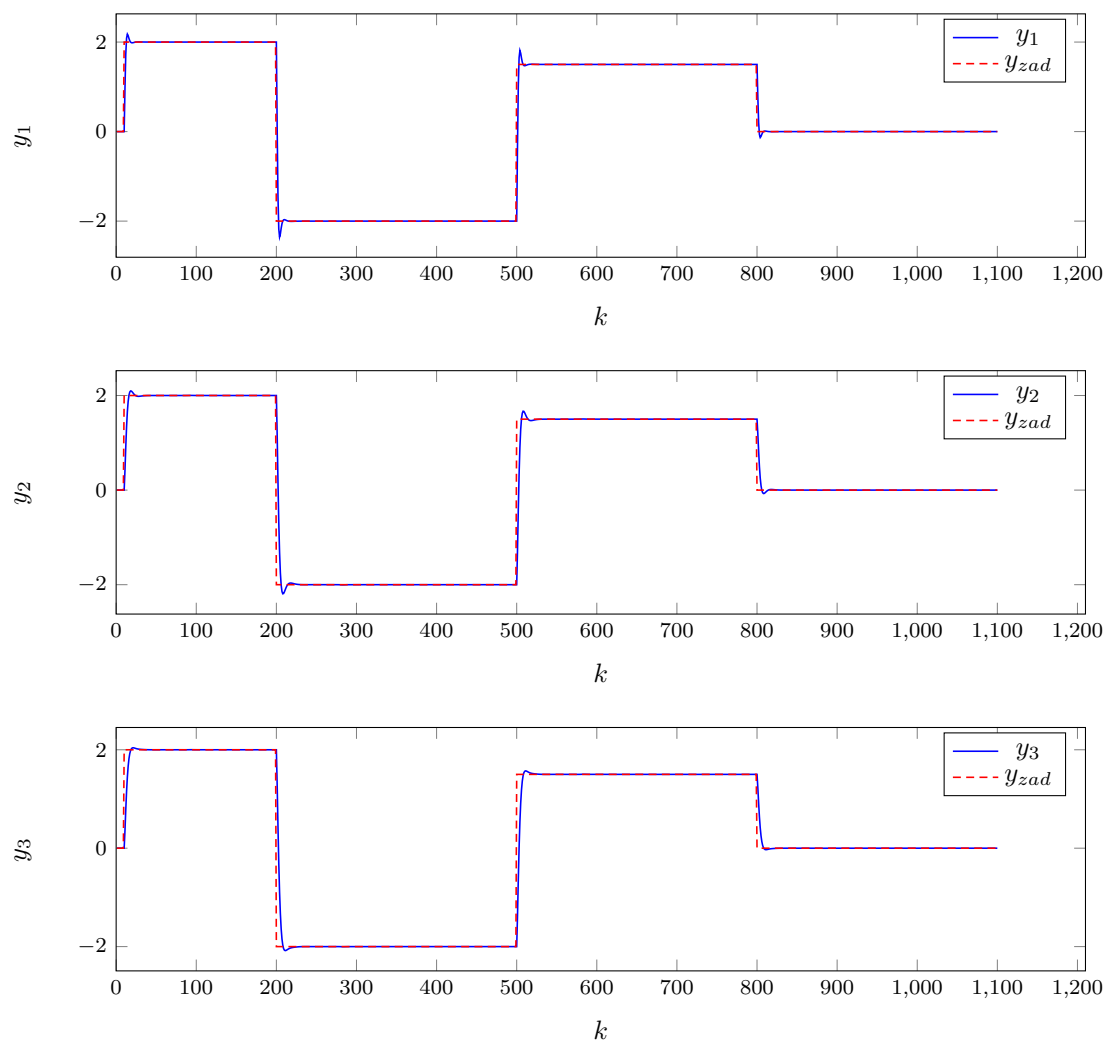
Przebieg wyjść obiektu przedstawiają wykresy 4.7 i 4.8.

Dalsze skracanie horyzontu predykcji nie przyniosło pozytywnych rezultatów. Dla $N_u = 2$ wskaźniki błędów wyniosły:

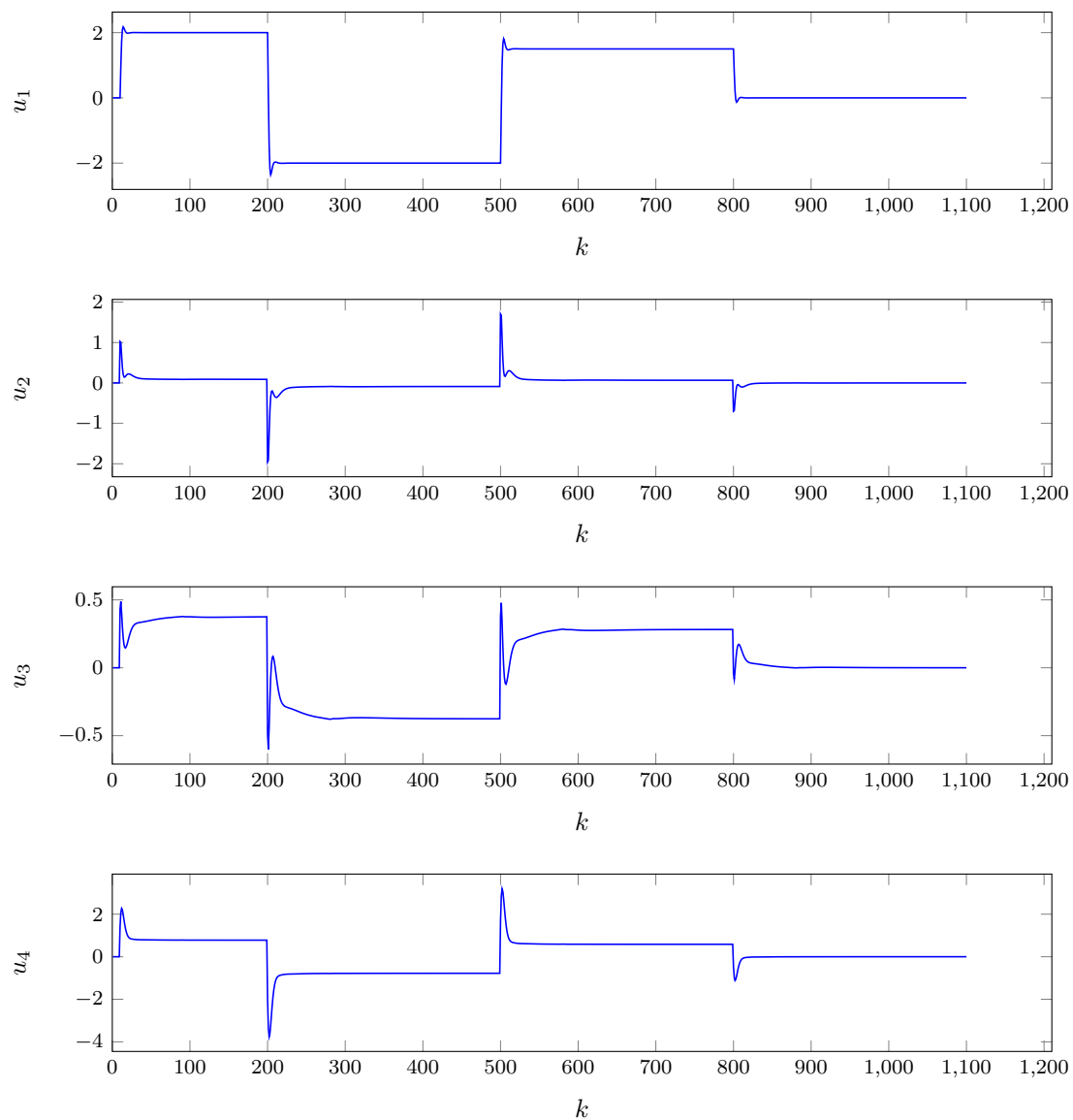
- $E_1 = 46,6684$
- $E_2 = 50,4711$
- $E_3 = 27,023$
- $E = 124,1625$

Można więc przypuszczać, że jeszcze mniejsze wartości horyzontu sterowania przyniosłyby pogorszenie jakości regulacji. Przebieg wyjść obiektu przedstawiają wykresy 4.9 i 4.10.

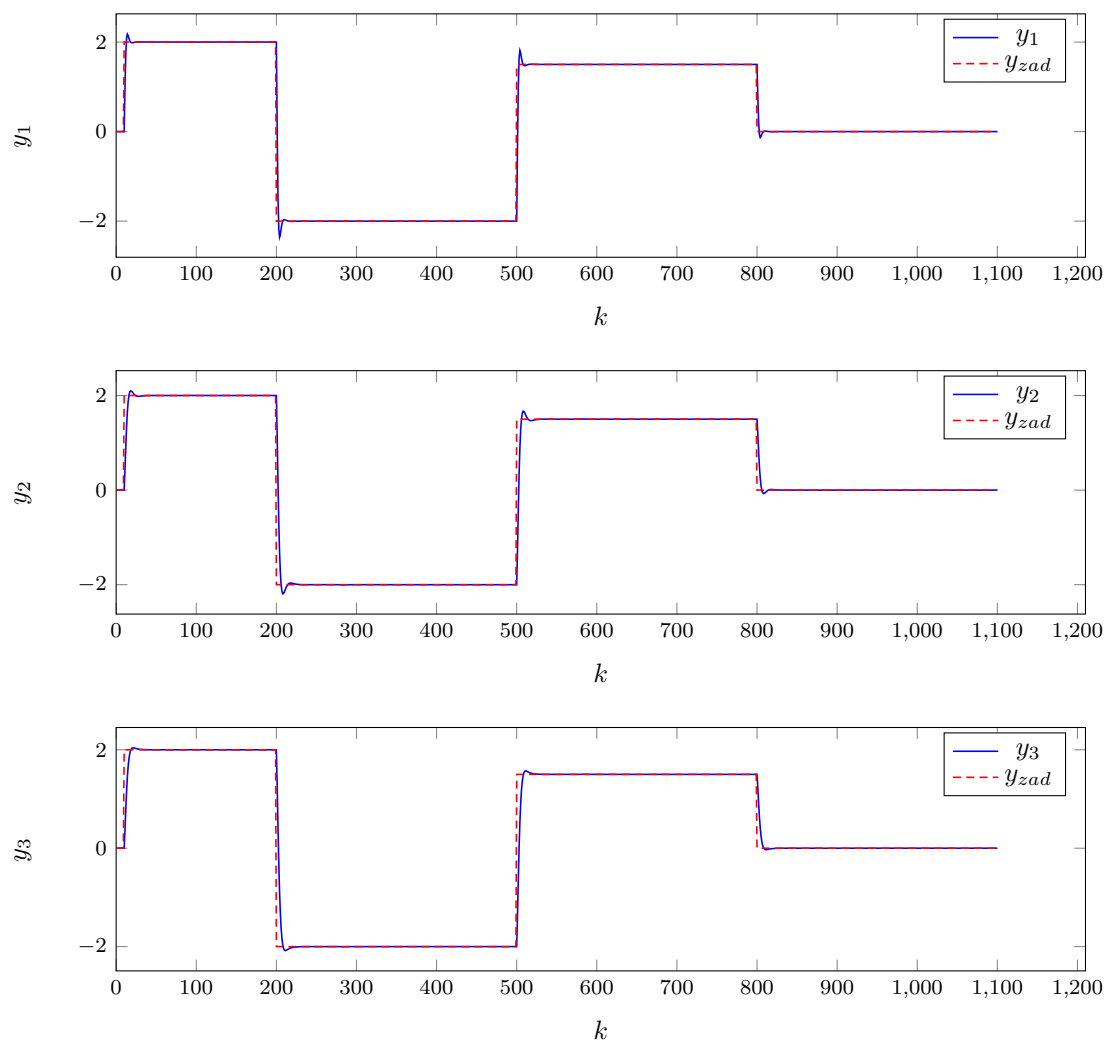
W kolejnych zadaniach używane będą horyzonty $N = 40$ i $N_u = 5$.



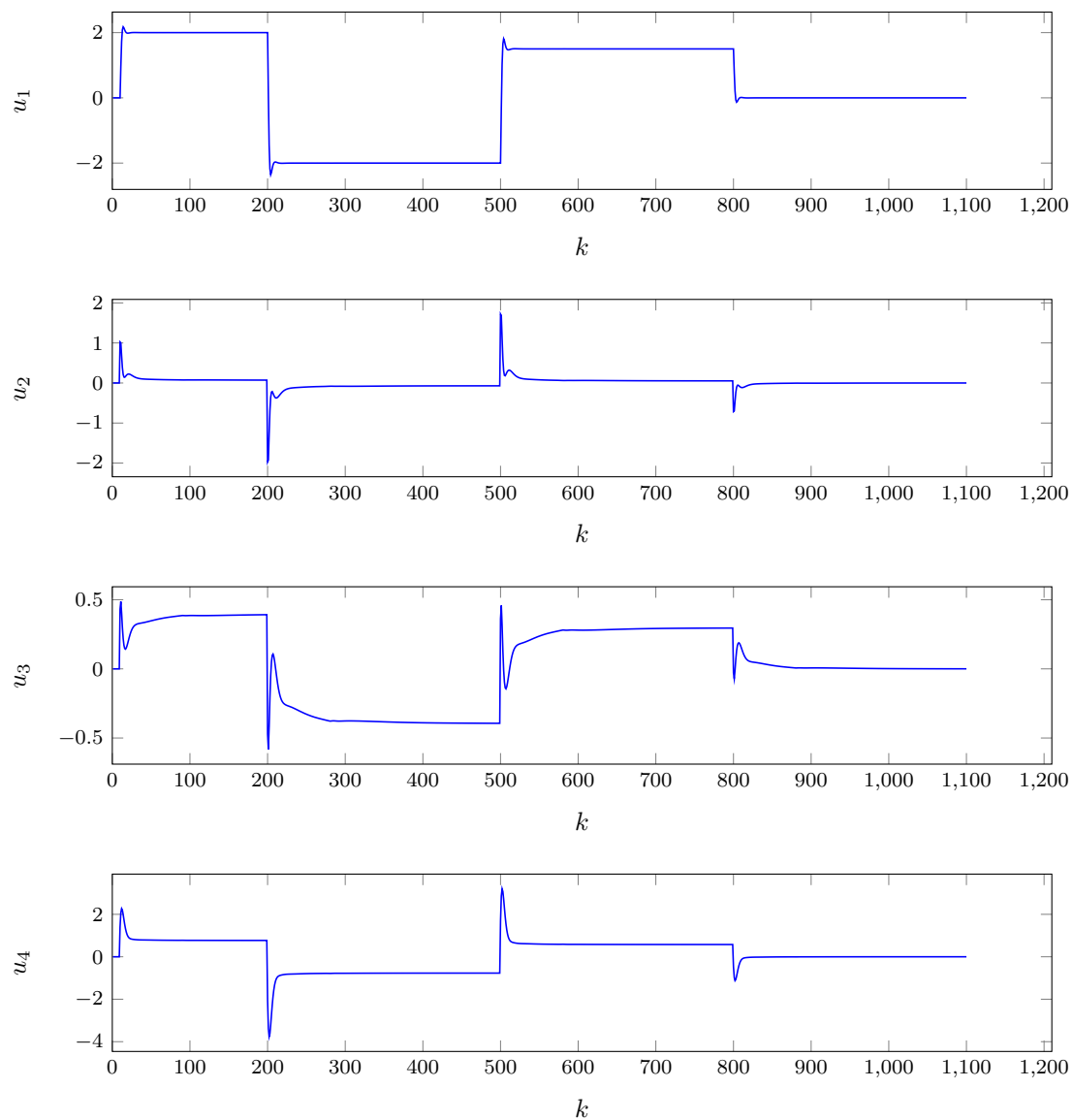
Rys. 4.1. Przebiegi wyjść obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 80$, $N_u = 80$.



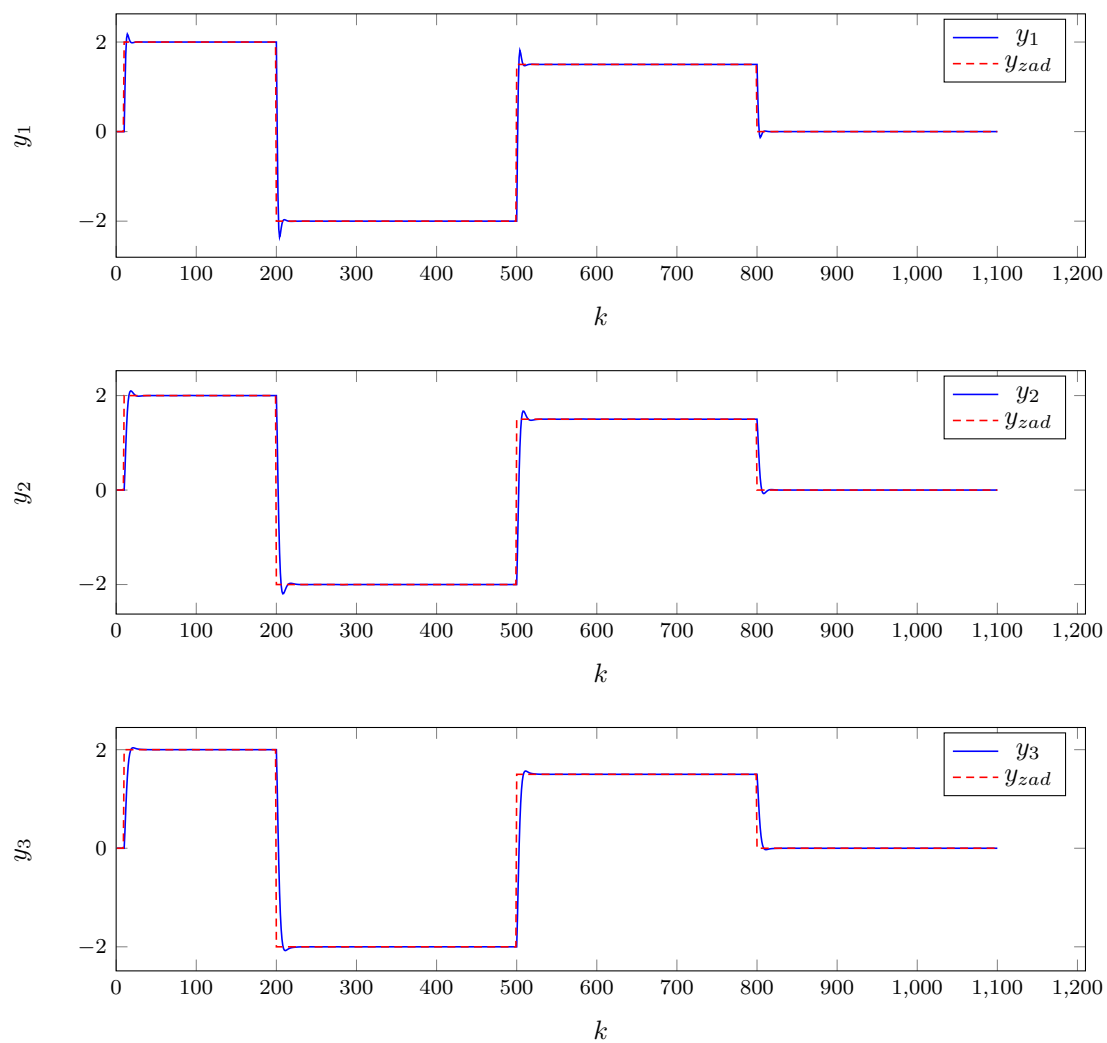
Rys. 4.2. Przebiegi sterowań obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 80$, $N_u = 80$.



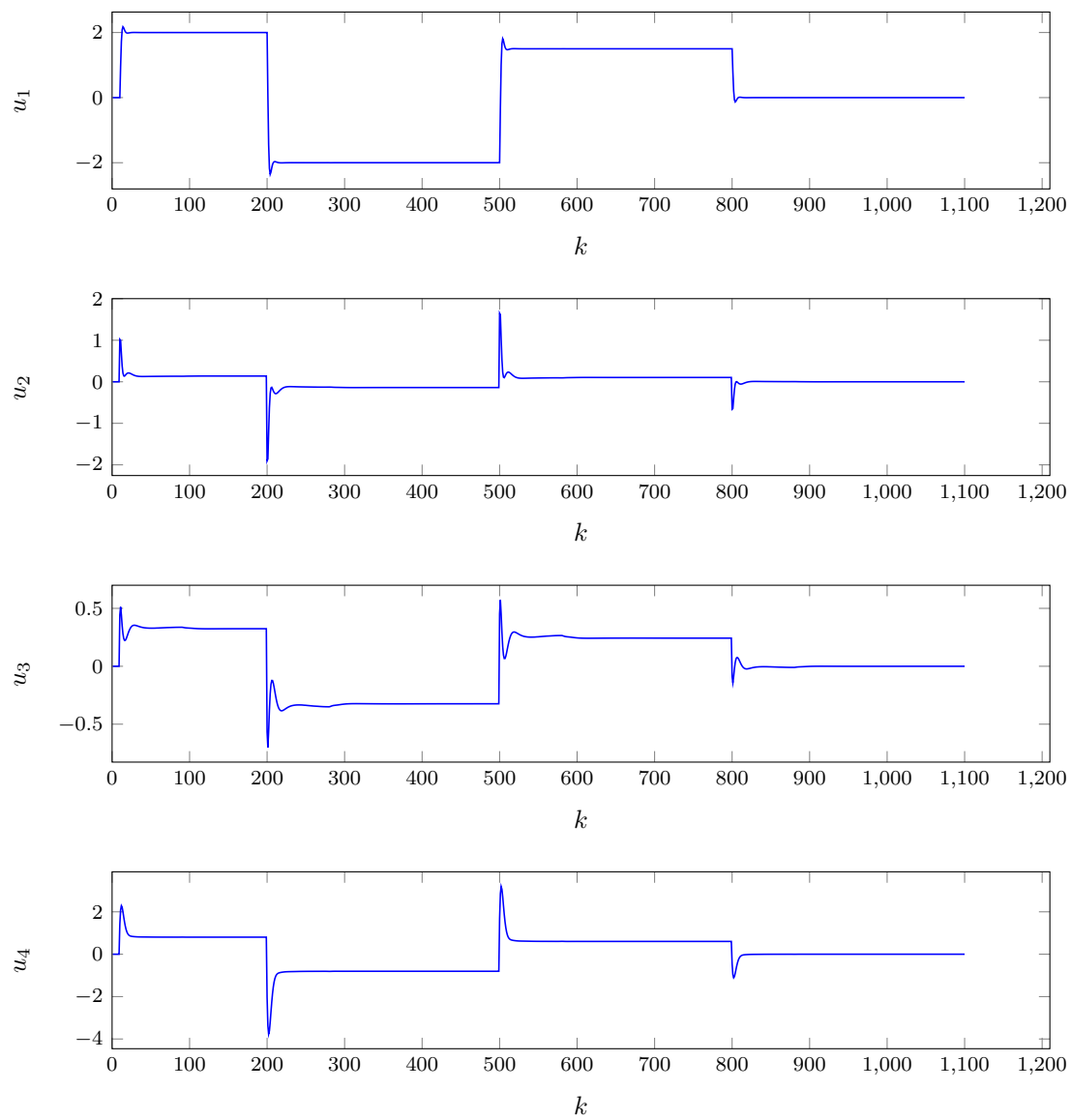
Rys. 4.3. Przebiegi wyjść obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 50$, $N_u = 50$.



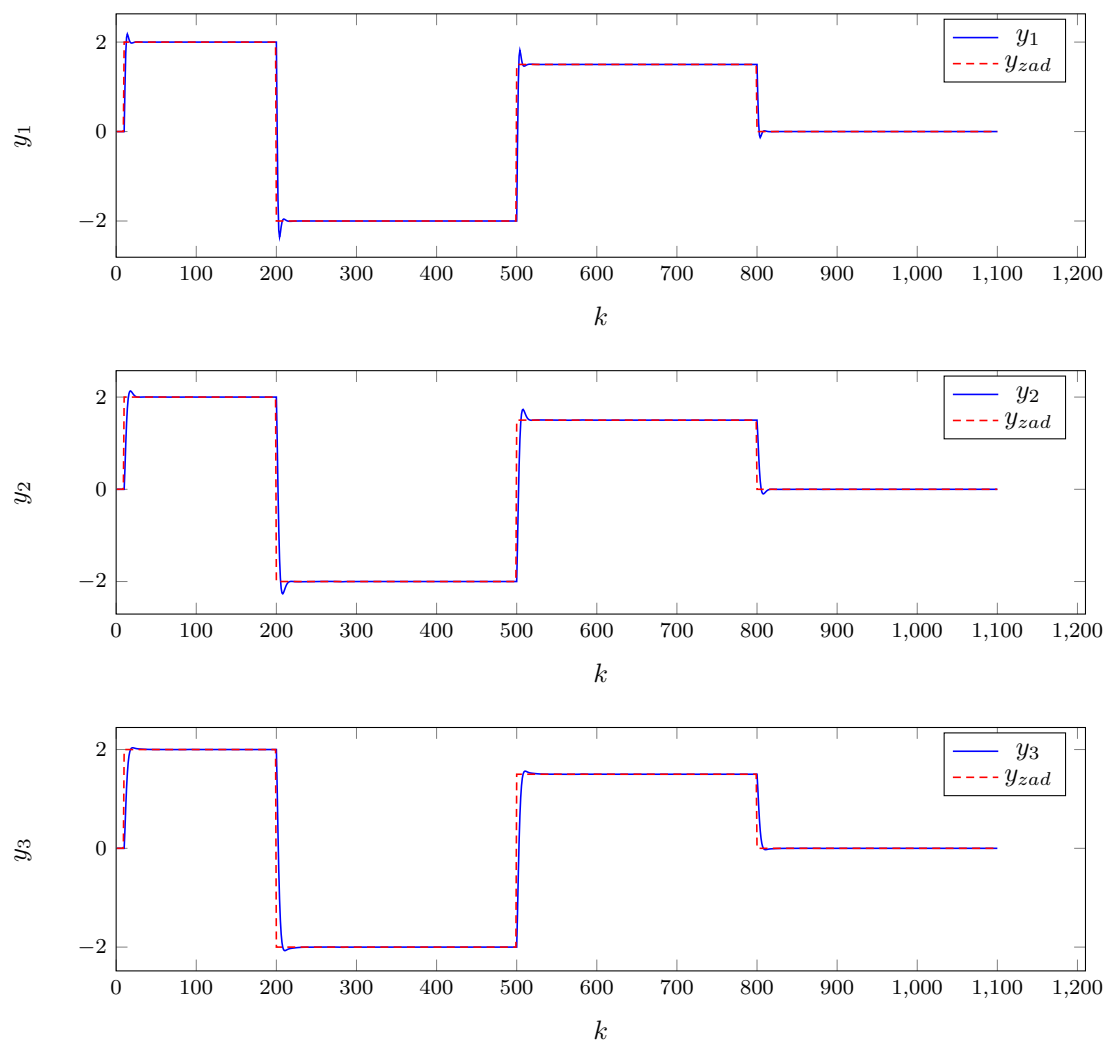
Rys. 4.4. Przebiegi sterowań obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 50$, $N_u = 50$.



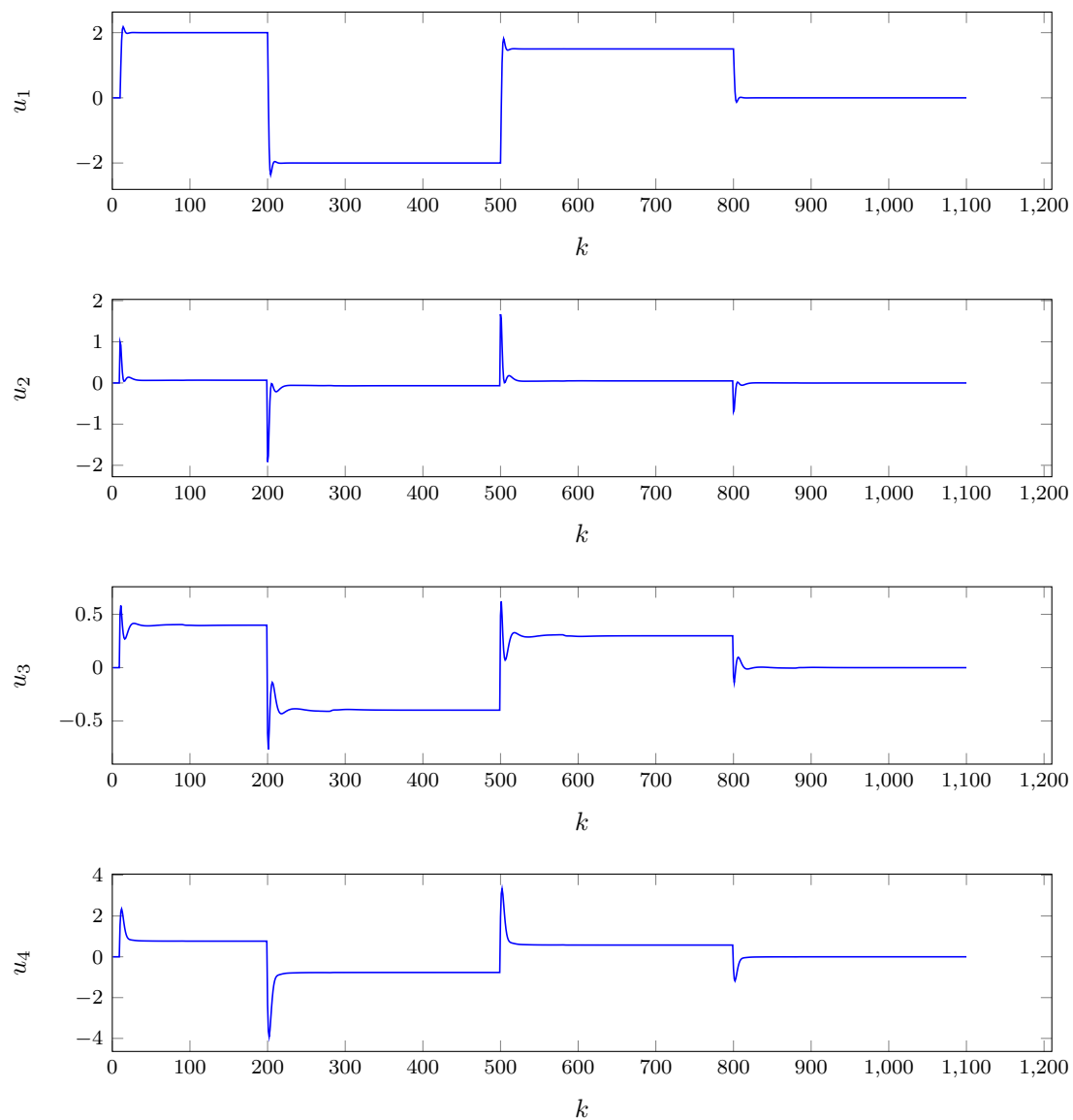
Rys. 4.5. Przebiegi wyjść obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 40$, $N_u = 10$.



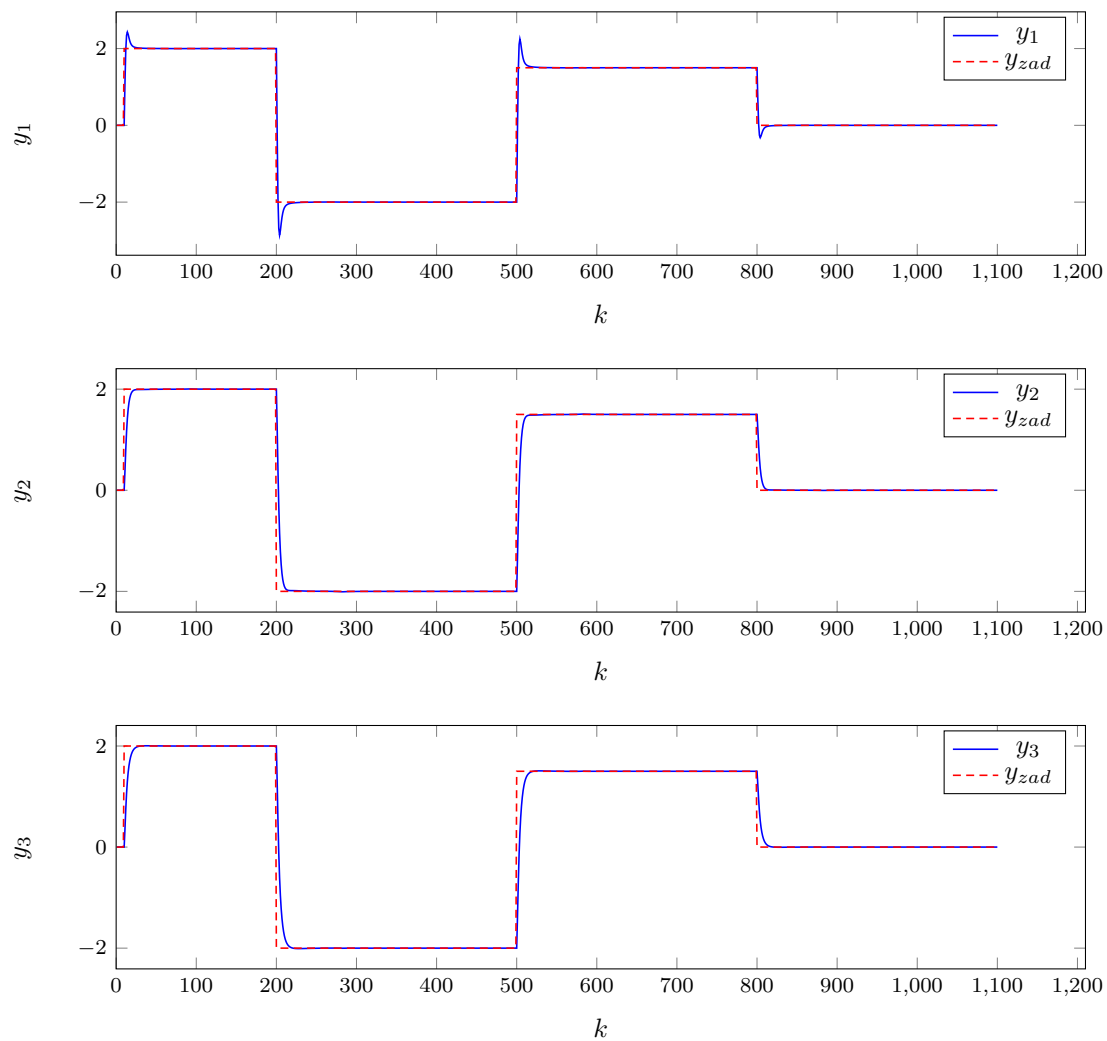
Rys. 4.6. Przebiegi sterowań obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 40$, $N_u = 10$.



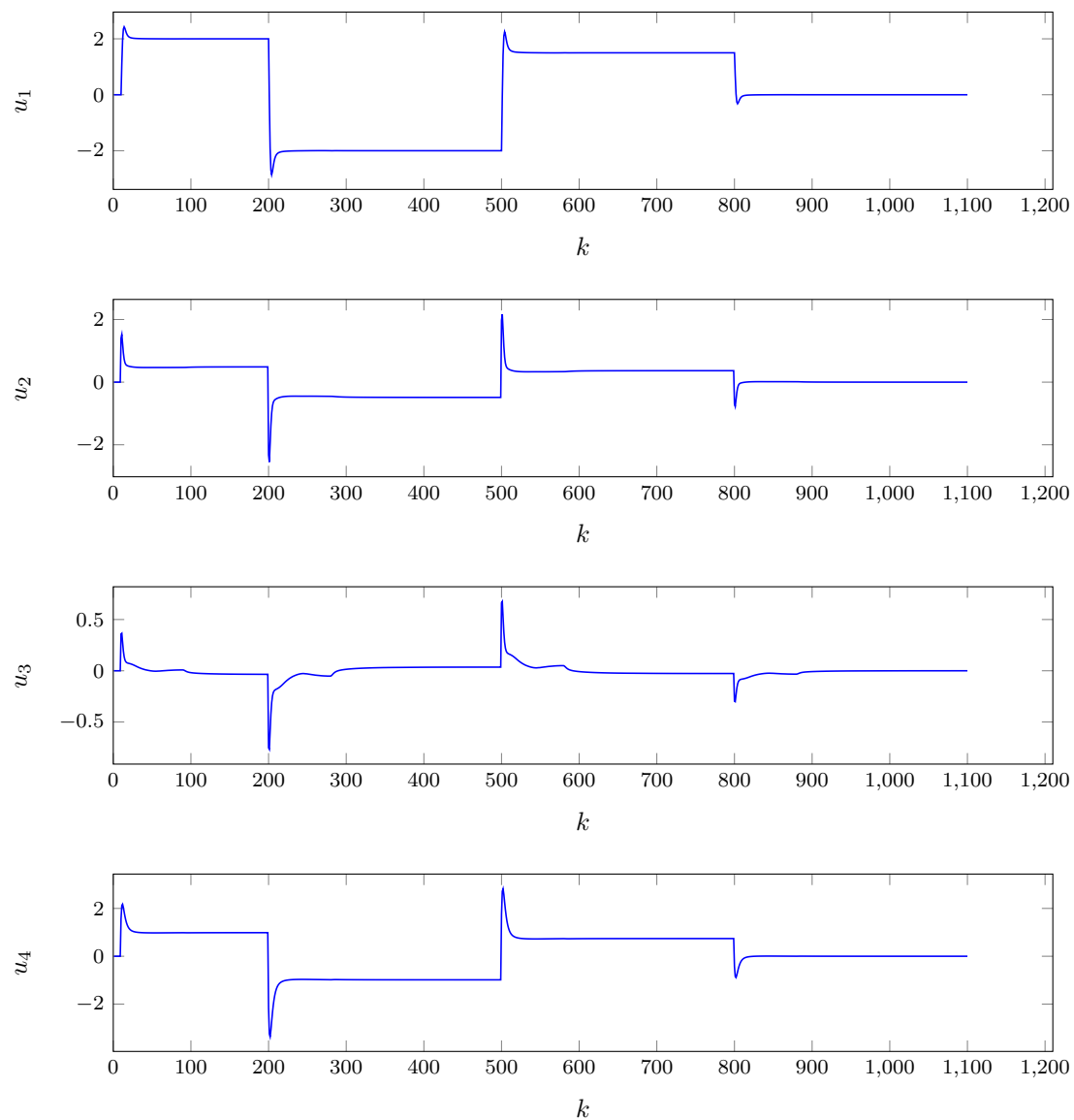
Rys. 4.7. Przebiegi wyjść obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 40$, $N_u = 5$.



Rys. 4.8. Przebiegi sterowań obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 40$, $N_u = 5$.



Rys. 4.9. Przebiegi wyjść obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 40$, $N_u = 5$.



Rys. 4.10. Przebiegi sterowań obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 40$, $N_u = 2$.

5. Parametry λ i ψ

5.1. Parametr λ

W wyniku testowania różnych wartości współczynnika λ zaobserwowaliśmy, że błąd regulacji jest najmniejszy dla bardzo małych wartości λ . Trzeba jednak zauważyć, że niskie wartości parametru powodują, że przebieg sterowania jest znacznie "ostrzejszy", występują duże i nagłe skoki u przy zmianach wartości zadanej. W przypadku rzeczywistego obiektu, zjawisko to mogłoby mieć negatywny efekt, na przykład uszkodzenie części sterujących. Staraliśmy się więc doprowadzić do kompromisu między niskim wskaźnikiem błędu a łagodnym przebiegiem sterowania.

Testując różne wartości parametru λ , przyjęliśmy długości horyzontów $N = 40$ i $N_u = 5$, a parametry $\psi = 1$.

Próba zwiększenia wartości parametrów λ do wartości 2 okazała się przynosić znacznie wyższe współczynniki błędu.

- $E_1 = 49,4821$
- $E_2 = 49,361$
- $E_3 = 28,0998$
- $E = 126,9428$

Zdecydowaliśmy więc w kolejnych testach skupić się na parametrach λ poniżej 1. Przebiegi wyjść i sterowań przedstawiają wykresy 5.1 i 5.2.

Ustawienie parametrów na wartości $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 0,2$ dało w rezultacie bardzo dużą poprawę wskaźników błędu regulacji.

- $E_1 = 37,0136$
- $E_2 = 37,5058$
- $E_3 = 14,446$
- $E = 88,9654$

Charakterystykę sterowania uznaliśmy za akceptowalną. Przebiegi wyjść i sterowań przedstawiają wykresy 5.3 i 5.4.

Można dostrzec, że skoki sterowania na torach 1 i 4 osiągają znacznie większe wartości, niż na torach 2 i 3. Tor sterowania 3 natomiast ma łagodniejszy przebieg niż pozostałe. Z tego powodu przetestujemy, jak zachowuje się obiekt w przypadku, gdy parametry λ_1 i λ_4 mają wyższe wartości niż λ_2 , a λ_3 ma niższą wartość. W ten sposób tory sterowania 1 i 4 powinny zostać złagodzone, a tor 3 przyspieszony.

Przyjęliśmy parametry o następujących wartościach:

- $\lambda_1 = 0,3$
- $\lambda_2 = 0,2$
- $\lambda_3 = 0,1$
- $\lambda_4 = 0,3$

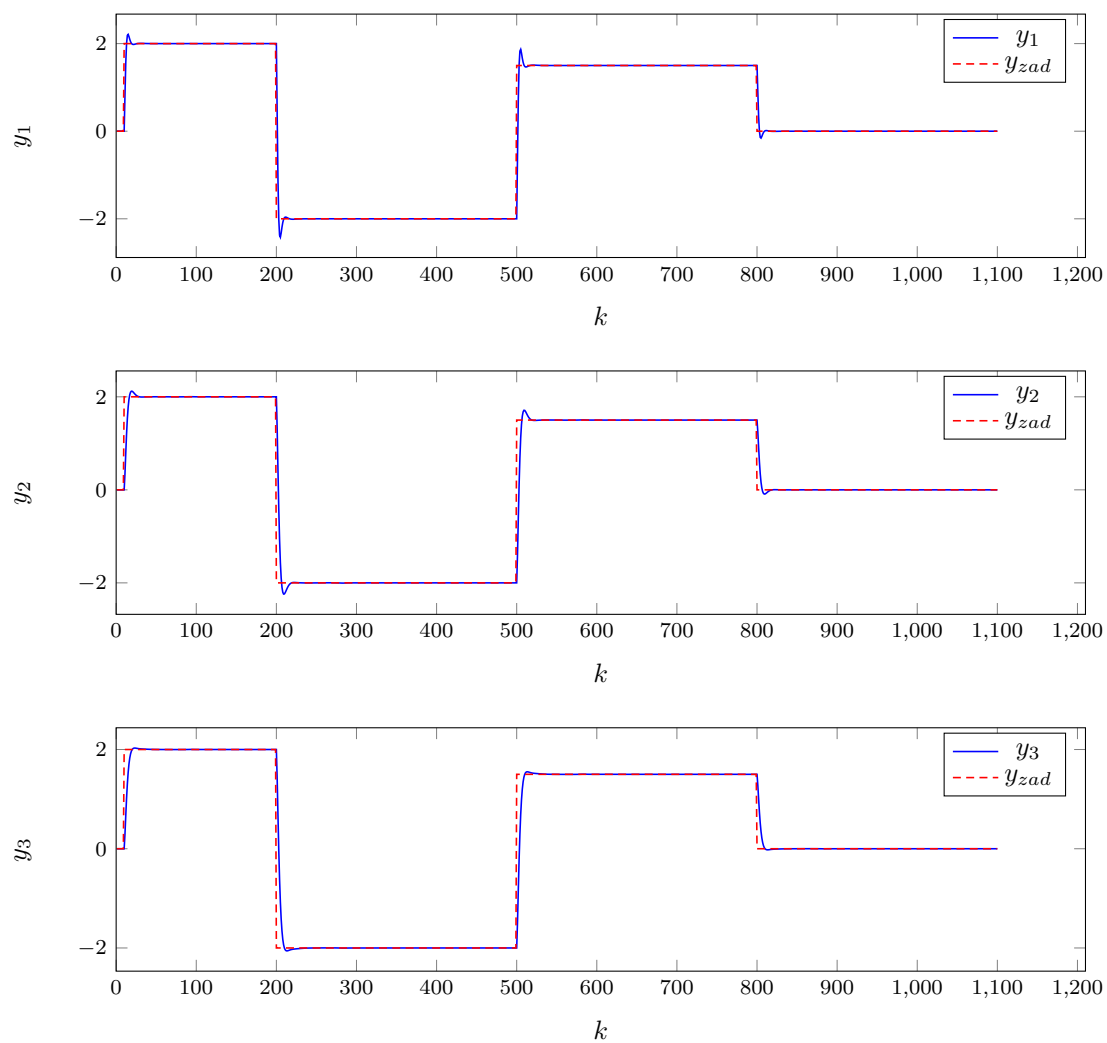
Błędy regulacji:

- $E_1 = 36,357$
- $E_2 = 38,3743$
- $E_3 = 16,2287$
- $E = 90,9600$

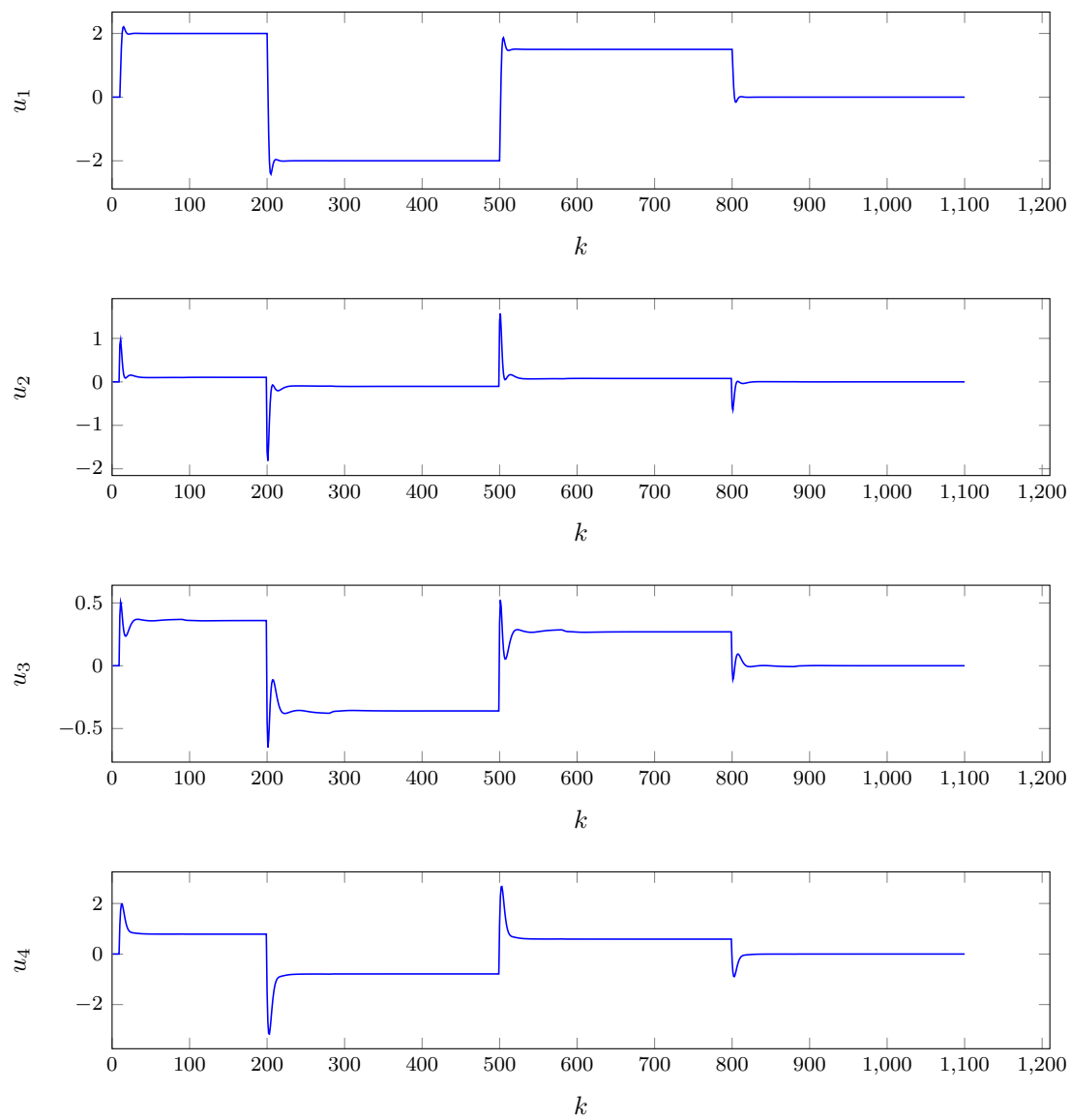
Jak widać odnotowaliśmy nieznaczne pogorszenie jakości regulacji. Można jednak zaobserwować na wykresie sterowań 5.6, że tory 1 i 4 mają łagodniejsze przebiegi. Uznaliśmy więc, że te wartości λ są w naszym przypadku optymalne. Przebiegi wyjść przedstawia wykres 5.5.

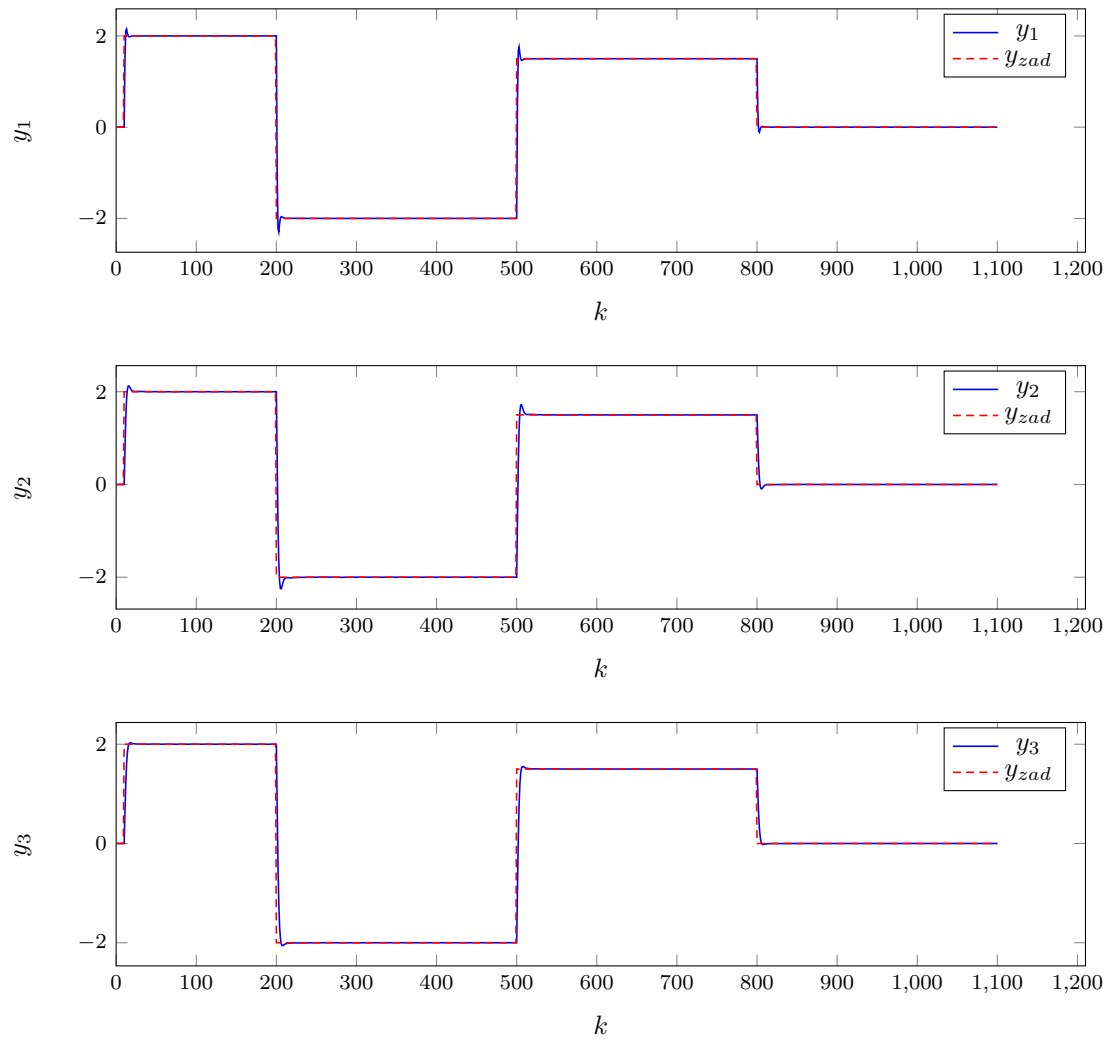
W kolejnych testach używane będą parametry λ o wartościach:

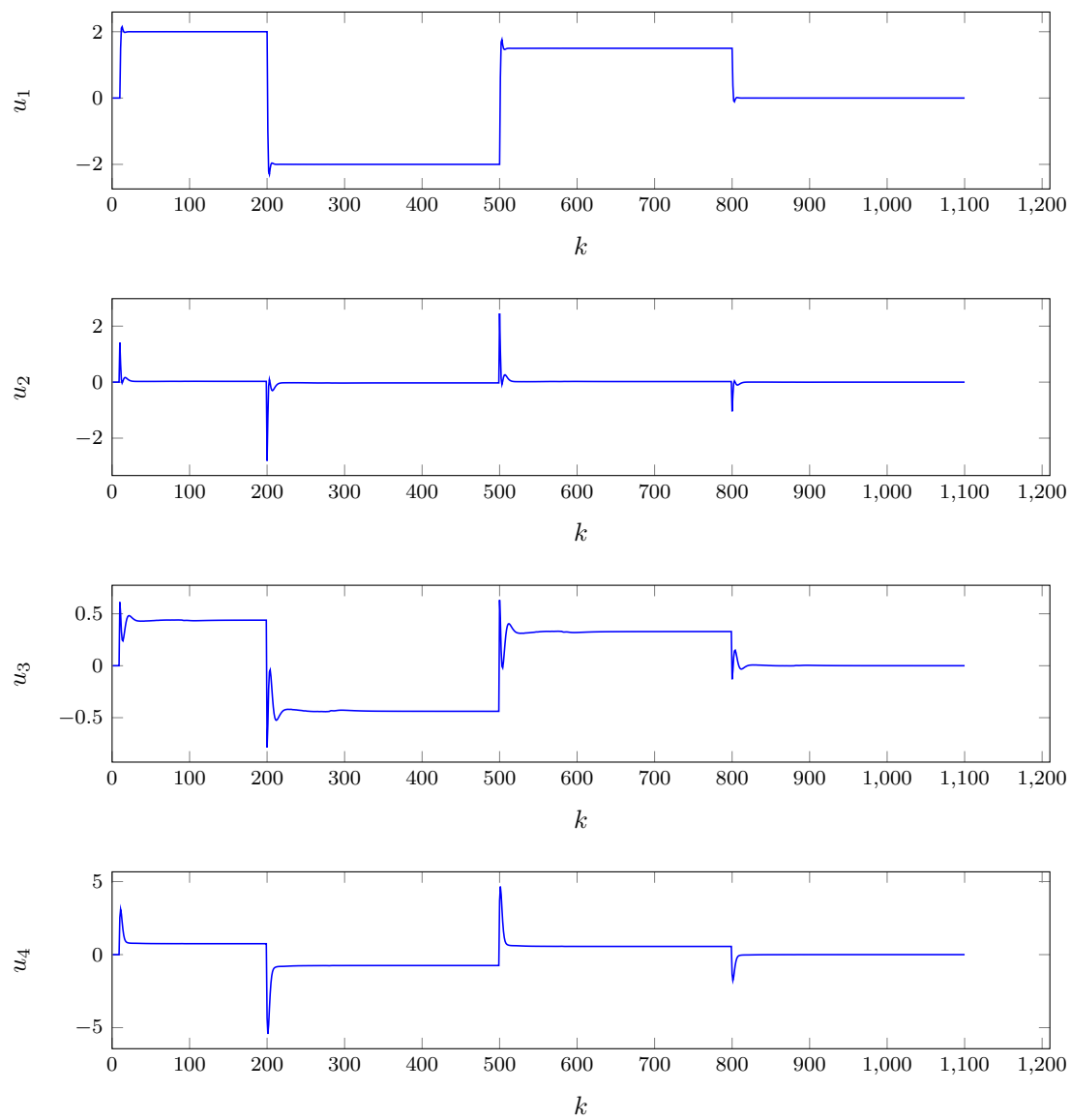
- $\lambda_1 = 0,3$
- $\lambda_2 = 0,2$
- $\lambda_3 = 0,1$
- $\lambda_4 = 0,3$

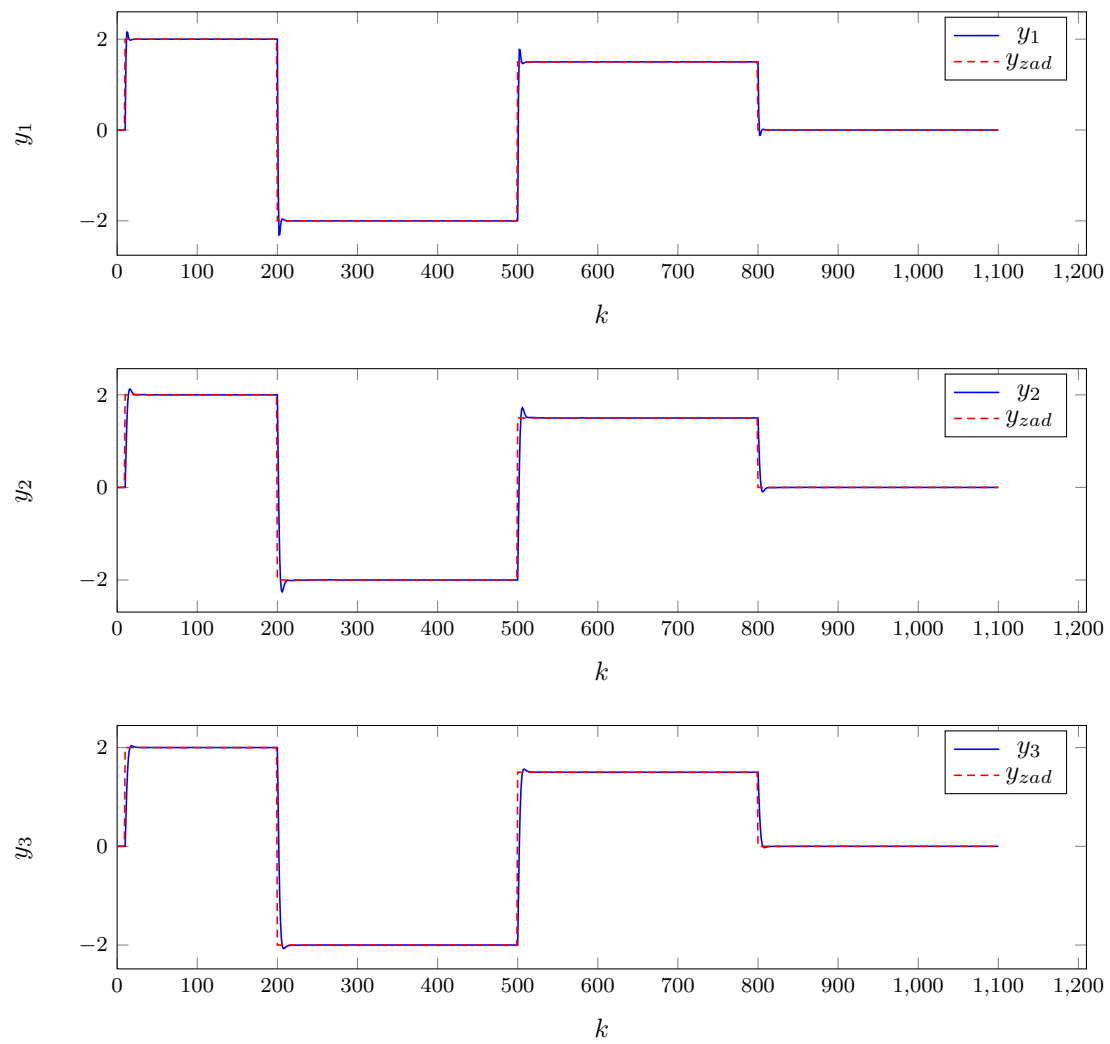


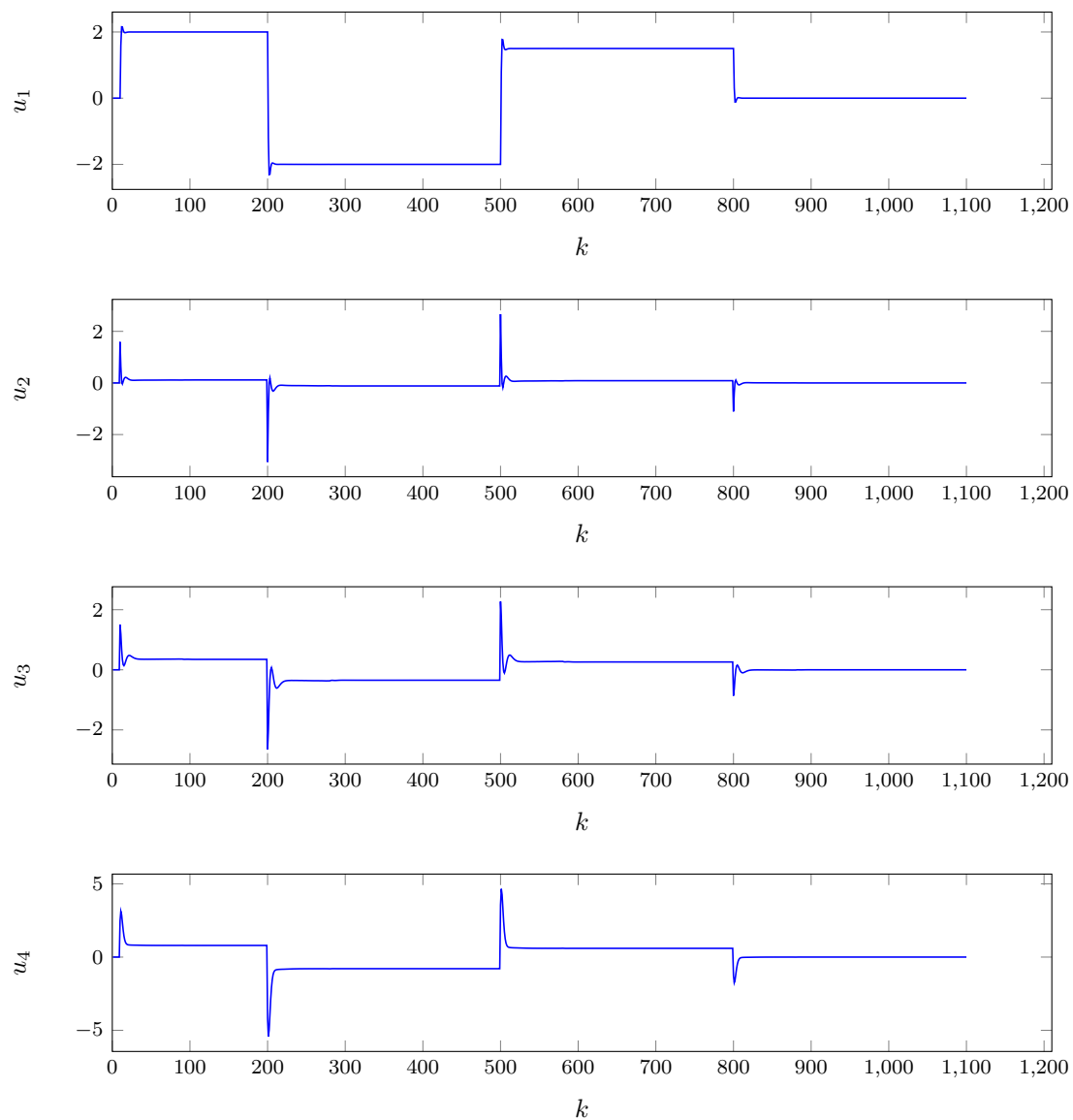
Rys. 5.1. Przebiegi wyjść obiektu dla $\lambda_1 = 2$, $\lambda_2 = 2$, $\lambda_3 = 2$ i $\lambda_4 = 2$.

Rys. 5.2. Przebiegi sterowań obiektu dla $\lambda_1 = 2$, $\lambda_2 = 2$, $\lambda_3 = 2$ i $\lambda_4 = 2$.

Rys. 5.3. Przebiegi wyjść obiektu dla $\lambda_1 = 0,2$, $\lambda_2 = 0,2$, $\lambda_3 = 0,2$ i $\lambda_4 = 0,2$.

Rys. 5.4. Przebiegi sterowań obiektu dla $\lambda_1 = 0,2$, $\lambda_2 = 0,2$, $\lambda_3 = 0,2$ i $\lambda_4 = 0,2$.

Rys. 5.5. Przebiegi wyjść obiektu dla $\lambda_1 = 0,3$, $\lambda_2 = 0,2$, $\lambda_3 = 0,1$ i $\lambda_4 = 0,3$.

Rys. 5.6. Przebiegi sterowań obiektu dla $\lambda_1 = 0,3$, $\lambda_2 = 0,2$, $\lambda_3 = 0,1$ i $\lambda_4 = 0,3$.

5.2. Parametr ψ

W wyniku testowania różnych wartości współczynnika ψ zaobserwowaliśmy, że błąd regulacji jest najmniejszy dla dużych wartości ψ . Podobnie jednak jak w przypadku dobierania λ zauważamy, że wysokie wartości parametru powodują, że przebieg sterowania jest znacznie "ostrzejszy", występują duże i nagłe skoki u przy zmianach wartości zadanej. W przypadku rzeczywistego obiektu, zjawisko to mogłoby mieć negatywny efekt, na przykład uszkodzenie części sterujących. Staraliśmy się więc doprowadzić do kompromisu między niskim wskaźnikiem błędu a łagodnym przebiegiem sterowania.

Testując różne wartości parametru ψ , przyjęliśmy długości horyzontów $N = 40$ i $N_u = 5$ oraz współczynniki $\lambda_1 = 0,3$, $\lambda_2 = 0,2$, $\lambda_3 = 0,1$, $\lambda_4 = 0,3$.

Próba ustawienia parametrów ψ na wartość poniżej 1 dała w rezultacie wyższe błędy regulacji. Próba zmniejszenia wartości parametrów ψ do 0,8 okazała się przynosić wyższe współczynniki błędu.

- $E_1 = 36,9114$
- $E_2 = 39,0784$
- $E_3 = 17,3408$
- $E = 93,3306$

Zdecydowaliśmy więc, że kolejne testy przeprowadzane będą na wartościach ψ powyżej 1. Przebiegi wyjść i sterowań przedstawiają wykresy 5.7 i 5.7.

Zwiększenie współczynników ψ do wartości 5 dało w rezultacie bardzo dużą poprawę błędu regulacji.

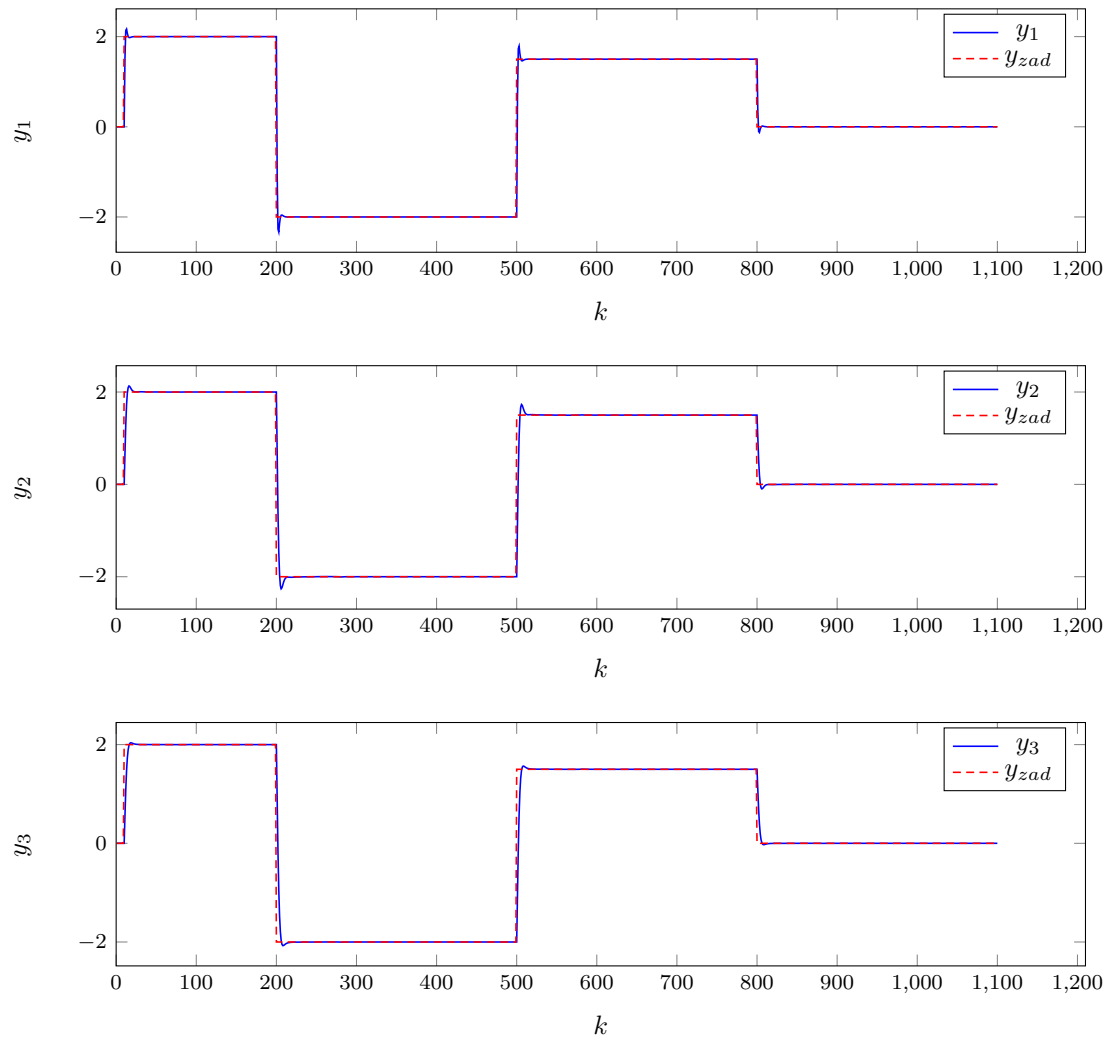
- $E_1 = 34,6604$
- $E_2 = 34,131$
- $E_3 = 9,0736$
- $E = 78,8650$

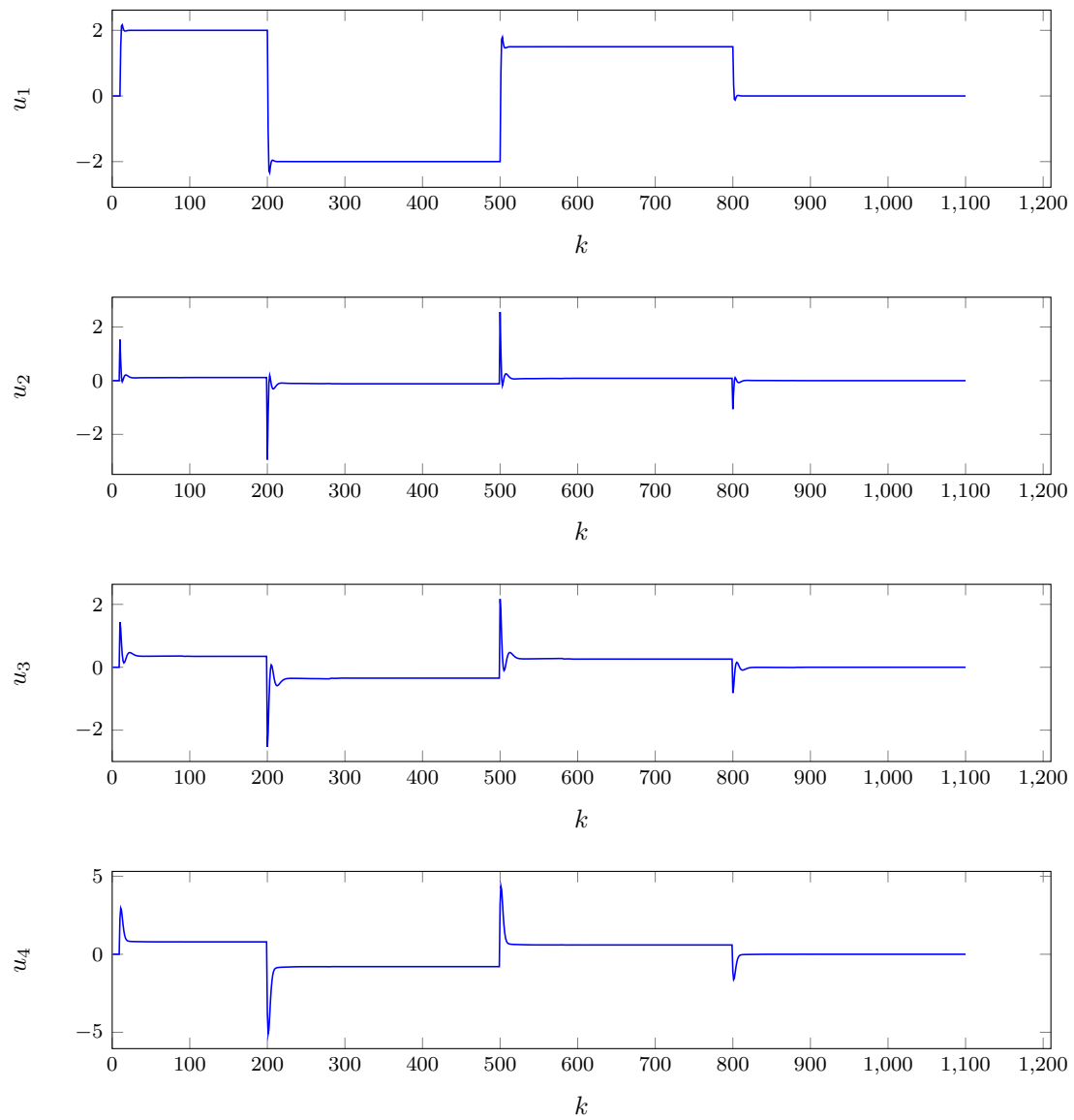
Należy jednak odnotować, że przebieg sterowania jest teraz znacznie ostrzejszy, co jest szczególnie widoczne na torze sterowania 4 (wykres 5.10). Zmiana ψ nie miała dużego wpływu na pozostałe tory. Spróbujemy więc, manipulując parametrami ψ , złagodzić sterowanie na torze 4, zachowując jednocześnie poprawę błędu regulacji. Wyjścia obiektu przedstawia wykres 5.9.

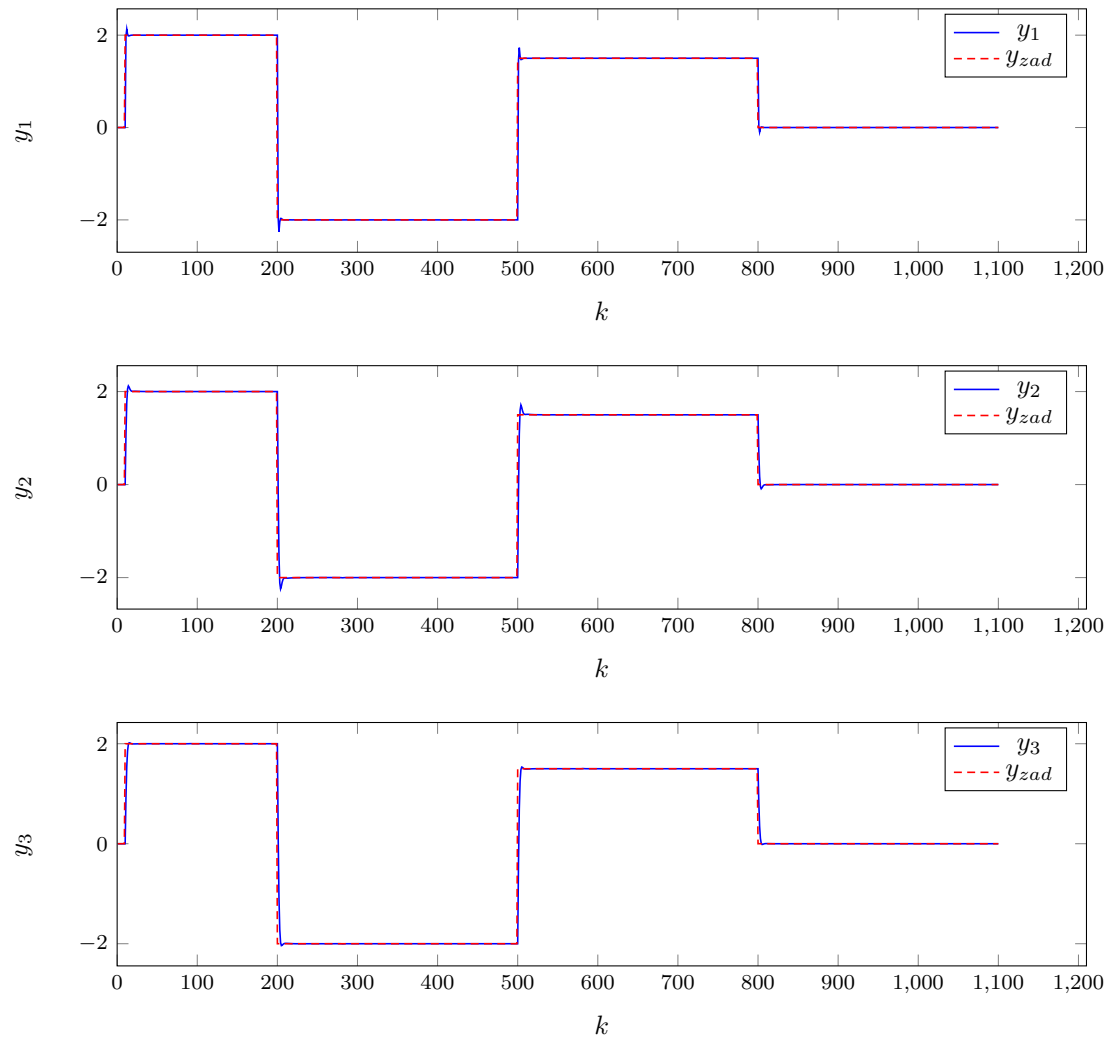
W wyniku eksperymentów dowiedzieliśmy się, że najbardziej na sterowanie na torze czwartym wpływa parametr ψ_3 . Postanowiliśmy więc zmniejszyć ψ_3 , jednocześnie zwiększając ψ_1 i ψ_2 . Przetestowaliśmy działanie obiektu na wartościach $\psi_1 = 6,5$, $\psi_2 = 7$, $\psi_3 = 2$. Jak widać na wykresie 5.12, sterowanie zostało nieco złagodzone, choć w rezultacie nieznacznie pogorszył się wskaźnik błędu regulacji.

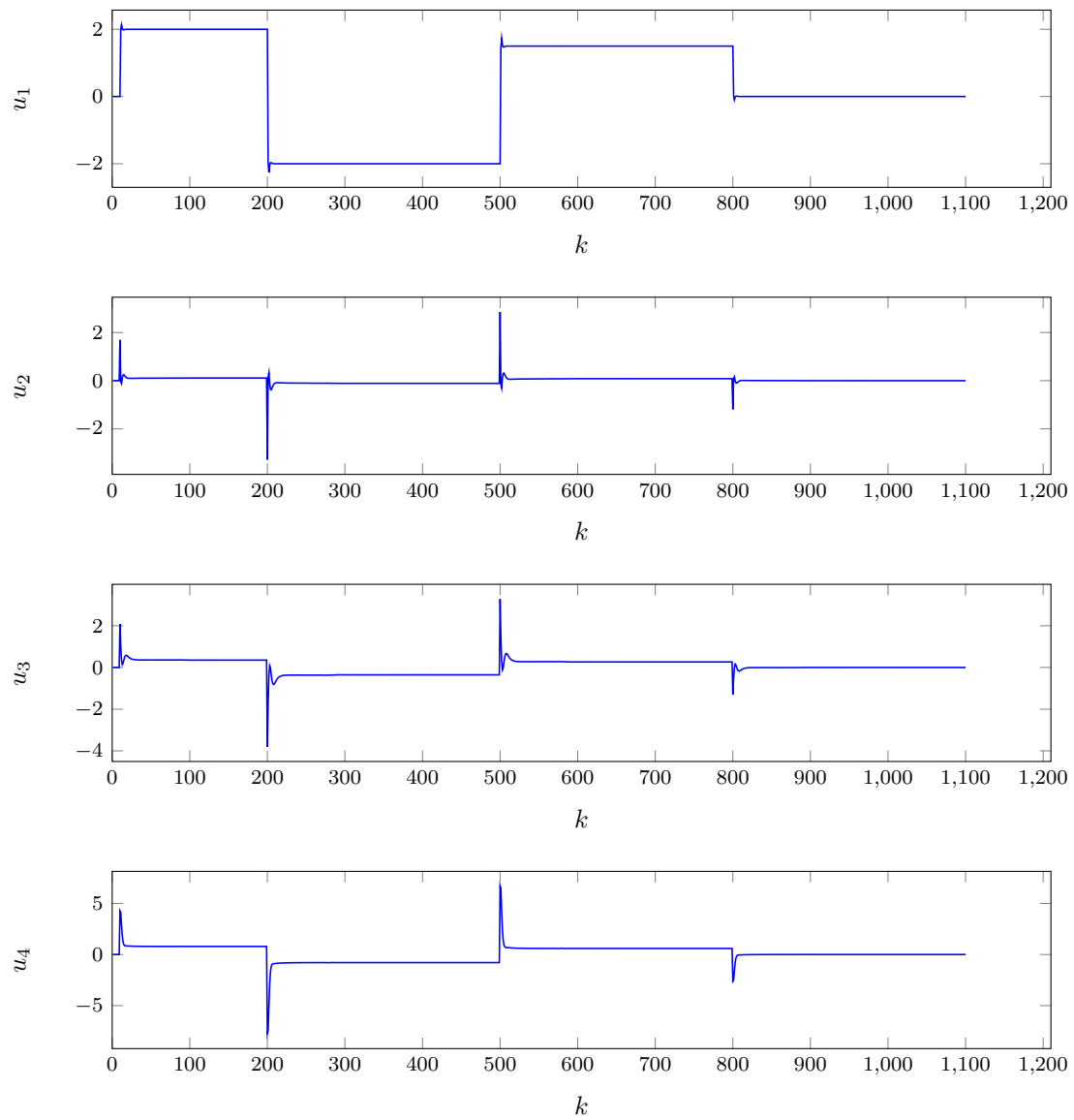
- $E_1 = 34,584$
- $E_2 = 35,2223$
- $E_3 = 10,3634$
- $E = 80,1697$

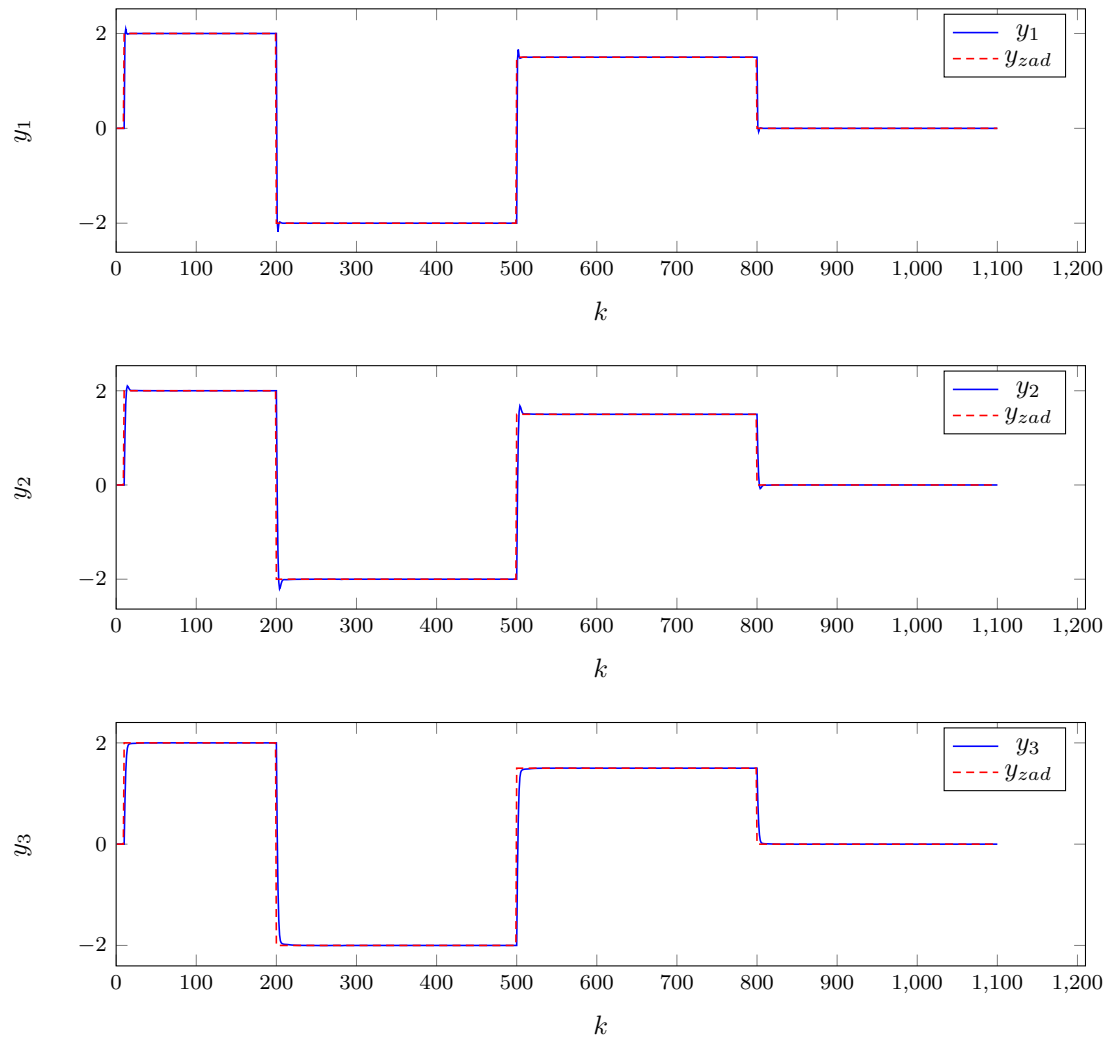
Uznaliśmy jednak, że takie nastawy dają dobry kompromis między jakością regulacji a łagodnym sterowaniem. Przebiegi wyjść obiektu przedstawia wykres 5.11.

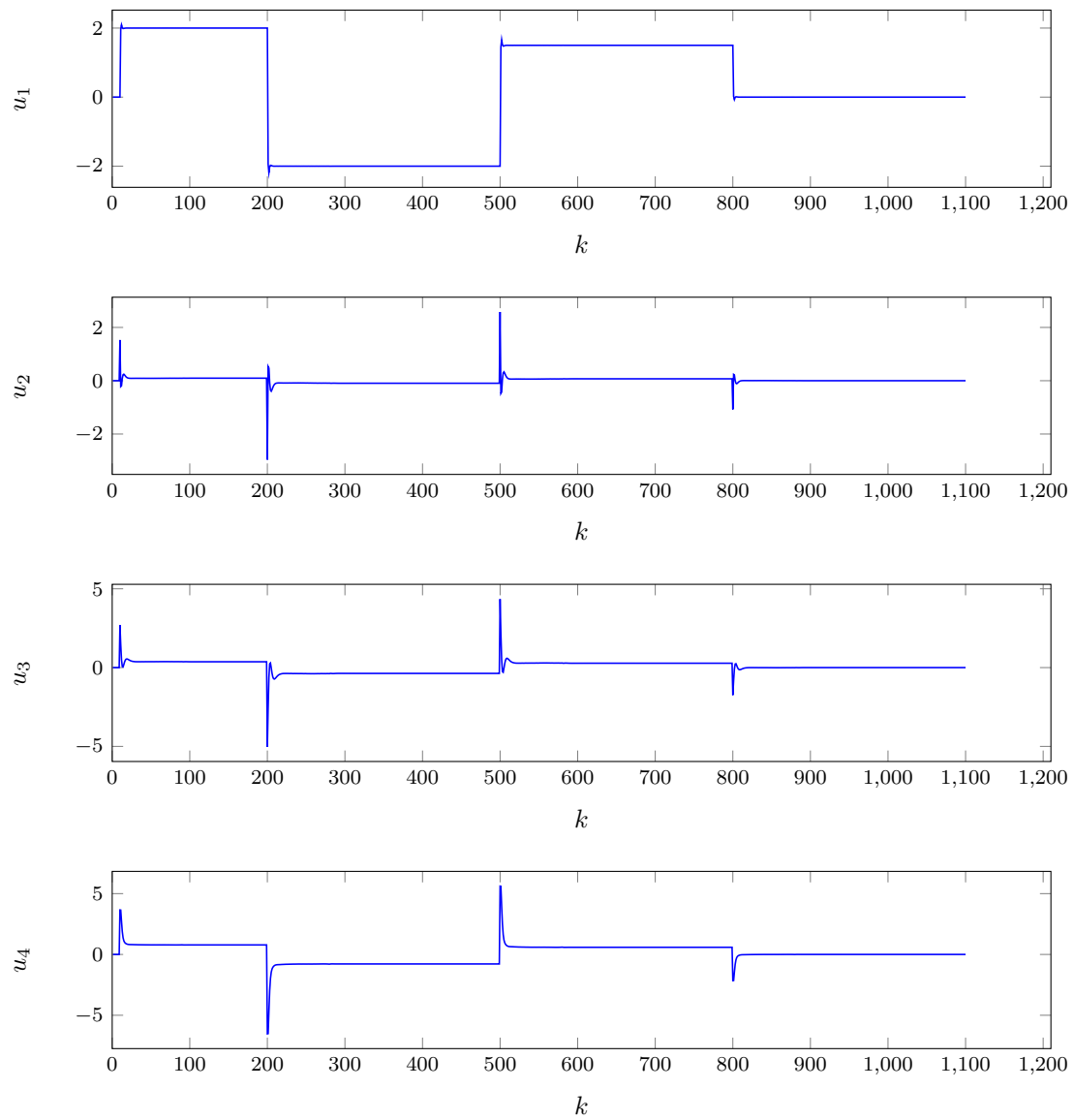
Rys. 5.7. Przebiegi wyjść obiektu dla $\psi_1 = 0,8$, $\psi_2 = 0,8$, $\psi_3 = 0,8$.

Rys. 5.8. Przebiegi sterowań obiektu dla $\psi_1 = 0,8$, $\psi_2 = 0,8$, $\psi_3 = 0,8$.

Rys. 5.9. Przebiegi wyjść obiektu dla $\psi_1 = 5$, $\psi_2 = 5$, $\psi_3 = 5$.

Rys. 5.10. Przebiegi sterowań obiektu dla $\psi_1 = 5$, $\psi_2 = 5$, $\psi_3 = 5$.

Rys. 5.11. Przebiegi wyjść obiektu dla $\psi_1 = 6,5$, $\psi_2 = 7$, $\psi_3 = 2$.

Rys. 5.12. Przebiegi sterowań obiektu dla $\psi_1 = 6,5$, $\psi_2 = 7$, $\psi_3 = 2$.