

**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. DMC	2
1.1. Dobór horyzontów predykcji i sterowania	2
2. Parametry λ i ψ	13
2.1. Parametr λ	13
2.2. Parametr ψ	20

1. 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.

1.1. 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 1.1, a sterowań wykres 1.2.

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 1.3 i 1.4.

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 1.5 i 1.6.

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

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

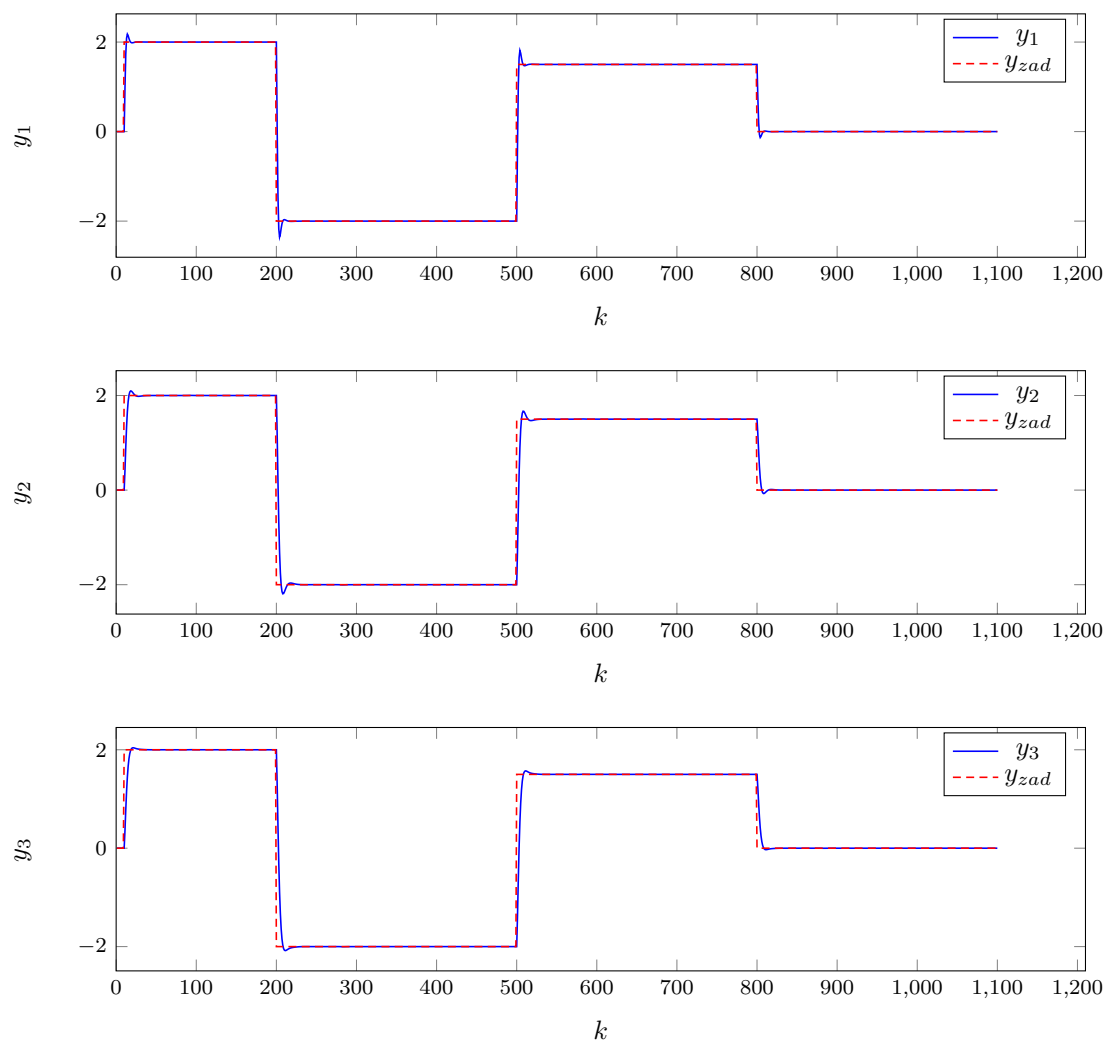
Przebieg wyjść obiektu przedstawiają wykresy 1.7 i 1.8.

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

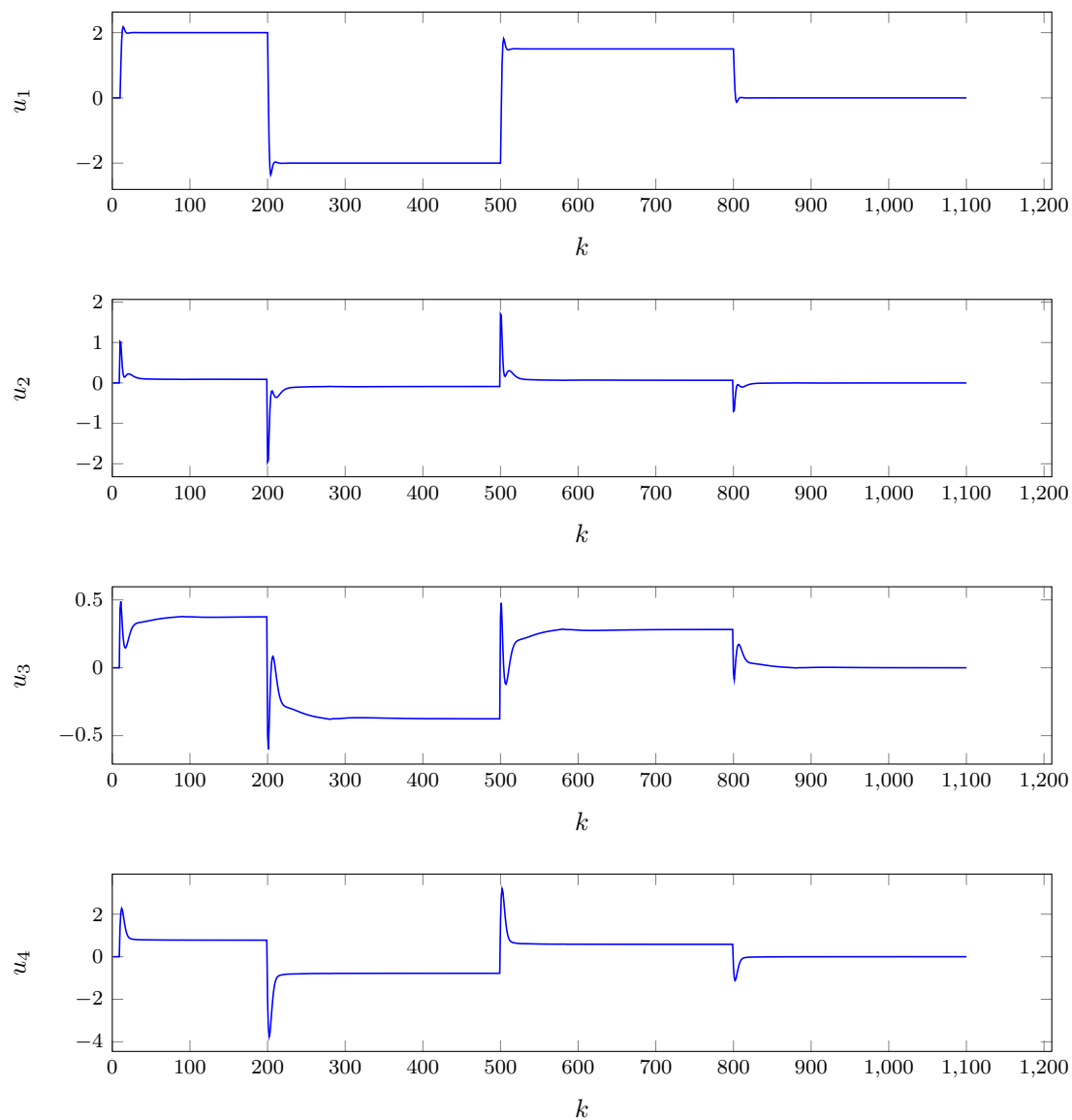
- $E_1 = 46,6684$
- $E_2 = 50,4711$
- $E_3 = 27,023$
- $E = 124,1625$

Można więc przypuszczać, że jeszcze mniejsze wartości horyzontu sterowania przyniosłyby pogorszenie jakości regulacji. Przebieg wyjść obiektu przedstawiają wykresy 1.9 i 1.10.

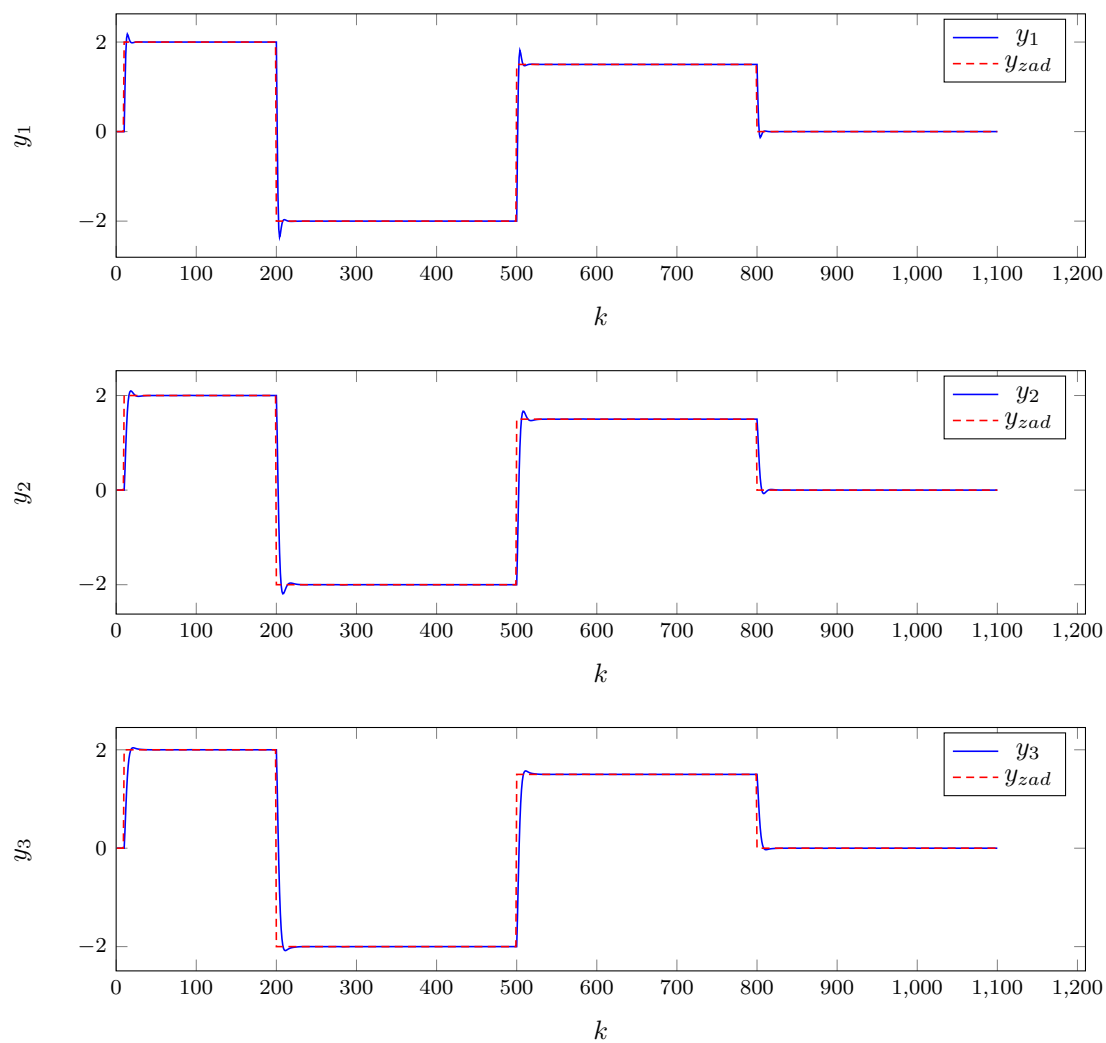
W kolejnych zadaniach używane będą horyzonty $N = 40$ i $N_u = 5$.



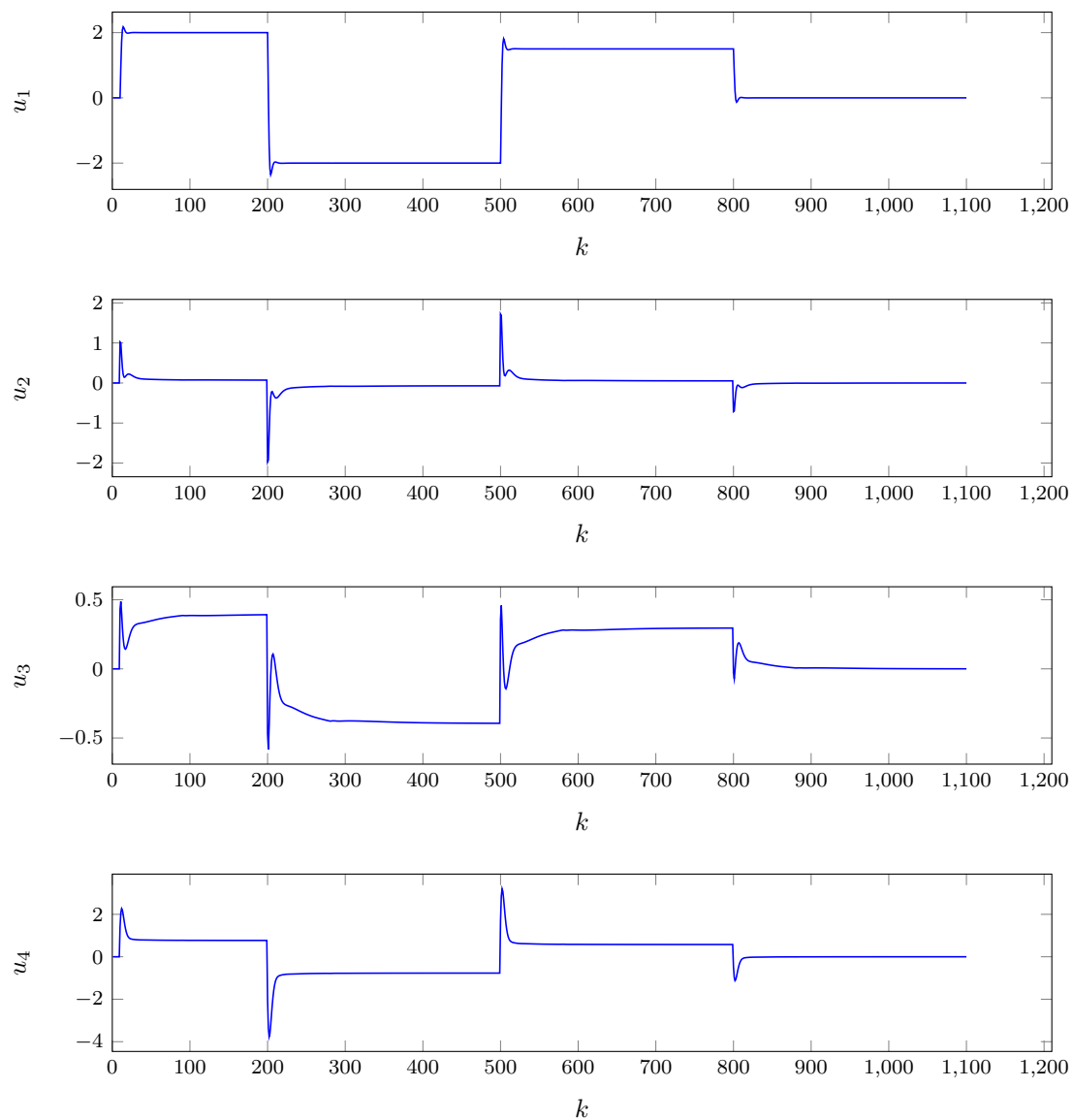
Rys. 1.1. Przebiegi wyjść obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 80$, $N_u = 80$.



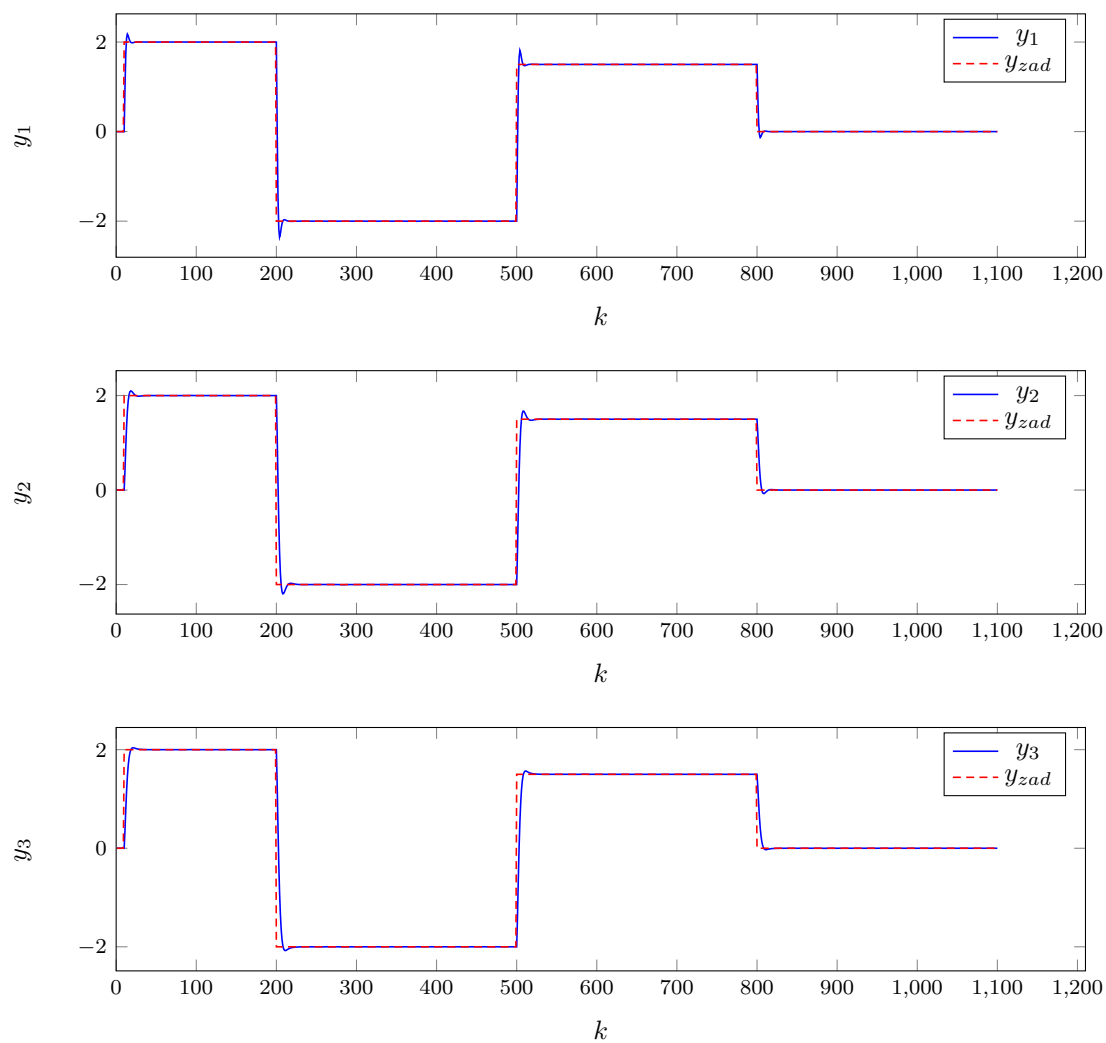
Rys. 1.2. Przebiegi sterowań obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 80$, $N_u = 80$.



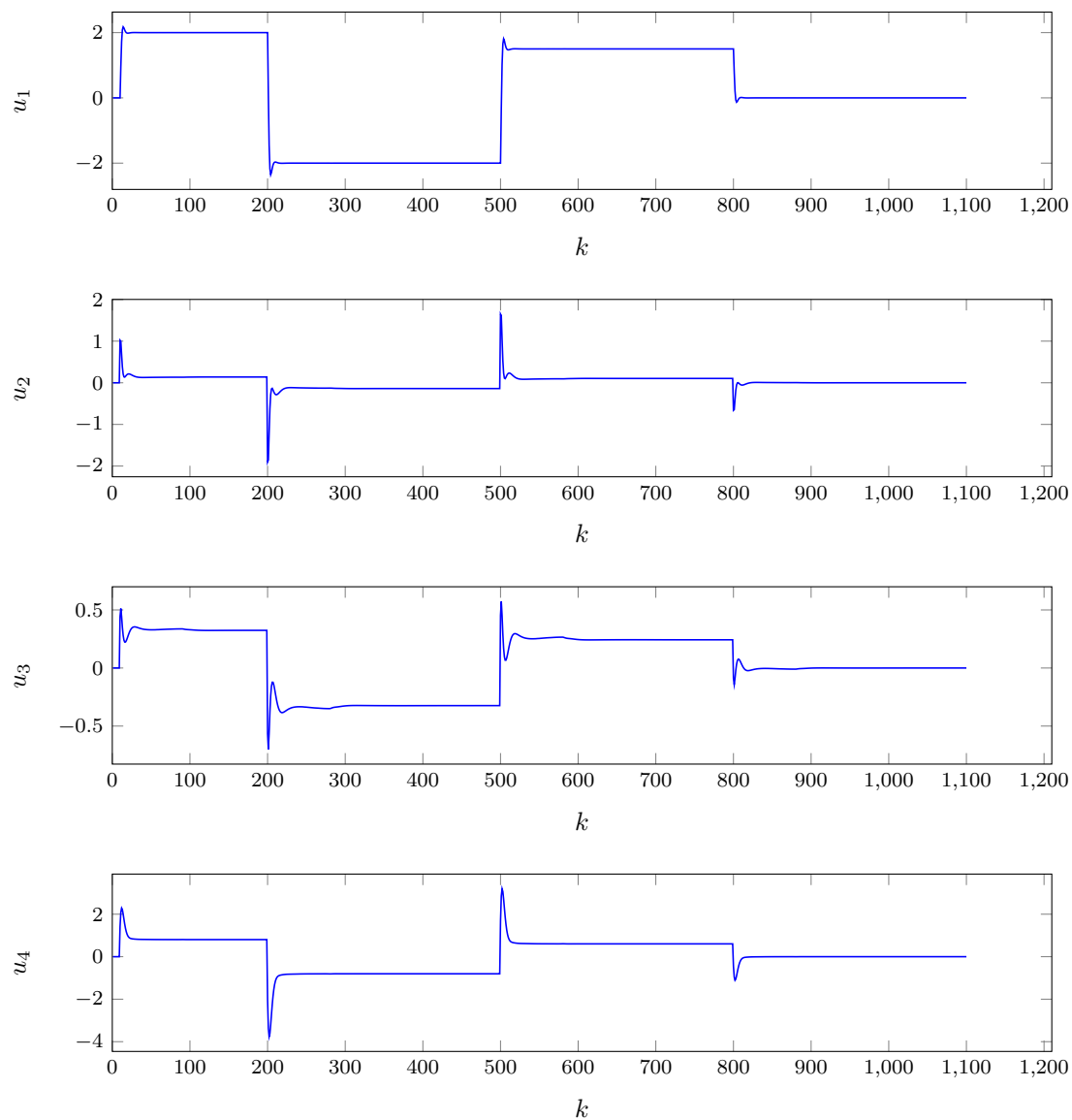
Rys. 1.3. Przebiegi wyjść obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 50$, $N_u = 50$.



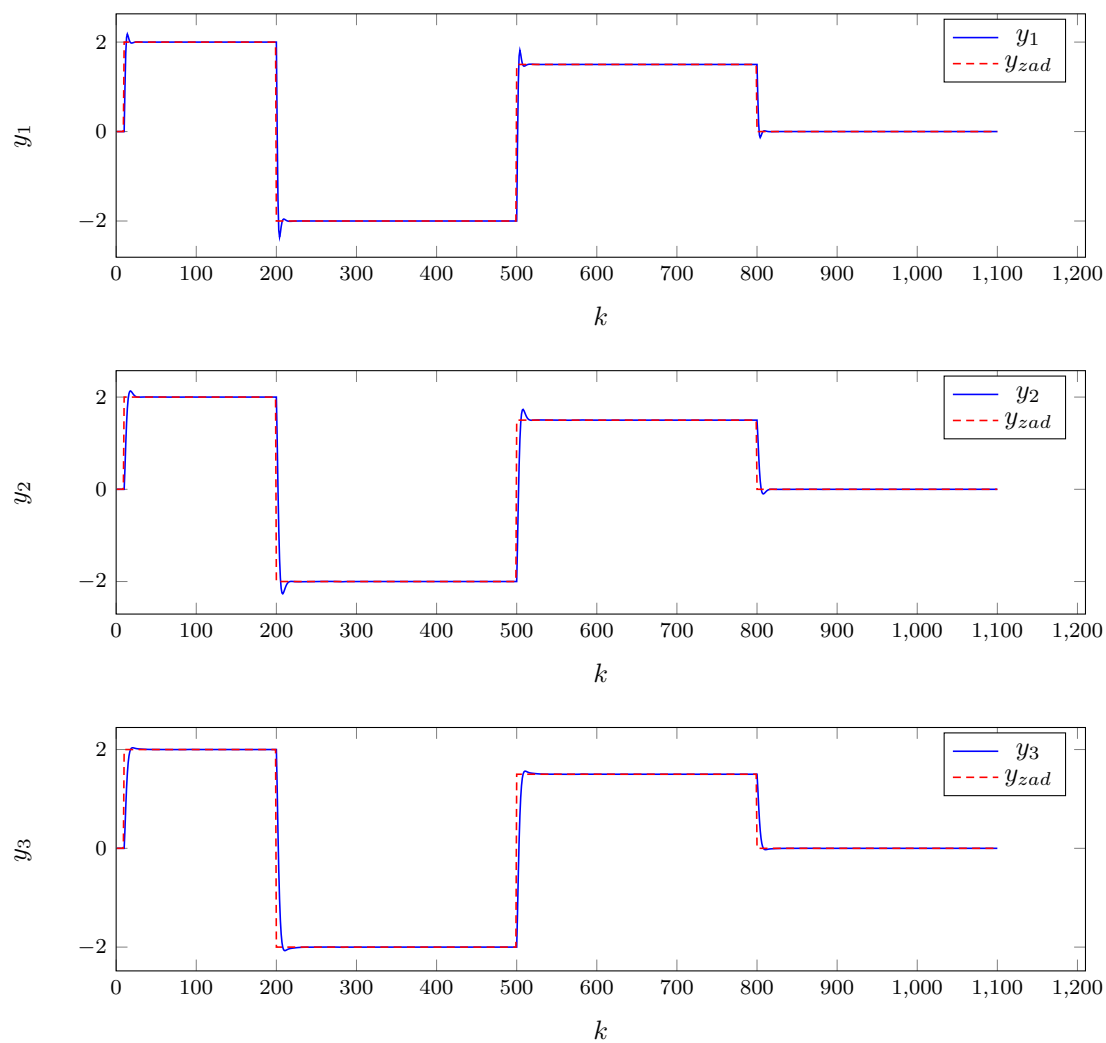
Rys. 1.4. Przebiegi sterowań obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 50$, $N_u = 50$.



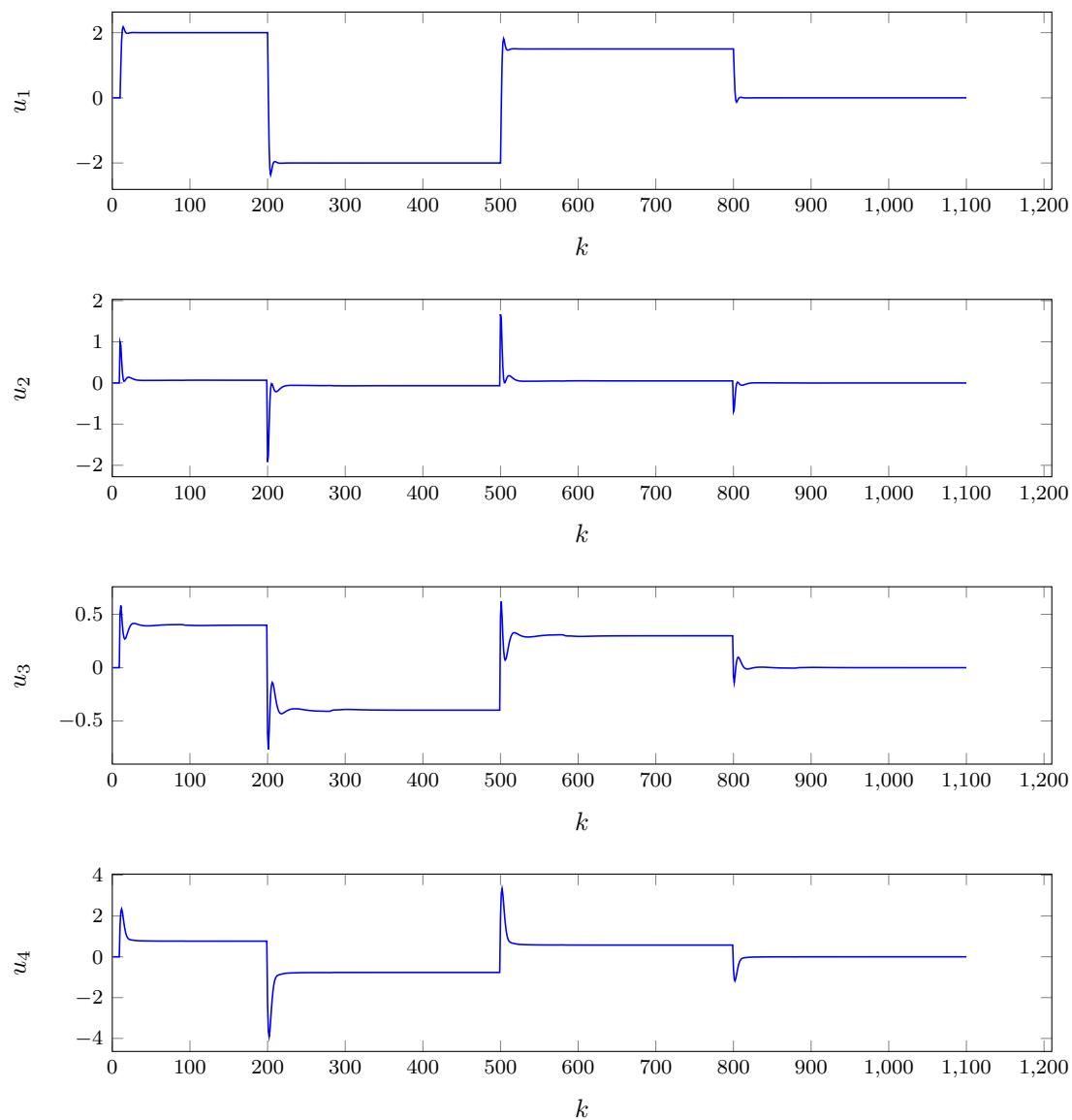
Rys. 1.5. Przebiegi wyjść obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 40$, $N_u = 10$.



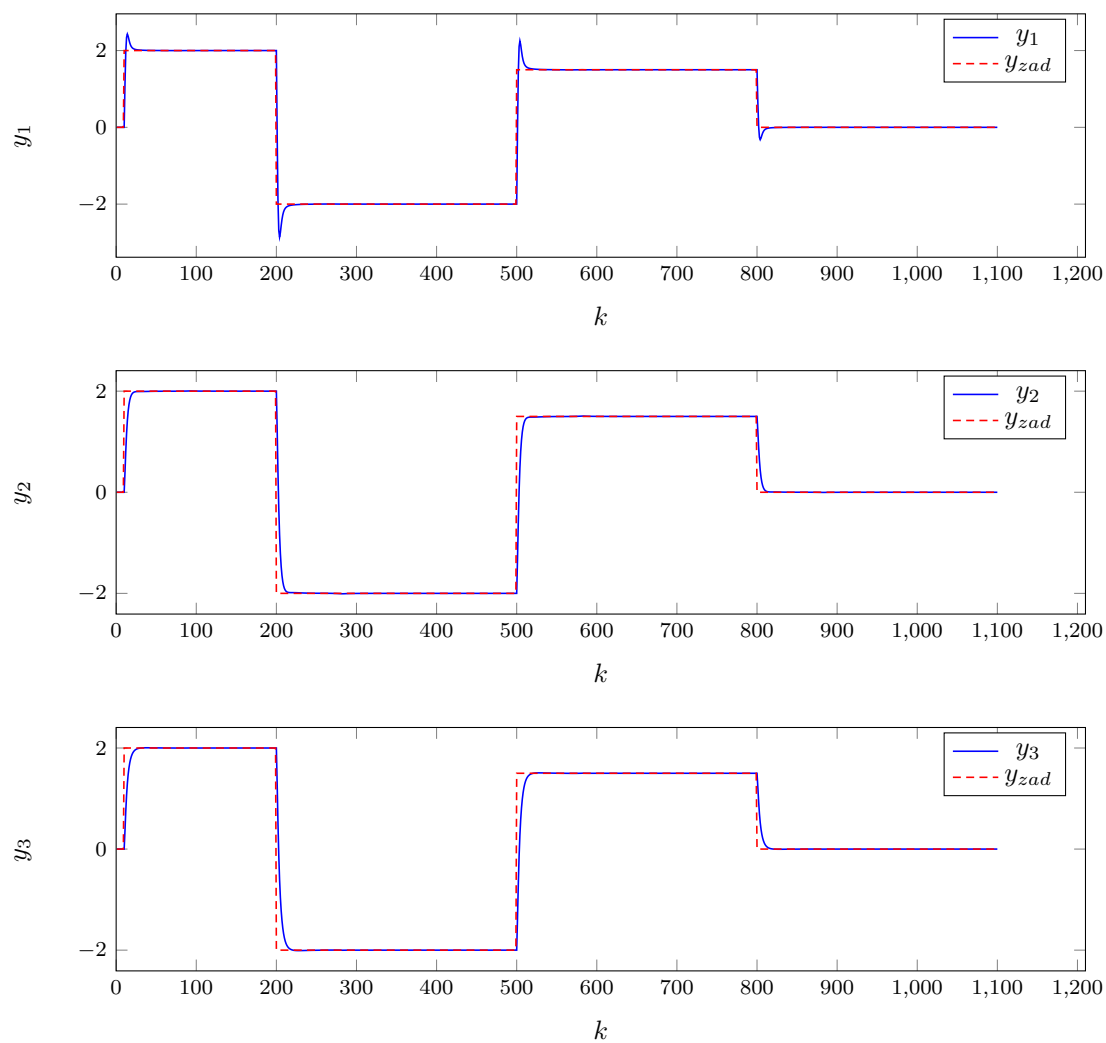
Rys. 1.6. Przebiegi sterowań obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 40$, $N_u = 10$.



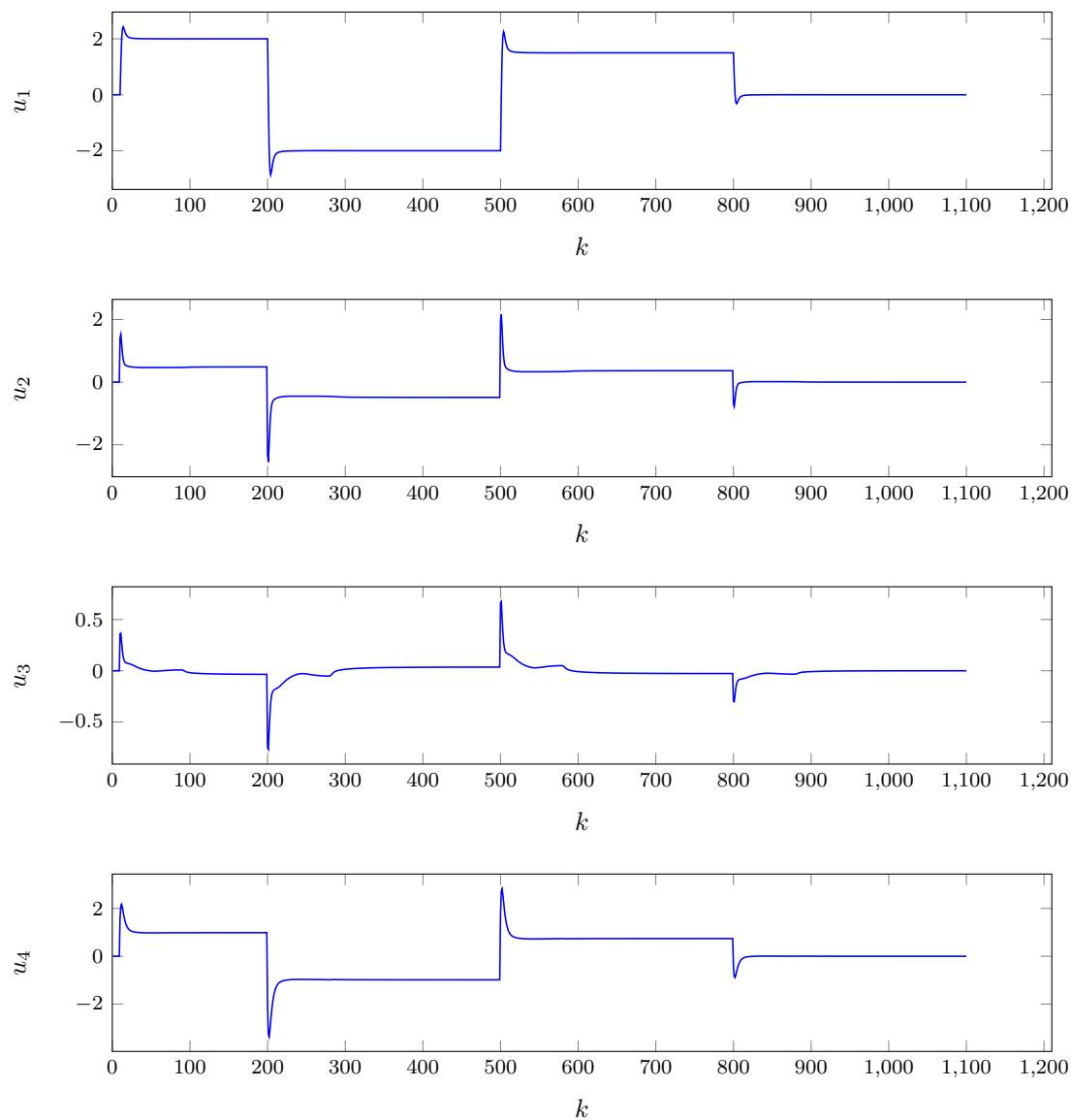
Rys. 1.7. Przebiegi wyjść obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 40$, $N_u = 5$.



Rys. 1.8. Przebiegi sterowań obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 40$, $N_u = 5$.



Rys. 1.9. Przebiegi wyjść obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 40$, $N_u = 5$.



Rys. 1.10. Przebiegi sterowań obiektu dla horyzontów predykcji i sterowania $N = 40$, $N_u = 2$.

2. Parametry λ i ψ

2.1. 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 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 2.1 i 2.2.

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 2.3 i 2.4.

Parametry λ o wartościach 0,1 dały w rezultacie jeszcze mniejsze wskaźniki błędów. Można jednak dostrzec, że skoki sterowania na torach 1 i 4 mają 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.

Przyjęliśmy parametry o następujących wartościach:

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

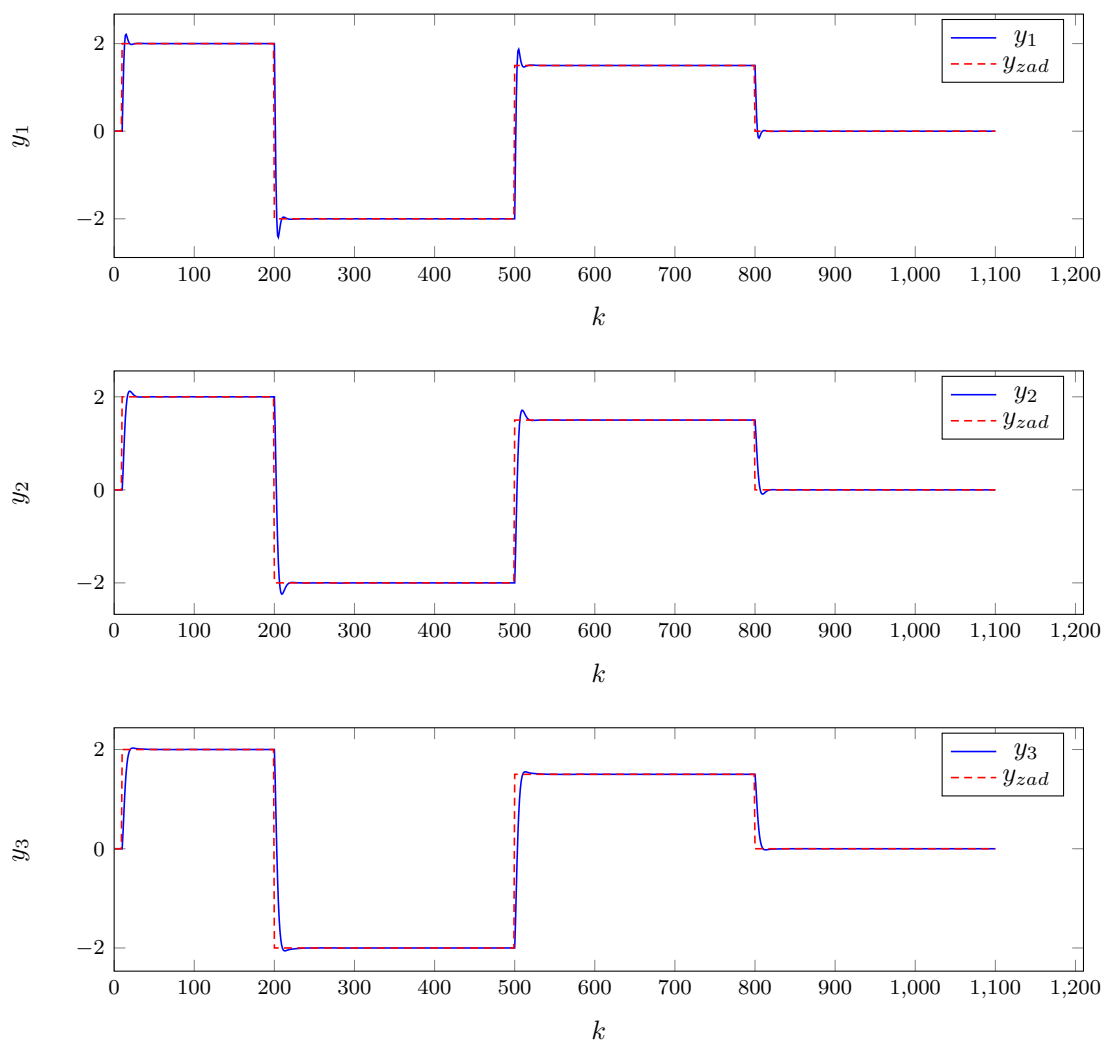
Błędy regulacji:

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

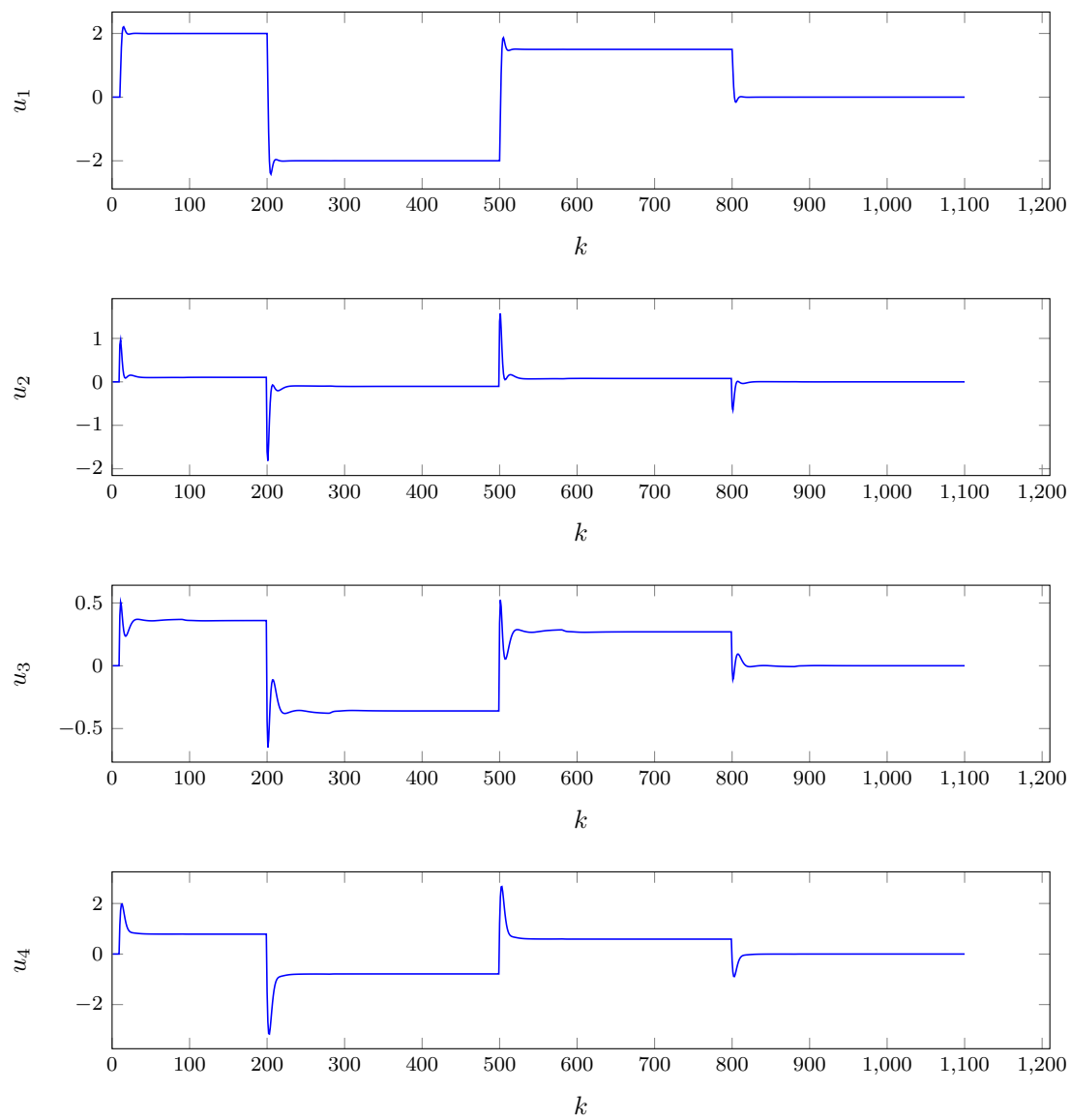
Jak widać odnotowaliśmy nieznaczne pogorszenie jakości regulacji. Można jednak zaobserwować na wykresie sterowań 2.6, że tory 1 i 4 mają łagodniejsze przebiegi. Uznaliśmy więc, że te wartości λ są w naszym przypadku optymalne. Przebiegi wyjść przedstawia wykres 2.5.

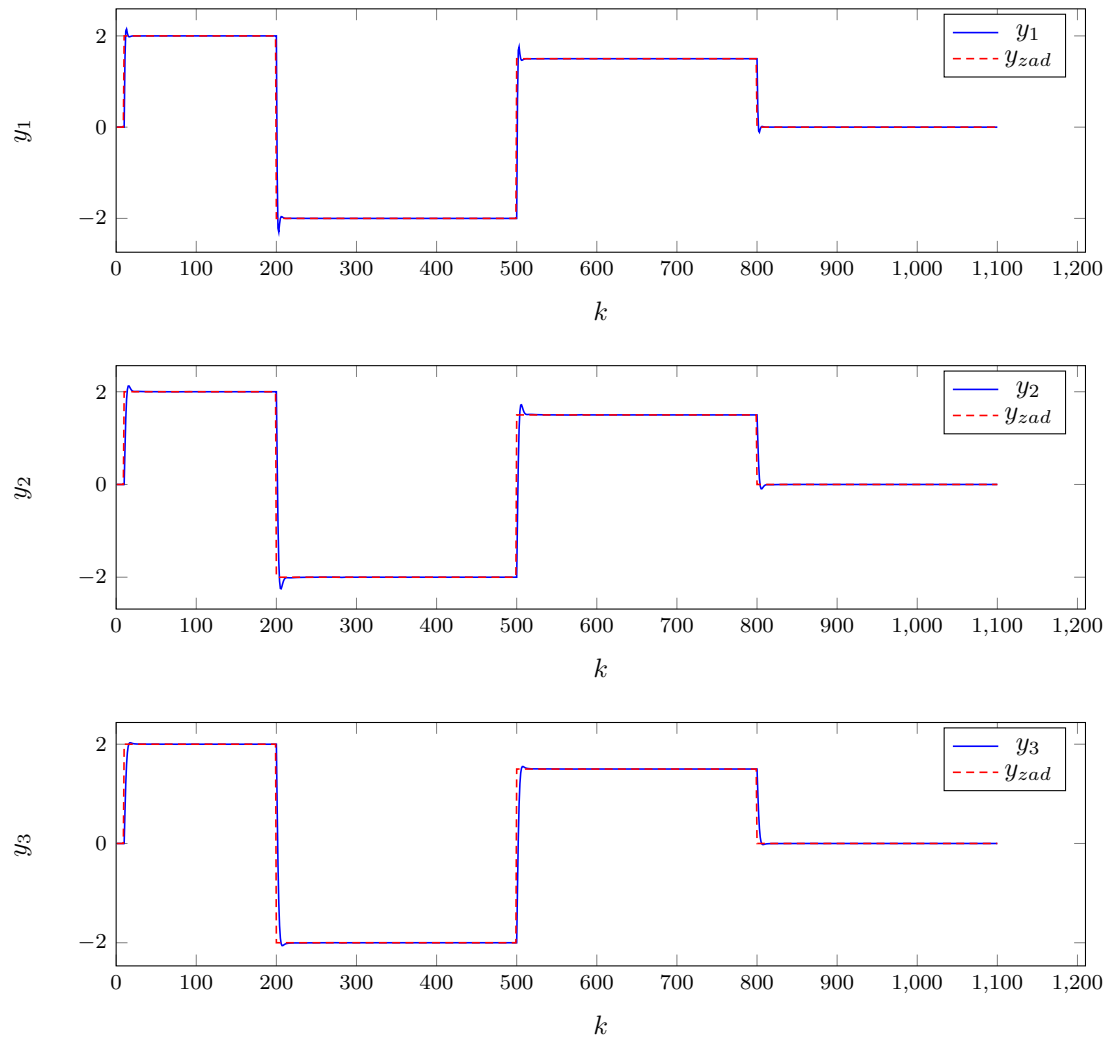
W kolejnych testach używane będą parametry λ o wartościach:

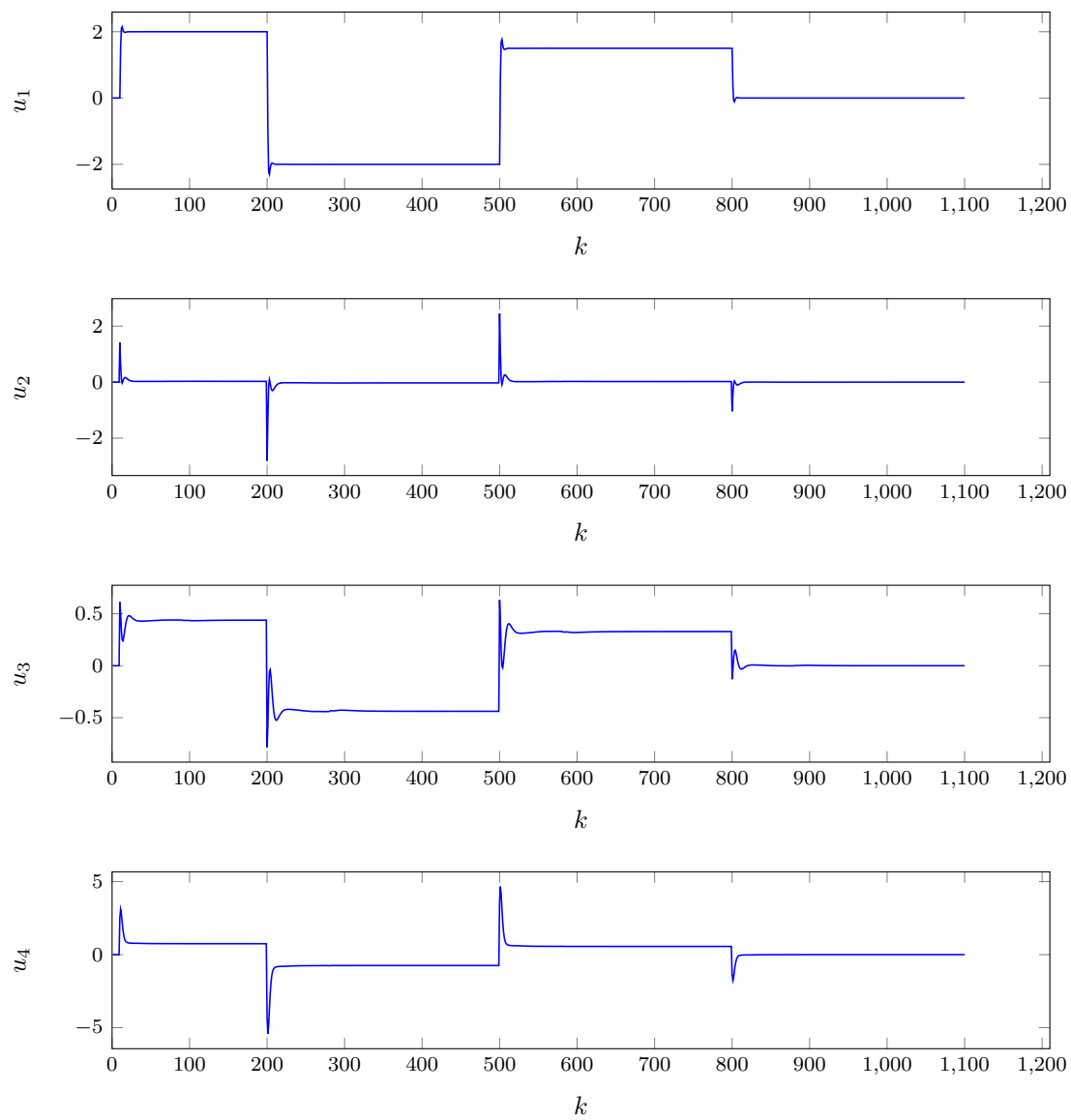
- $\lambda_1 = 0,3$
- $\lambda_2 = 0,2$
- $\lambda_3 = 0,1$
- $\lambda_4 = 0,3$

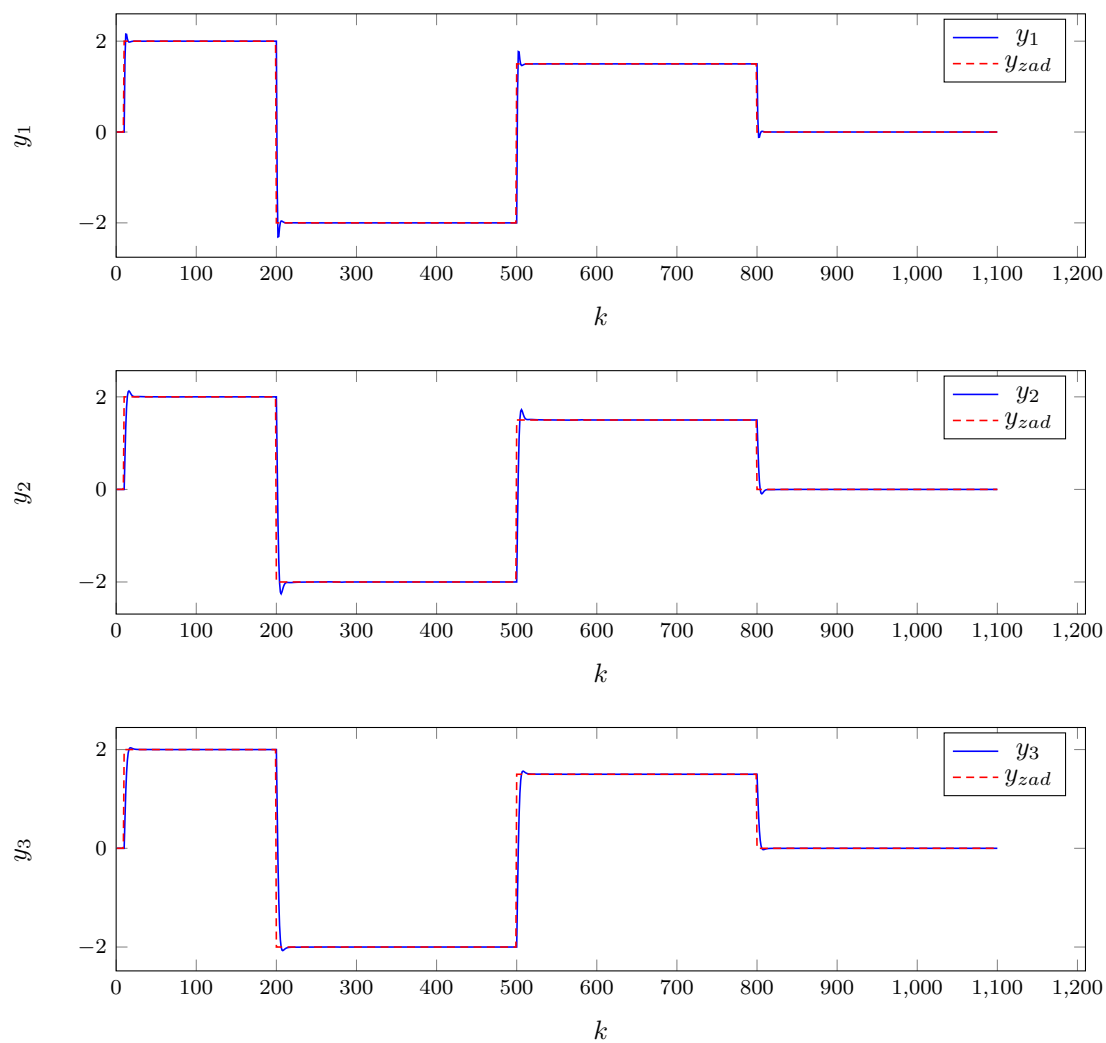


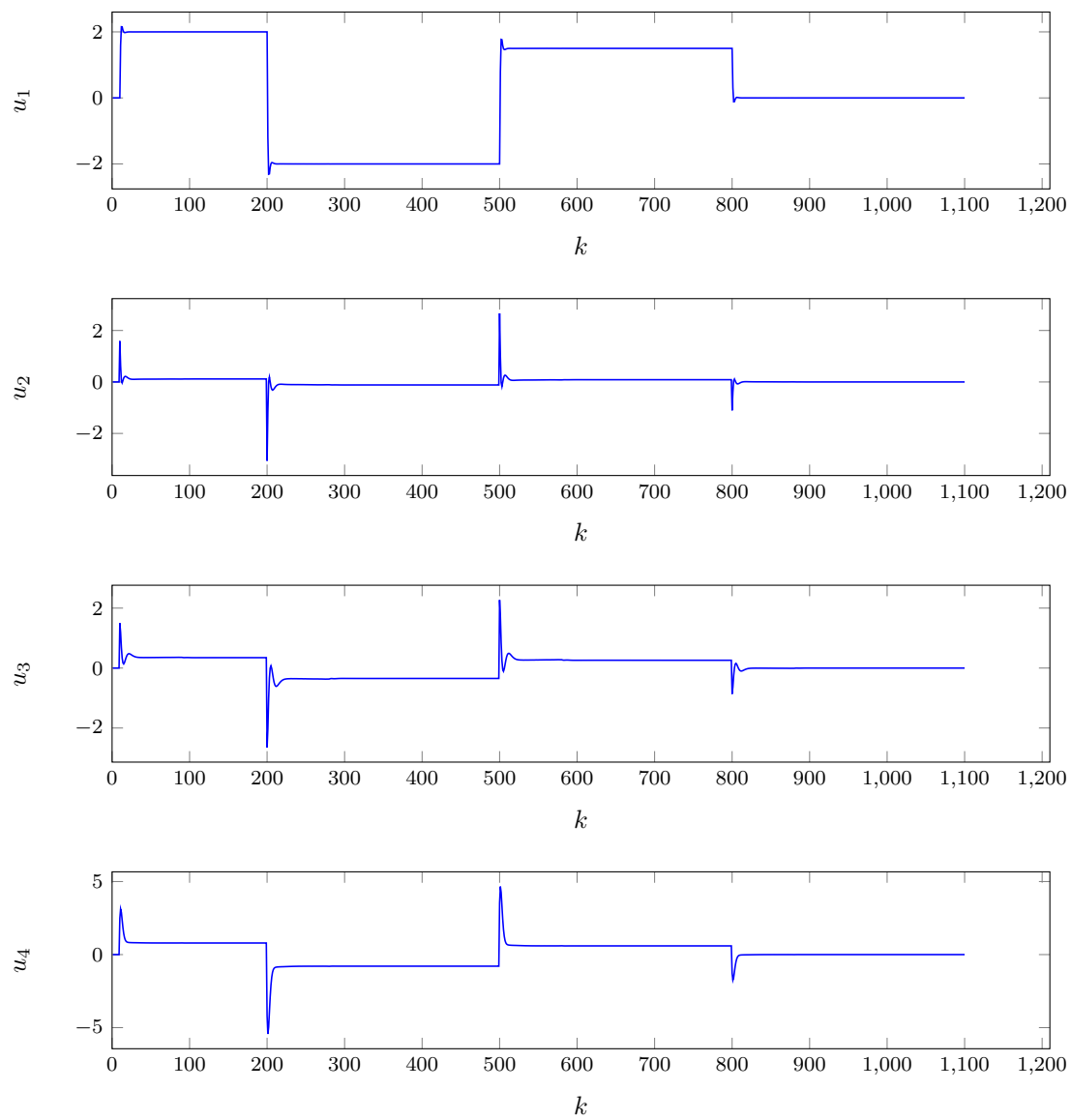
Rys. 2.1. Przebiegi wyjść obiektu dla $\lambda_1 = 2$, $\lambda_2 = 2$, $\lambda_3 = 2$ i $\lambda_4 = 2$.

Rys. 2.2. Przebiegi sterowań obiektu dla $\lambda_1 = 2$, $\lambda_2 = 2$, $\lambda_3 = 2$ i $\lambda_4 = 2$.

Rys. 2.3. Przebiegi wyjść obiektu dla $\lambda_1 = 0,2$, $\lambda_2 = 0,2$, $\lambda_3 = 0,2$ i $\lambda_4 = 0,2$.

Rys. 2.4. Przebiegi sterowań obiektu dla $\lambda_1 = 0,2$, $\lambda_2 = 0,2$, $\lambda_3 = 0,2$ i $\lambda_4 = 0,2$.

Rys. 2.5. Przebiegi wyjść obiektu dla $\lambda_1 = 0,3$, $\lambda_2 = 0,2$, $\lambda_3 = 0,1$ i $\lambda_4 = 0,3$.

Rys. 2.6. Przebiegi sterowań obiektu dla $\lambda_1 = 0,3$, $\lambda_2 = 0,2$, $\lambda_3 = 0,1$ i $\lambda_4 = 0,3$.

2.2. 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 2.7 i 2.7.

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

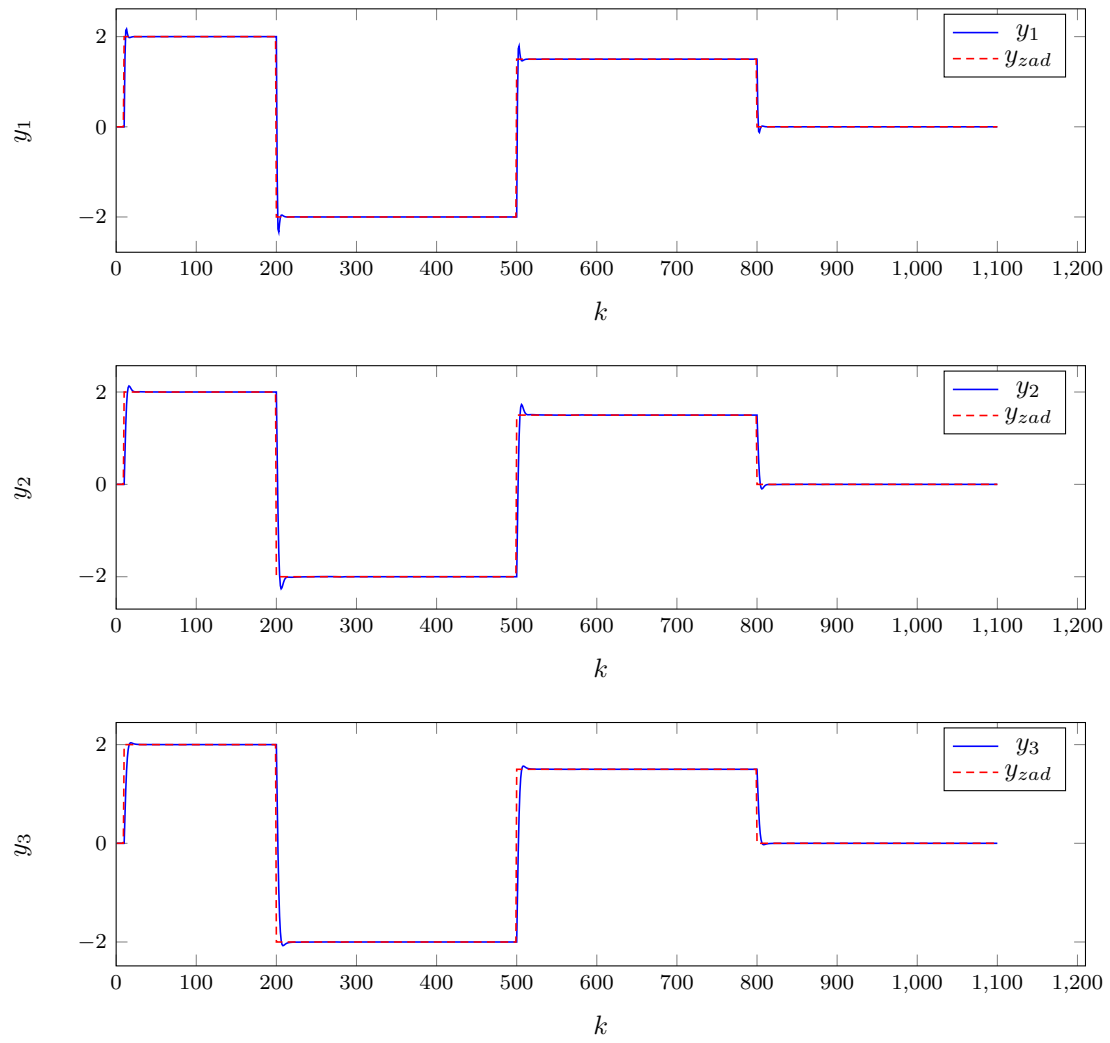
- $E_1 = 34,6604$
- $E_2 = 34,131$
- $E_3 = 9,0736$
- $E = 78,8650$

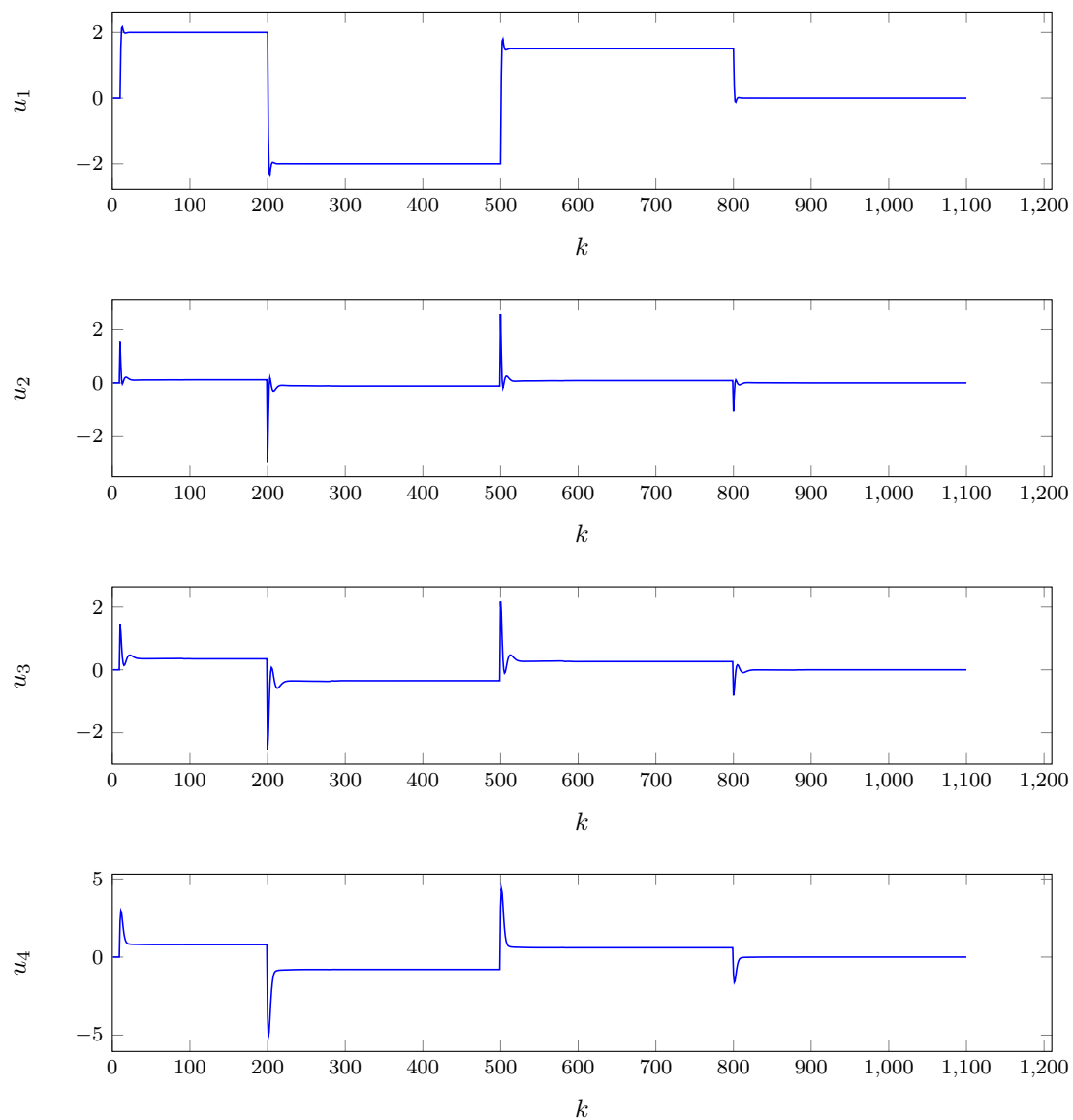
Należy jednak odnotować, że przebieg sterowania jest teraz znacznie ostrzejszy, co jest szczególnie widoczne na torze sterowania 4 (wykres 2.10). Zmiana ψ nie miała dużego wpływu na pozostałe tory. Spróbujemy więc, manipulując parametrami ψ , złagodzić sterowanie na torze 4, zachowując jednocześnie poprawę błędu regulacji. Wyjścia obiektu przedstawia wykres 2.9.

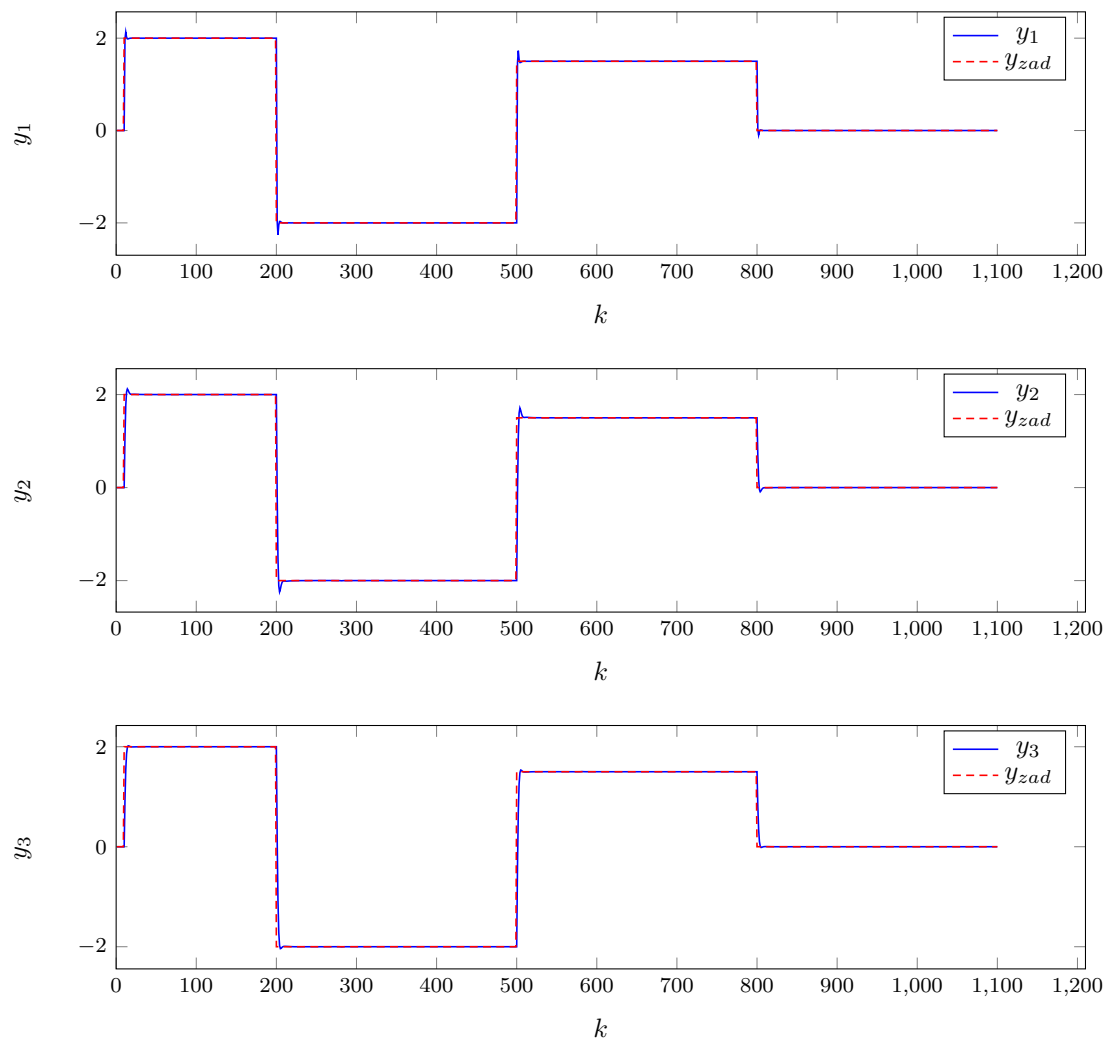
W wyniku eksperymentów dowiedzieliśmy się, że najbardziej na sterowanie na torze czwartym wpływa parametr ψ_3 . Postanowiliśmy więc zmniejszyć ψ_3 , jednocześnie zwiększając ψ_1 i ψ_2 . Przetestowaliśmy działanie obiektu na wartościach $\psi_1 = 6,5$, $\psi_2 = 7$, $\psi_3 = 2$. Jak widać na wykresie 2.12, sterowanie zostało nieco złagodzone, choć w rezultacie nieznacznie pogorszył się wskaźnik błędu regulacji.

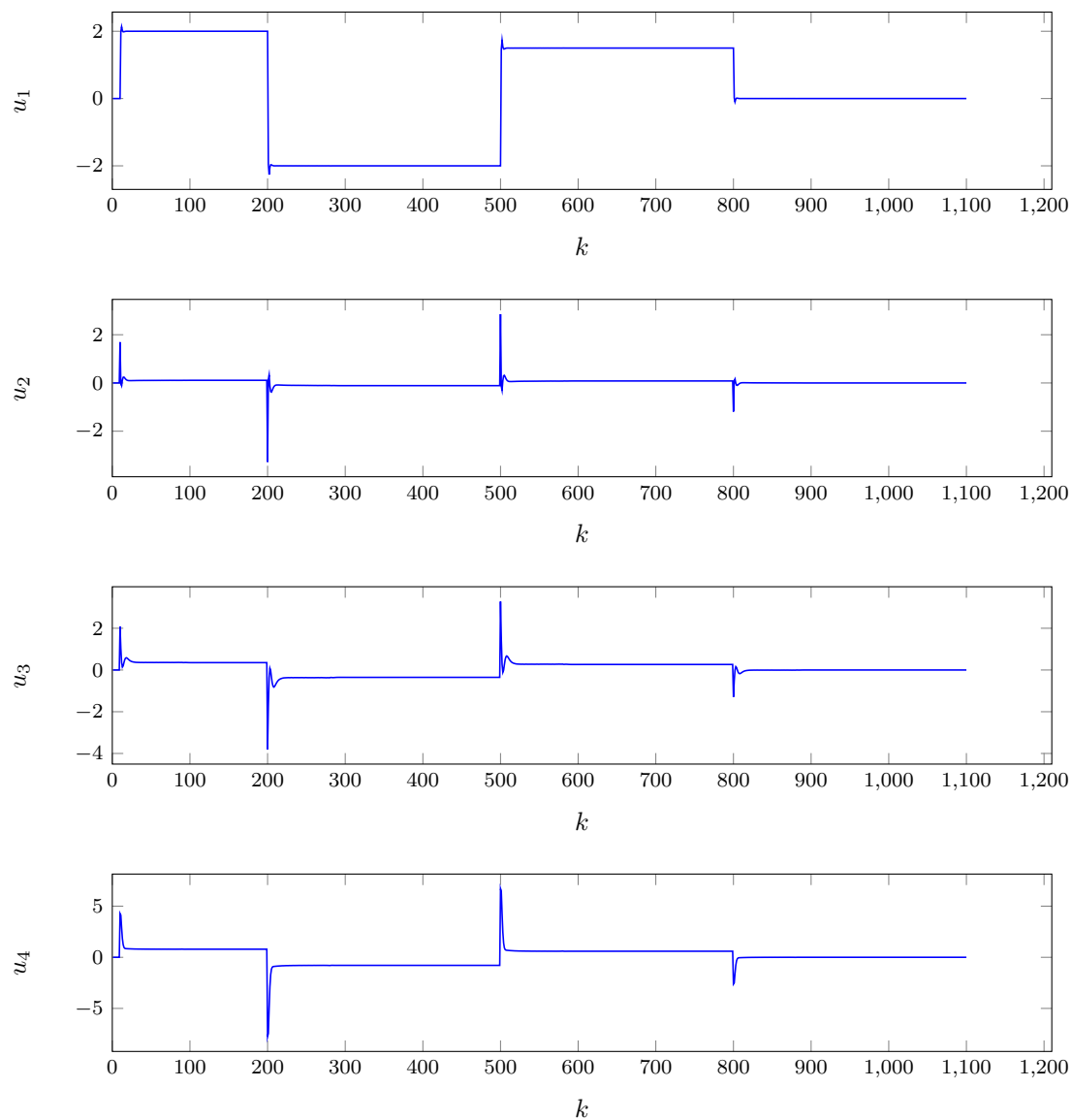
- $E_1 = 34,584$
- $E_2 = 35,2223$
- $E_3 = 10,3634$
- $E = 80,1697$

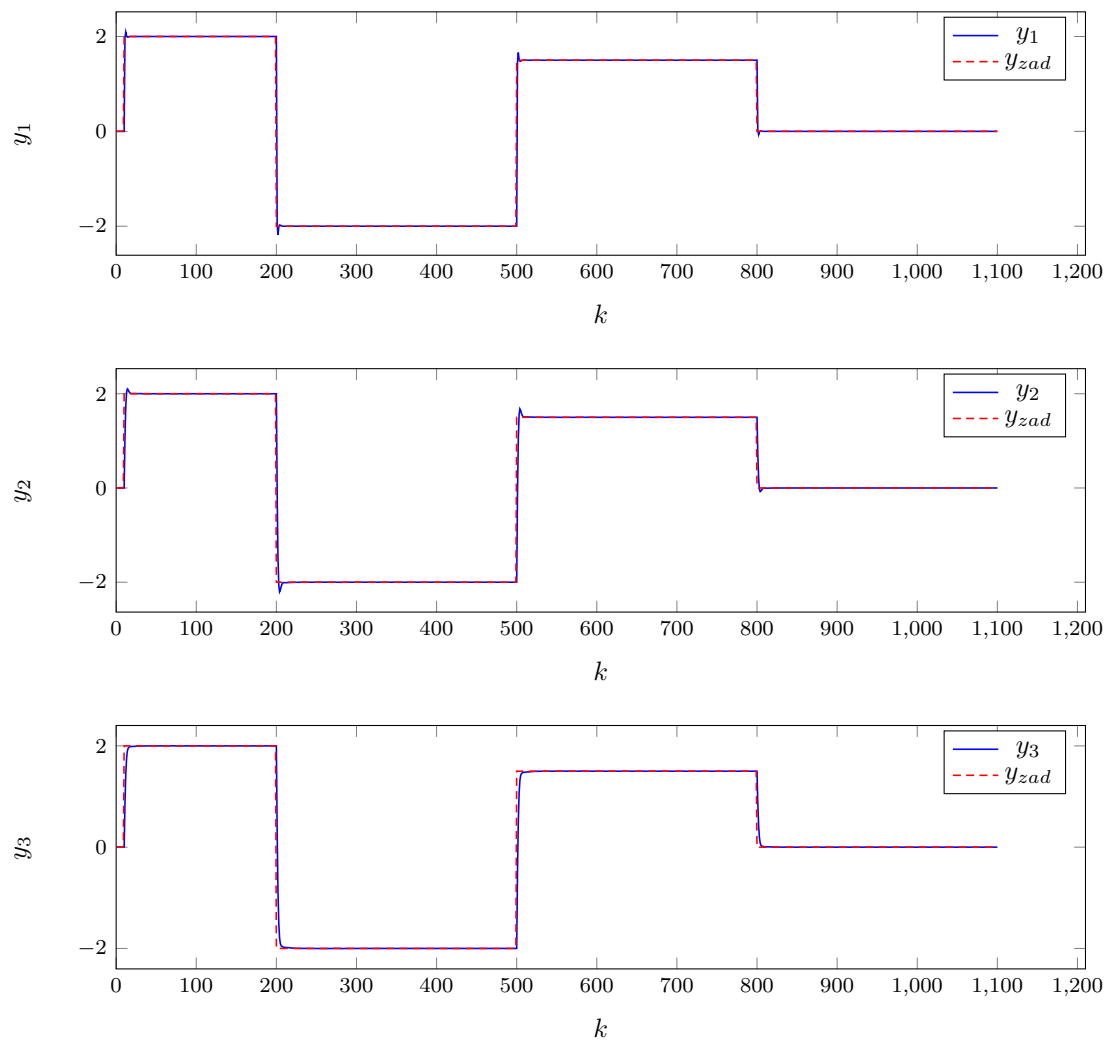
Uznaliśmy jednak, że takie nastawy dają dobry kompromis między jakością regulacji a łagodnym sterowaniem. Przebiegi wyjść obiektu przedstawia wykres 2.11.

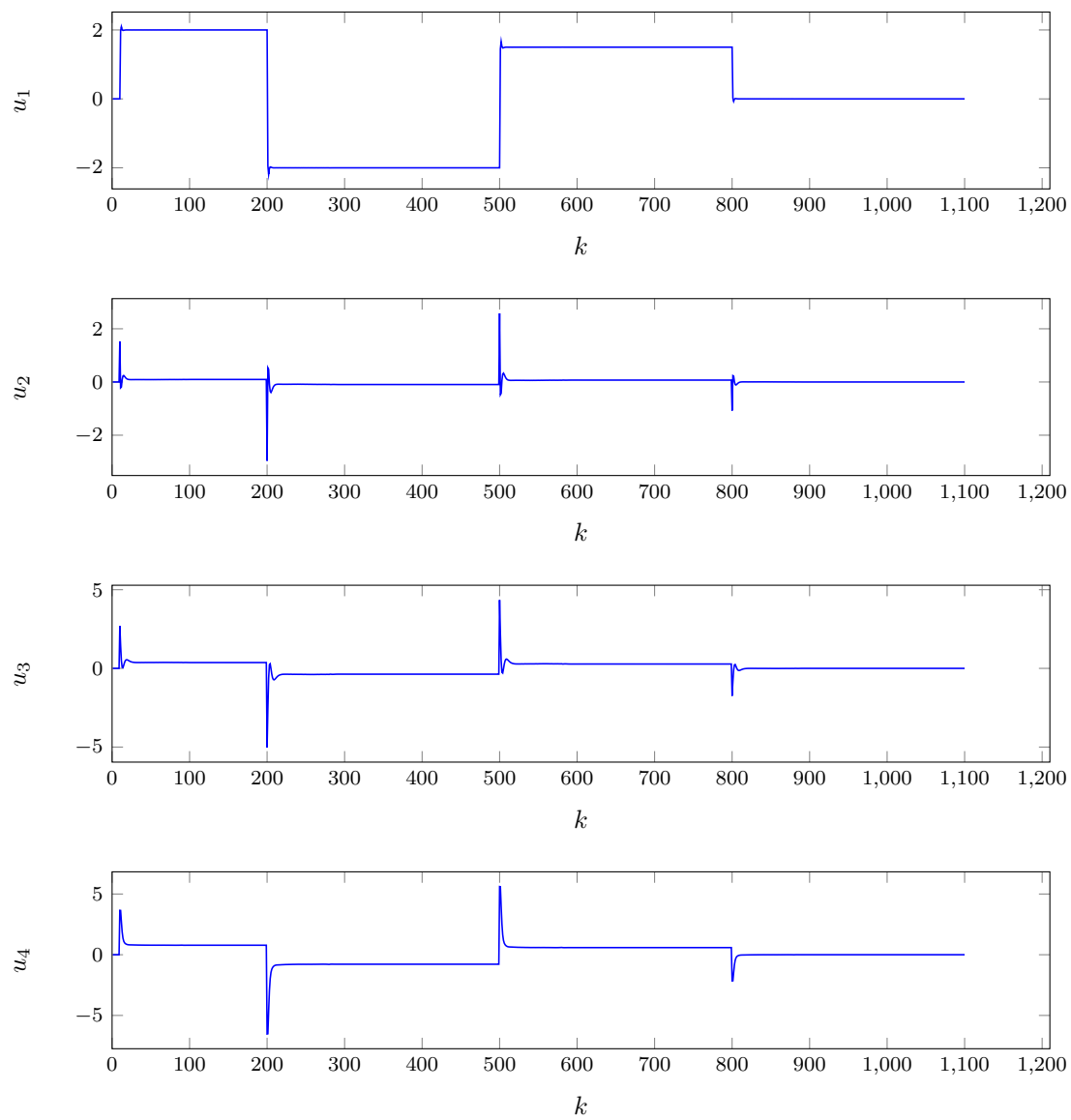
Rys. 2.7. Przebiegi wyjść obiektu dla $\psi_1 = 0,8$, $\psi_2 = 0,8$, $\psi_3 = 0,8$.

Rys. 2.8. Przebiegi sterowań obiektu dla $\psi_1 = 0,8$, $\psi_2 = 0,8$, $\psi_3 = 0,8$.

Rys. 2.9. Przebiegi wyjść obiektu dla $\psi_1 = 5$, $\psi_2 = 5$, $\psi_3 = 5$.

Rys. 2.10. Przebiegi sterowań obiektu dla $\psi_1 = 5$, $\psi_2 = 5$, $\psi_3 = 5$.

Rys. 2.11. Przebiegi wyjść obiektu dla $\psi_1 = 6,5$, $\psi_2 = 7$, $\psi_3 = 2$.

Rys. 2.12. Przebiegi sterowań obiektu dla $\psi_1 = 6,5$, $\psi_2 = 7$, $\psi_3 = 2$.