

Sterowanie procesami – projekt II, zadanie 2.40

Michał Stolarz

Proces dynamiczny opisany jest transmitancją:

$$G(s) = \frac{K_0 e^{-T_0 s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$$

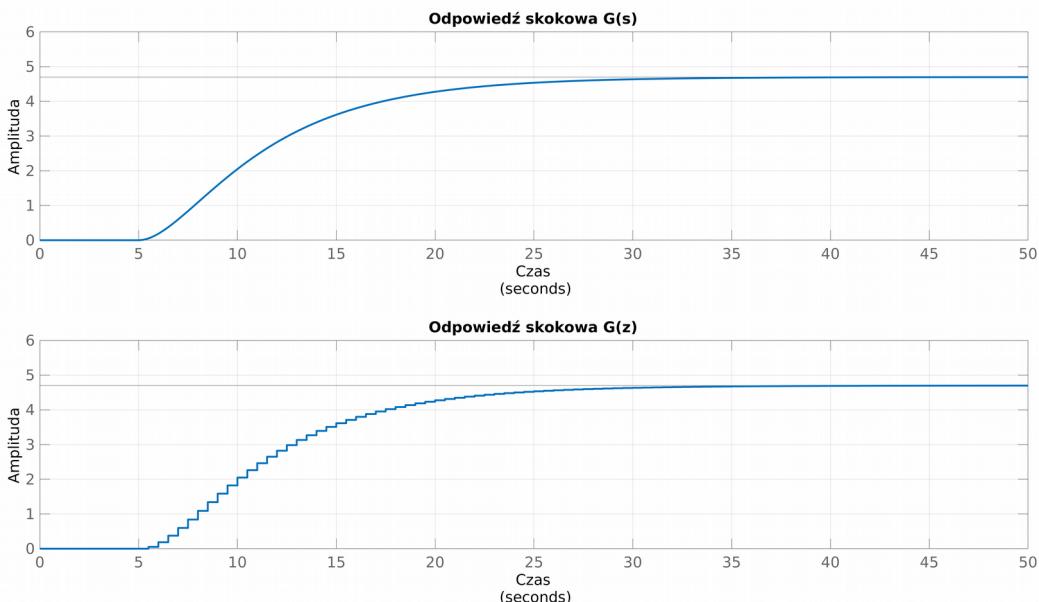
gdzie $K_0=4,7$, $T_0=5$, $T_1 = 1,89$, $T_2=5,27$

Zad nr 1

Wyznaczona (za pomocą ekstrapolatora zerowego rzędu) transmitancja dyskretna o okresie próbkowania 0,5s ma postać:

$$G(z) = z^{-10} \frac{0.0524z + 0.04649}{z^2 - 1.677z + 0.6981}$$

Odpowiedzi skokowe zarówno transmitancji dyskretnej jak i ciągłej są do siebie zbliżone:



Ilustracja 1: Odpowiedzi skokowe transmitancji ciągłej i dyskretnej

Jak widać na wykresach współczynniki wzmacniania zarówno transmitancji dyskretnej jak i ciągłej są takie same. Dla pewności jednak użyto funkcji: `dcgain()`. Jako argument przyjmuje transmitancję, a zwraca wzmacnianie statyczne. Dla obu transmitancji wzmacnianie statyczne wyniosło 4,7. Wszelkie obliczenia zamieszczono w pliku zad1.m .

Zad nr 2

Wyznaczone równanie różnicowe na podstawie transmitancji dyskretnej, służące do obliczenia wielkości $y(k)$ na podstawie sygnałów wejściowych i wyjściowych z chwil poprzednich jest posataci:

$$y(k) = 1.677y(k-1) - 0.6981y(k-2) + 0.0524u(k-11) + 0.04649u(k-12)$$

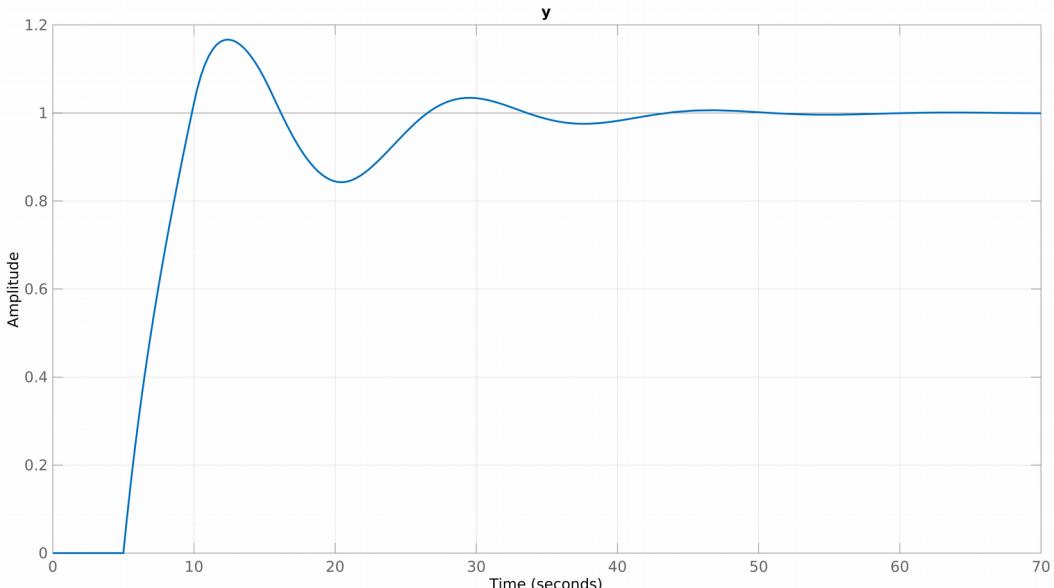
Zad nr 3

Dla danego obiektu dobrano ciągły regulator PID metodą Zieglera Nicholsa. Najpierw zmierzono wzmacnienie krytyczne $K_k=0,4802$, a następnie okres oscylacji $T_k=20s$. Nastawy wyniosły kolejno: $K_r=0,6K_k=0,2881$, $T_i=0,5T_k=10$, $T_d=0,12T_k=2,4$. Następnie na podstawie uzyskanych parametrów wyliczono parametry r_0 , r_1 , r_2 dla dyskretnego regulatora PID. Korzystano ze wzorów:

$$r_0 = K_r \left(1 + \frac{T_p}{2T_i} + \frac{T_d}{T_p} \right)$$
$$r_1 = K_r \left(-1 - 2\frac{T_d}{T_p} + \frac{T_p}{2T_i} \right)$$
$$r_2 = \frac{K_r T_d}{T_p}$$

gdzie T_p jest czasem próbkowania i wynosi 0,5s. Parametry te wyniosły kolejno: $r_0=1.6783$, $r_1=-3.0469$, $r_2=1.3830$.

Ponieważ metodą Zieglera Nicholsa uzyskano regulator stabilny i w dopuszczalnym czasie dążący do wartości zadanej (Ilustracja 2), zaprzestano dalszych prób zmieniania parametrów.

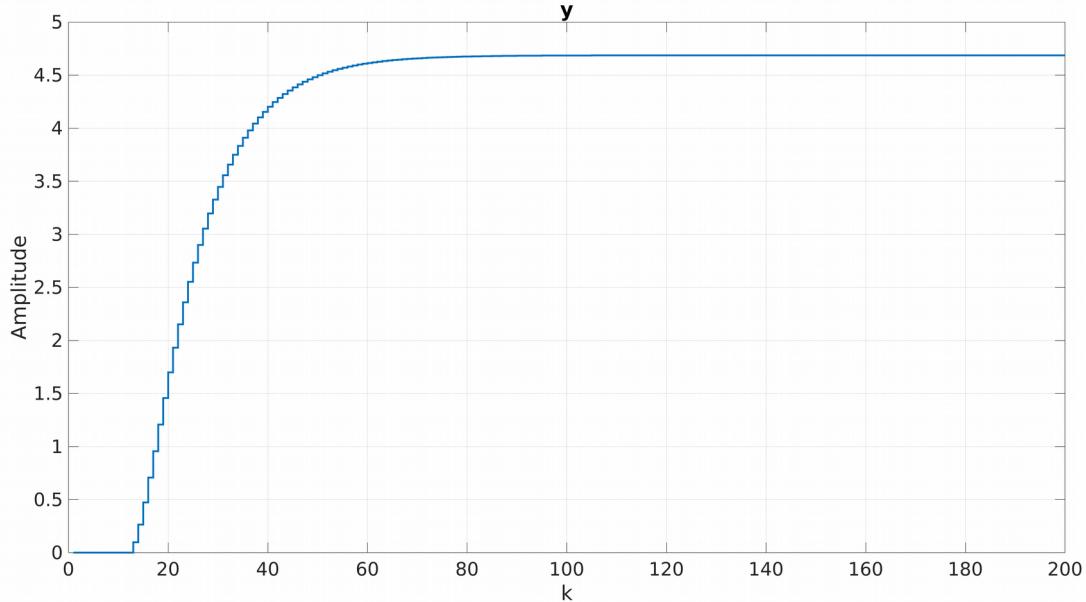


Ilustracja 2: Odpowiedź skokowa obiektu z ciągłym regułatorem PID o parametrach wyznaczonych metodą Zieglera-Nicholsa

Wszelkie obliczenia do tego zadania zamieszczono w pliku zad3.m .

Zad nr 4

Program do symulacji cyfrowego algorytmu PID oraz algorytmu DMC w wersji analitycznej, bez ograniczeń znajduje się w pliku zad4.m . Przyjęto stałą trajektorię zadaną dla całego horyzontu predykcyjnego. Wykorzystano tutaj model z punktu drugiego do wyznaczenia odpowiedzi skokowej obiektu (wykorzystanej w regulacji predykcyjnej DMC) i jego symulacji. Odpowiedź skokową obiektu przedstawiono na Ilustracji 3, gdzie k oznacza numery kolejnych próbek z wartościami odpowiedzi skokowej obiektu.



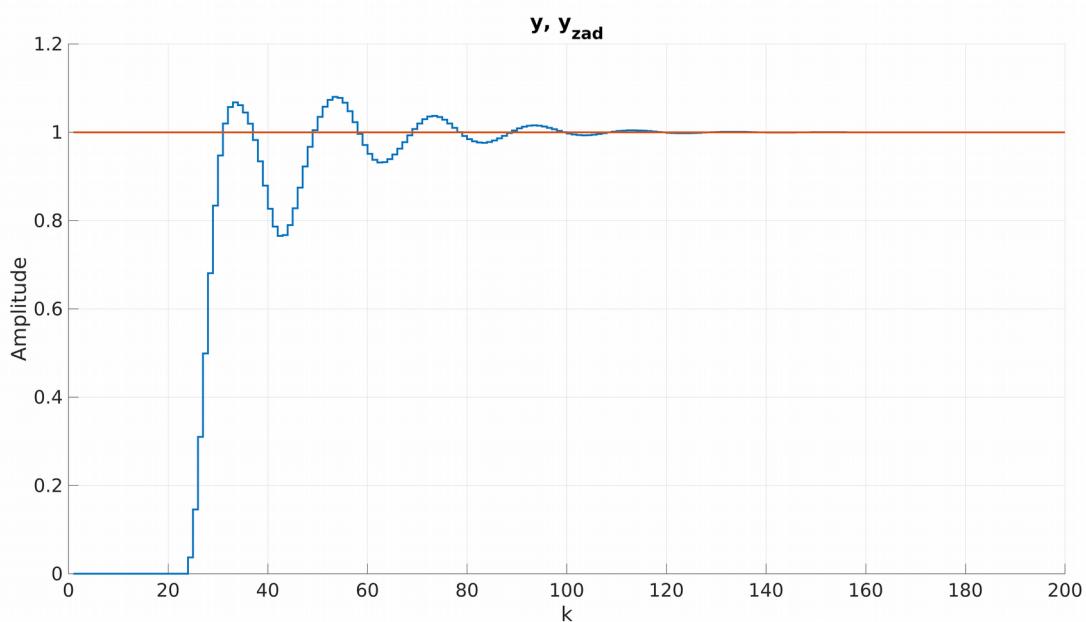
Ilustracja 3: Odpowiedź skokowa modelu w postaci równania różnicowego

Zad nr 5

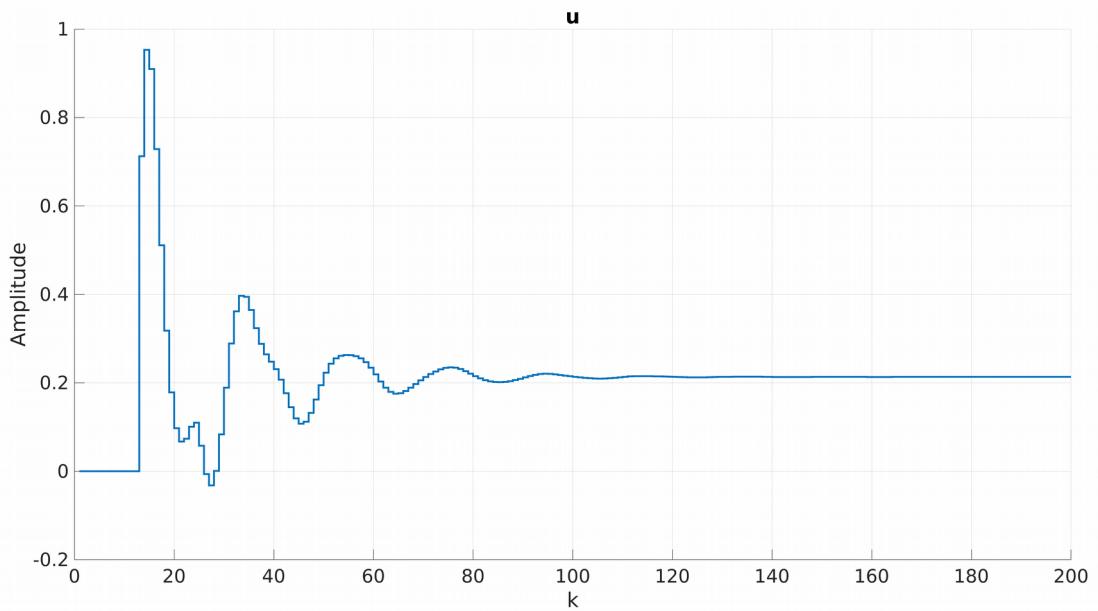
Dobrano parametry algorytmu DMC testując działanie układu regulacji dla skokowych zmian wartości zadanej, postępując w następujący sposób:

a)

Na podstawie odpowiedzi skokowej określono horyzont dynamiki $D=80$. Po tej liczbie kroków wartość odpowiedzi skokowej można uznać za ustaloną (zmienia się o bardzo niewielkie wartości), równą w przybliżeniu wzmacnieniu statycznemu (wynosi 4,6760). Następnie założono początkową wartość współczynnika λ ($\lambda=1$) oraz długości horyzontów predykcji i sterowania takie same, jak horyzontu dynamiki ($N_u=N=D$). Otrzymaną odpowiedź układu umieszczono na Ilustracji 4. Czerwonym kolorem zaznaczono wartość zadaną, a niebieskim wyjście obiektu. Regulator może nie pracuje optymalnie ale prawidłowo, ponieważ jest stabilny i osiąga wartość zadaną w dopuszczalnym czasie.



Ilustracja 4: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=D=80$

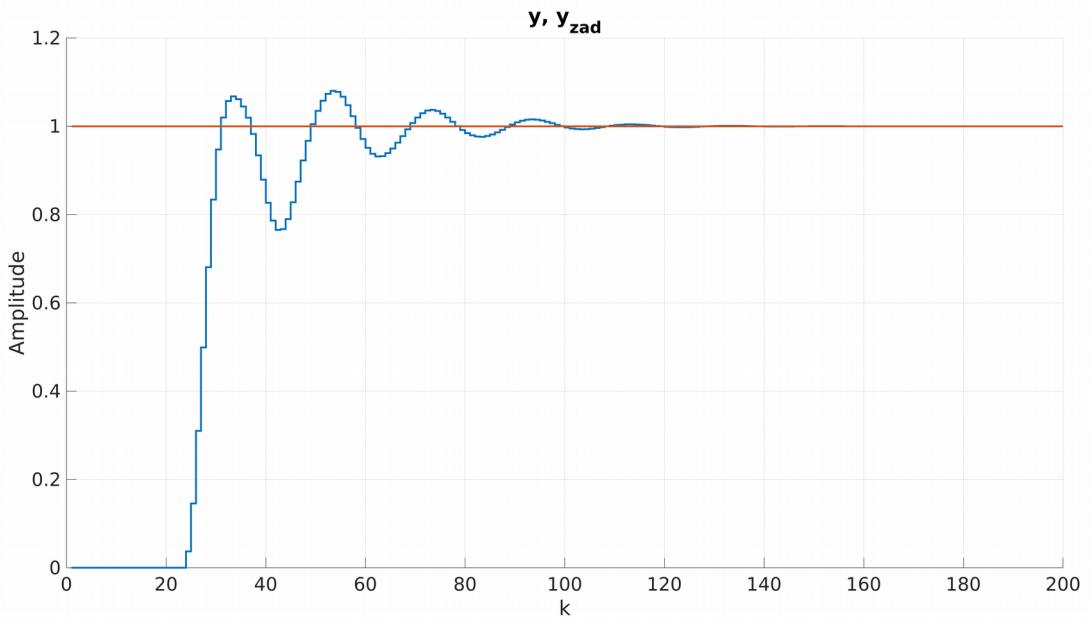


Ilustracja 5: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=D=80$

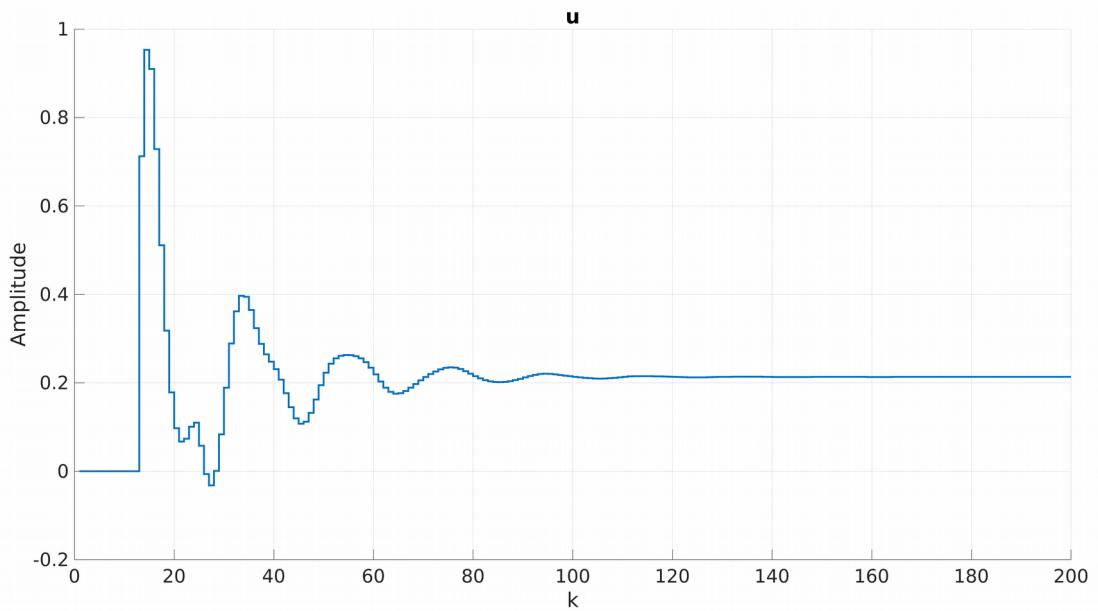
Niestety uzyskany regulator wytwarza sygnał sterujący, który potrafi bardzo szybko się zmieniać i uzyskiwać duże wartości, co też może być niekorzystne dla samego obiektu. Sygnał sterujący regulatora pokazano na Ilustracji 5.

b)

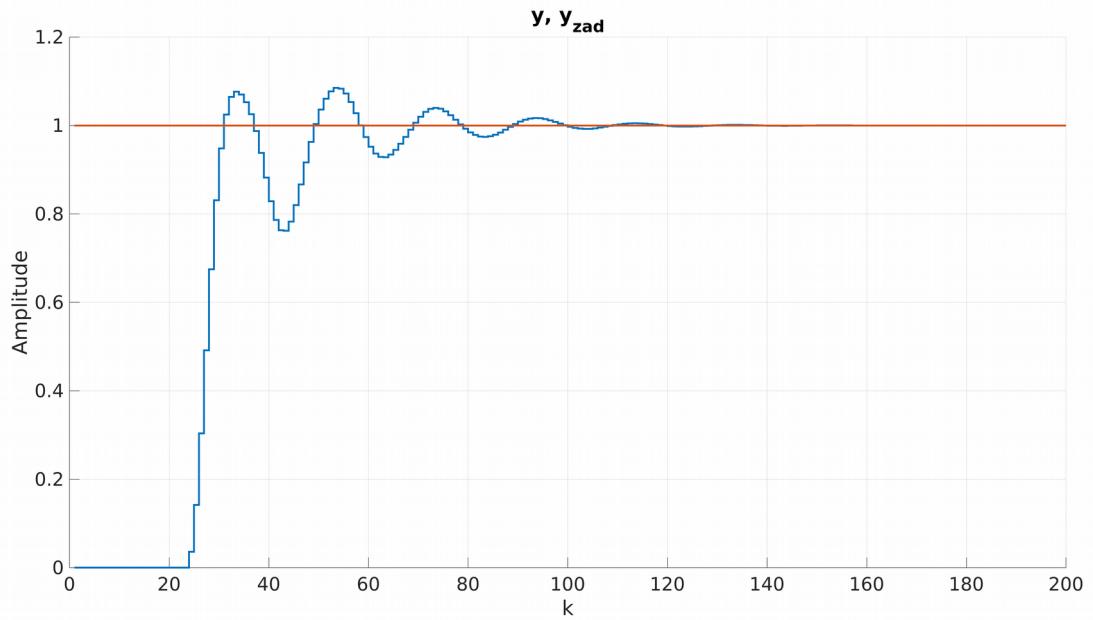
Następnie zaczęto stopniowo skracać horyzont predykcji i wybrano jego docelową długość równą 18, przy warunkach $D=80$, $N_u=N$, $\lambda=1$. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów przedstawiają Ilustracje 6-12 . Na wykresach z odpowiedzią skokową układu czerwonym kolorem oznaczono wartość zadaną, a niebieskim wyjście modelu.



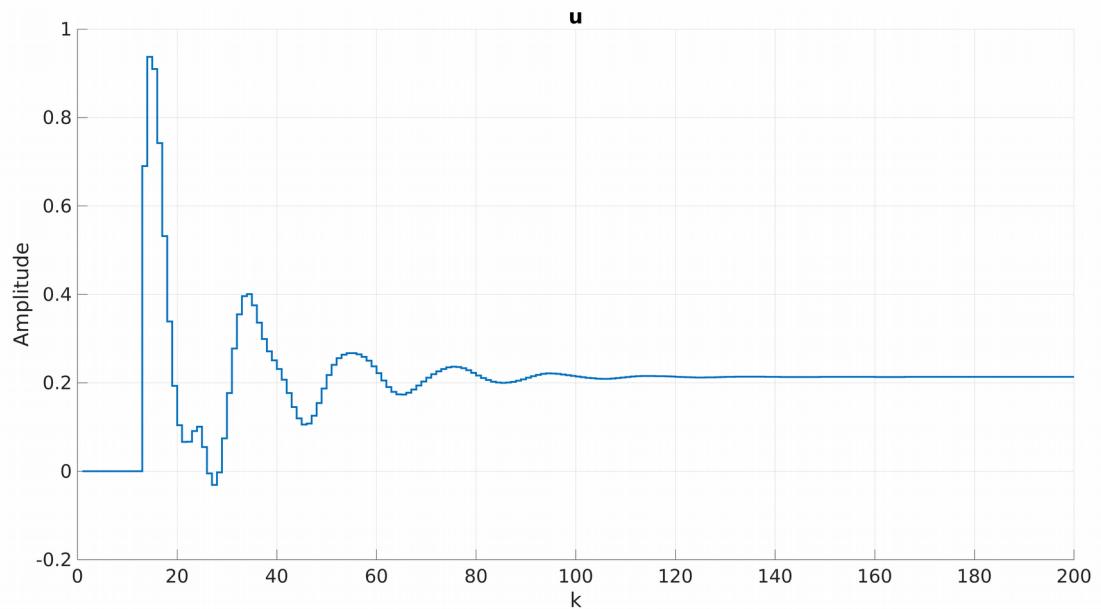
Ilustracja 6: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=40$



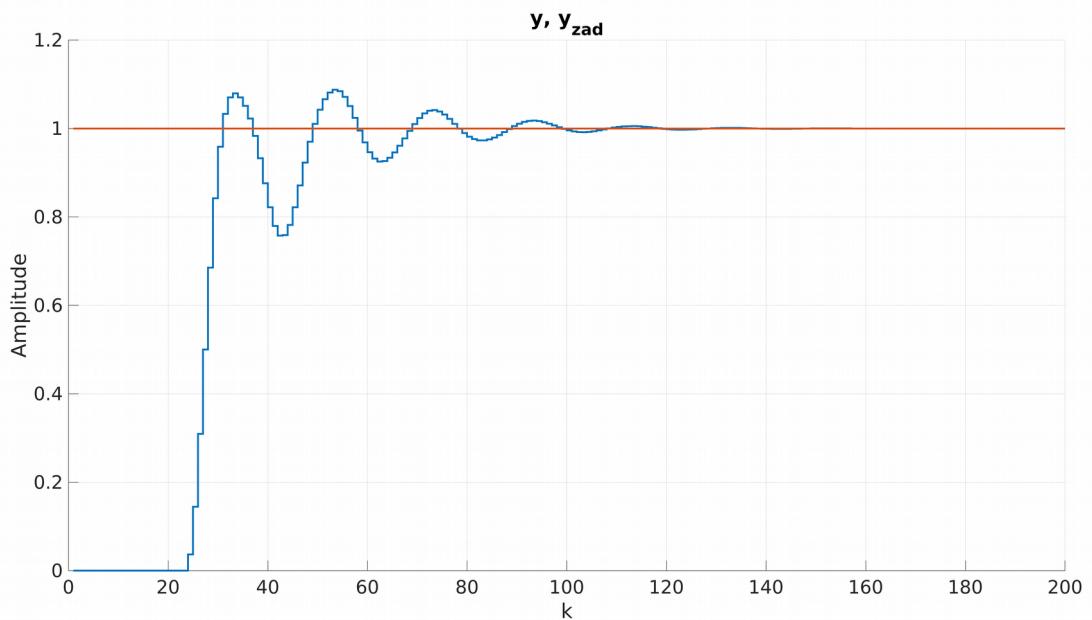
Ilustracja 7: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=40$



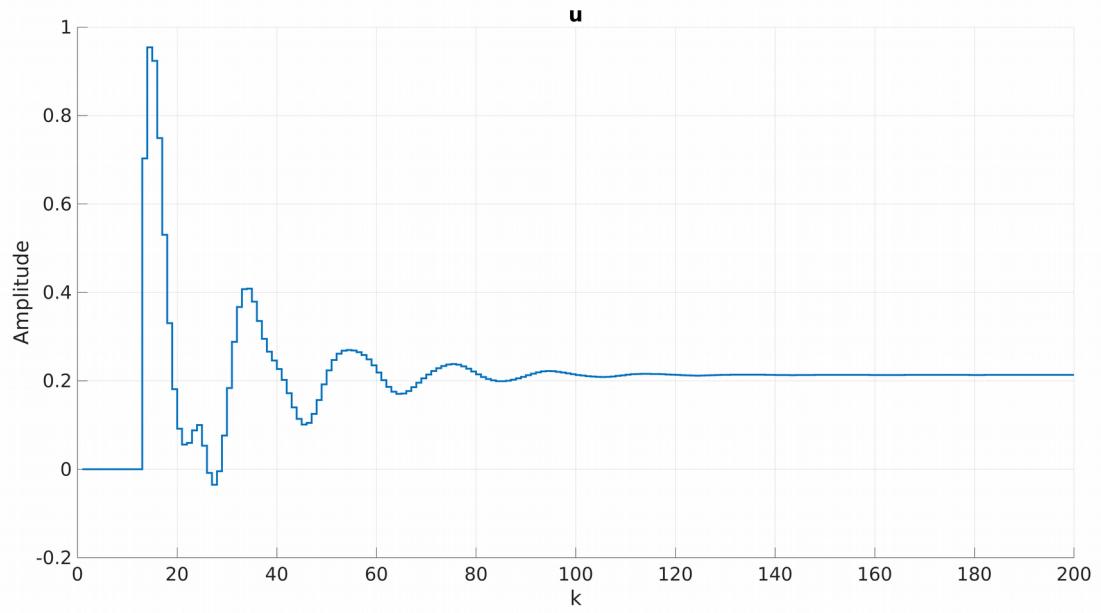
Ilustracja 8: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=20$



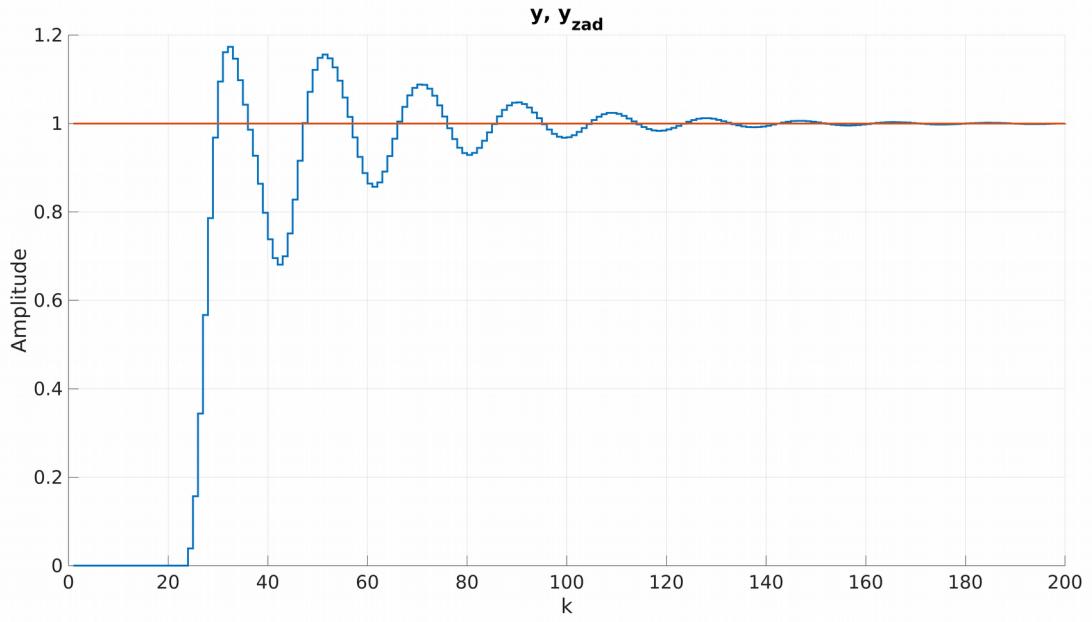
Ilustracja 9: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=20$



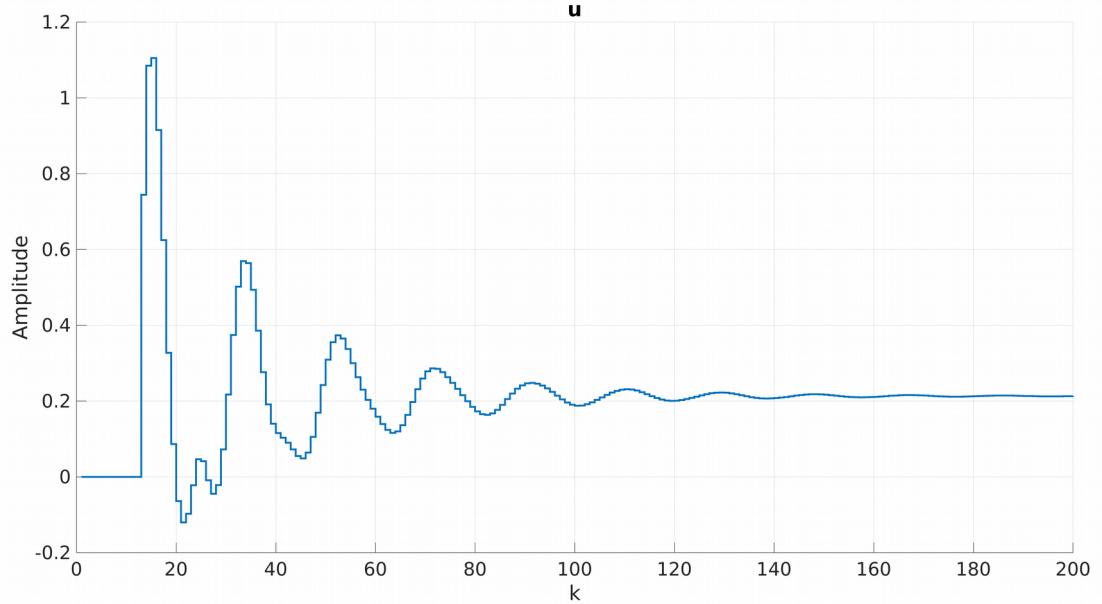
Ilustracja 10: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=18$



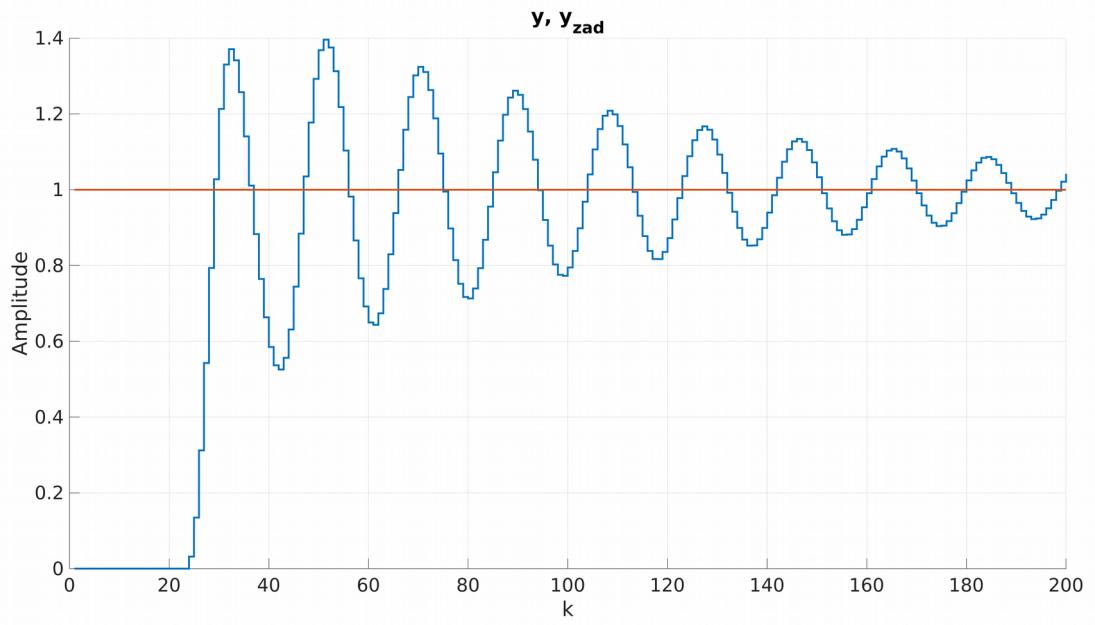
Ilustracja 11: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=18$



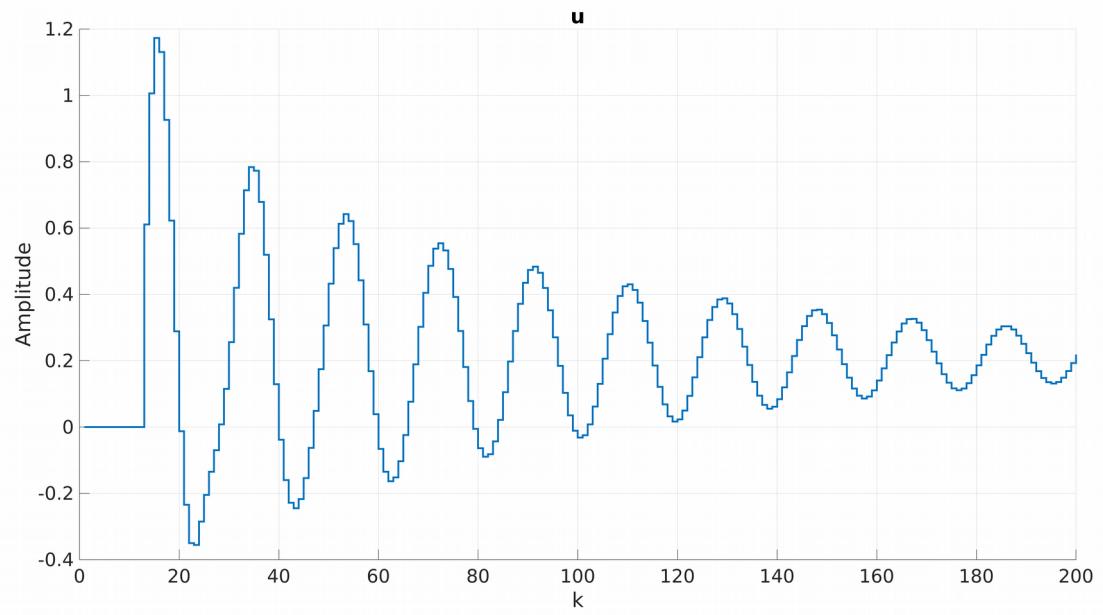
Ilustracja 12: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=16$



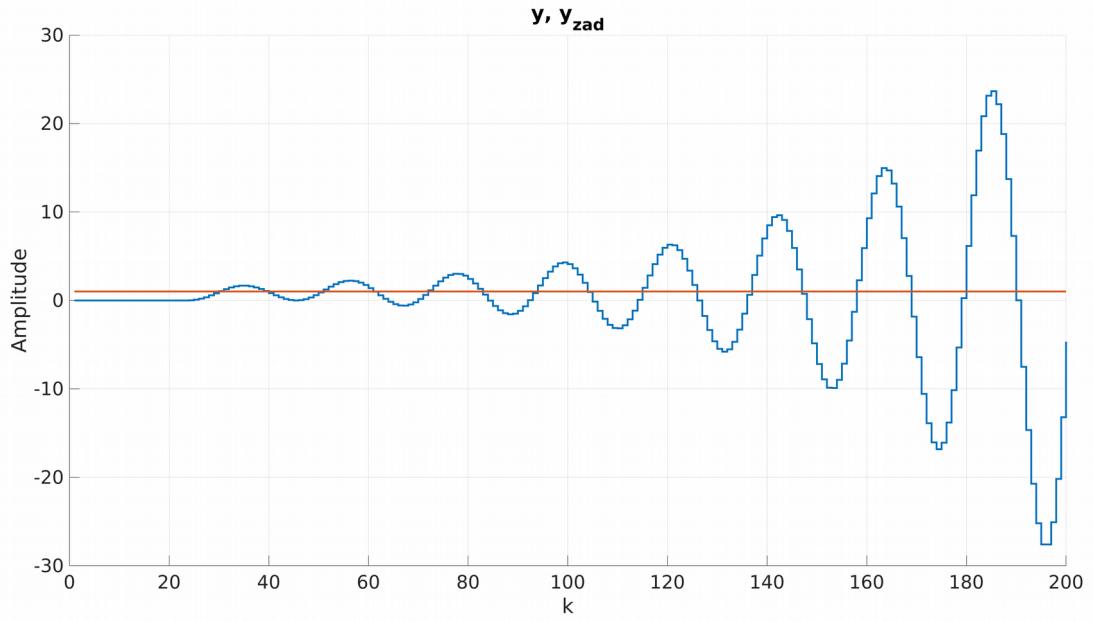
Ilustracja 13: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=16$



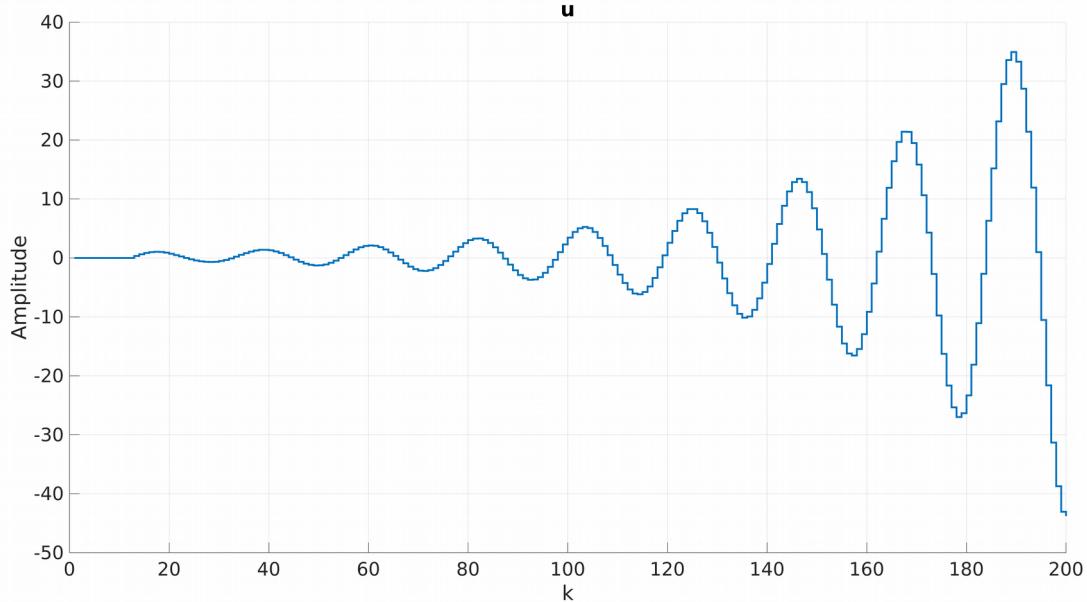
Ilustracja 14: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=15$



Ilustracja 15: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=15$



Ilustracja 16: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=14$



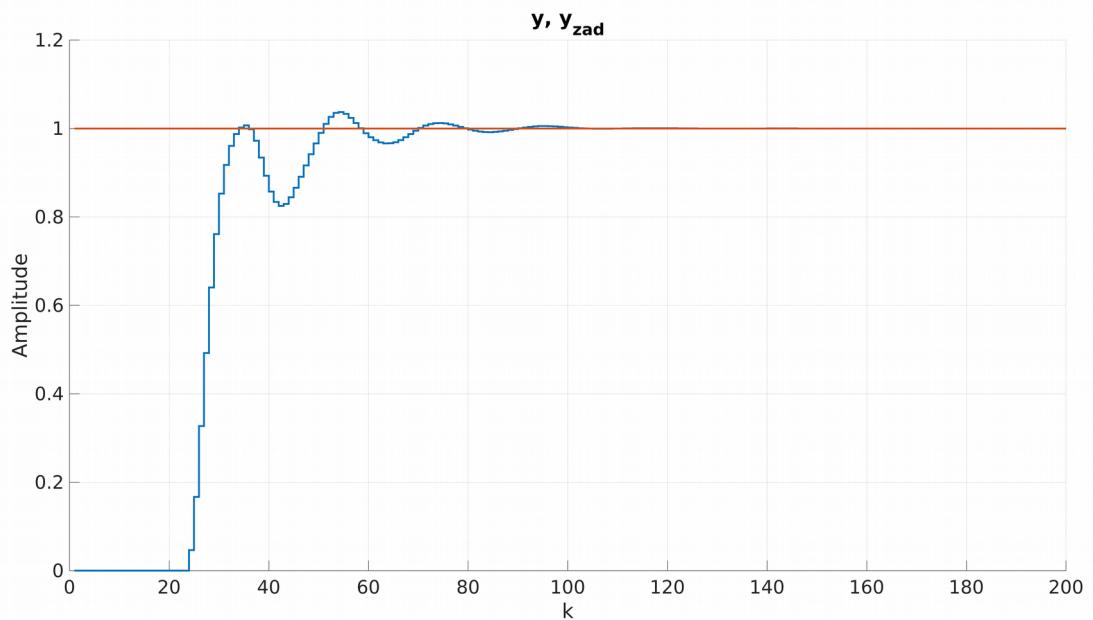
Ilustracja 17: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach $N_u=N=14$

Jak widać na powyższych grafikach horyzont predykcji jest bardzo istotnym parametrem w działaniu regulatora DMC. Przy dużych wartościach tego parametru pracuje on stabilnie, wyjście modelu osiąga wartość zadaną w dopuszczalnym czasie, niestety podobnie jak w poprzednim podpunkcie sygnał sterujący potrafi być szybkozmienny i osiągać duże wartości. Omawiany regulator praktycznie działa w przybliżony sposób dla wartości N od 80 w dół do 18. Jako dowód pokazano przebiegi odpowiedzi skokowych i wartości sterujących dla wartości N 40, 20 i 18. Sytuacja zaczyna stawać się ciekawsza dla N=16, kiedy to pojawia się większe przeregulowanie, czas regulacji obiektu w widocznny sposób się wydłuża, a sygnał sterujący przybiera większe wartości. Sytuacja staje się jeszcze gorsza dla N=15 kiedy to regulatorowi bardzo dużo czasu zajmuje osiągnięcie wartości zadanej na wyjściu modelu (jest mało stabilny), a przeregulowanie sięga rekordowo wysokiej wartości równej 0.4 . Podobnie jak w poprzednim przypadku tak i tu sygnał sterujący osiąga jeszcze większe wartości. Układ staje się niestabilny i wpada w narastające oscylacje dla horyzontu predykci równemu 14 (Ilustracje 16, 17).

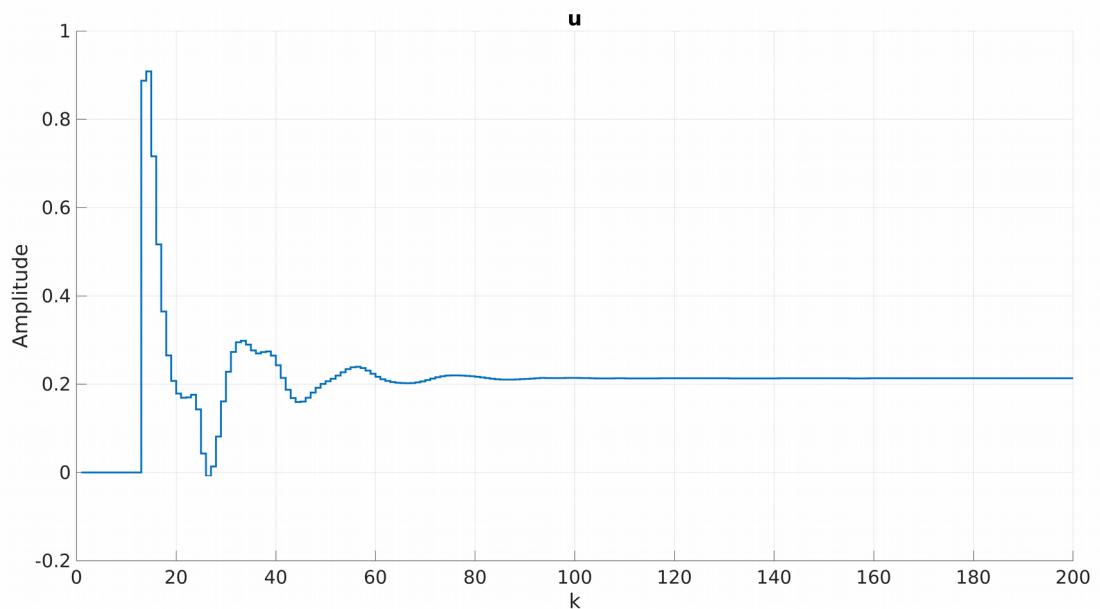
Z powyższych doświadczeń można wywnioskować, że długi horyzont predykci sprzyja większej stabilności obiektu, jednak nie ma sensu dawać mu zbyt dużej wartości, ponieważ od pewnej wartości N w góre regulator pracuje praktycznie tak samo. Należy jednak uważać by nie był on za krótki gdyż układ może stać się niestabilny, lub mało stabilny.

c)

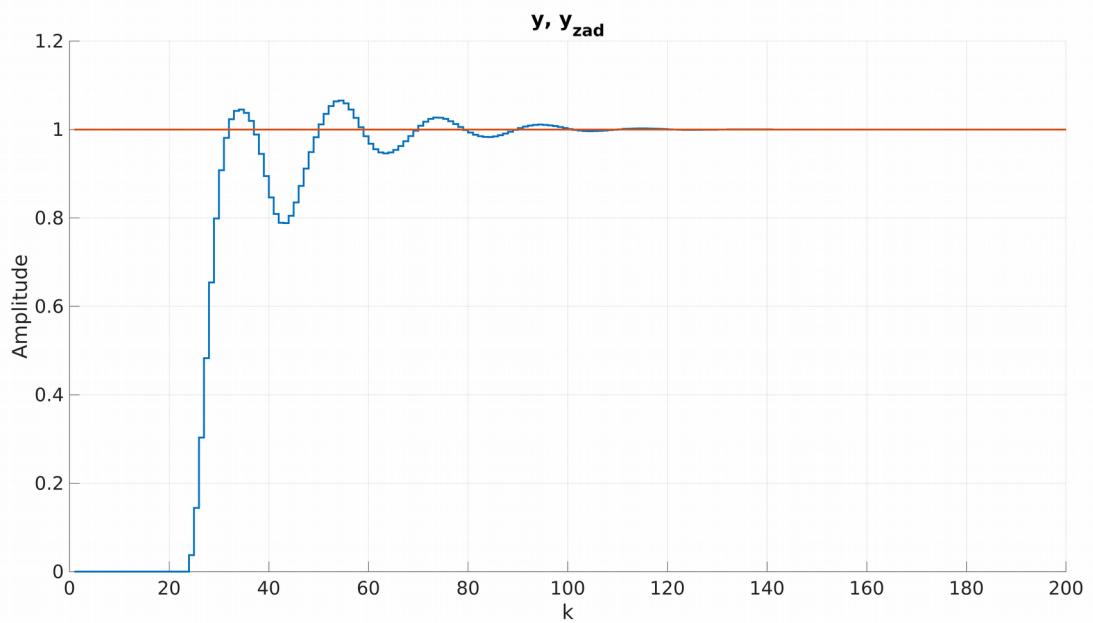
Następnie zbadano wpływ horyzontu sterowania na jakość regulacji. W tym celu przyjęto następujące parametry $D=80$, $N=18$, $\lambda=1$ i przyjmowano kolejno $N_u = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów przedstawiają Ilustracje 13-23 . Na wykresach z odpowiedzią skokową układu czerwonym kolorem oznaczono wartość zadaną, a niebieskim wyjście modelu.



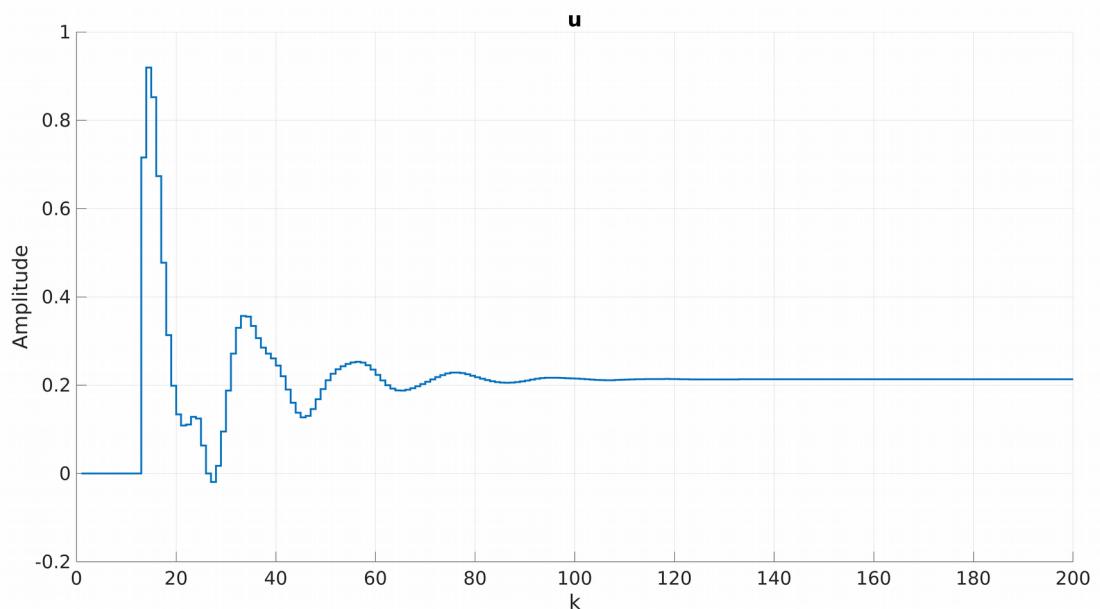
Ilustracja 18: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC dla $N_u=1$



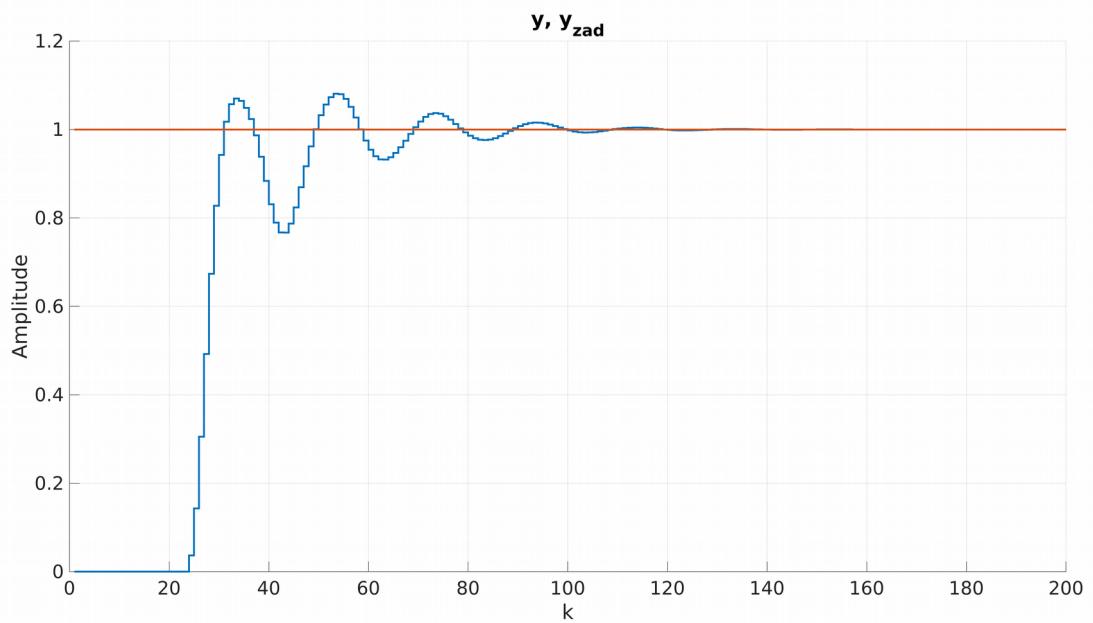
Ilustracja 19: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC dla $N_u=1$



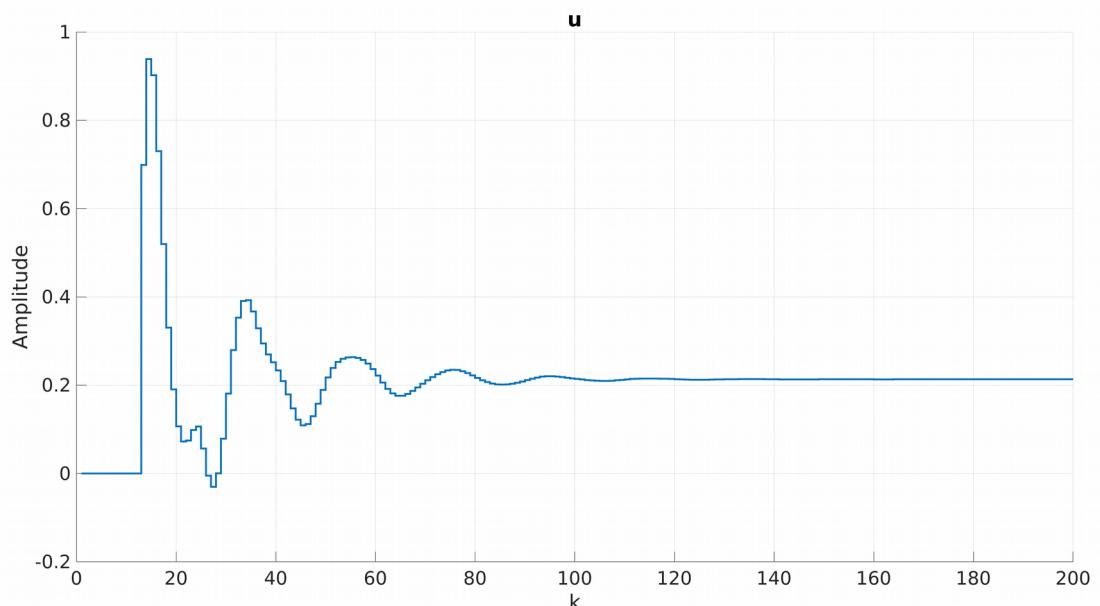
Ilustracja 20: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC dla $N_u=2$



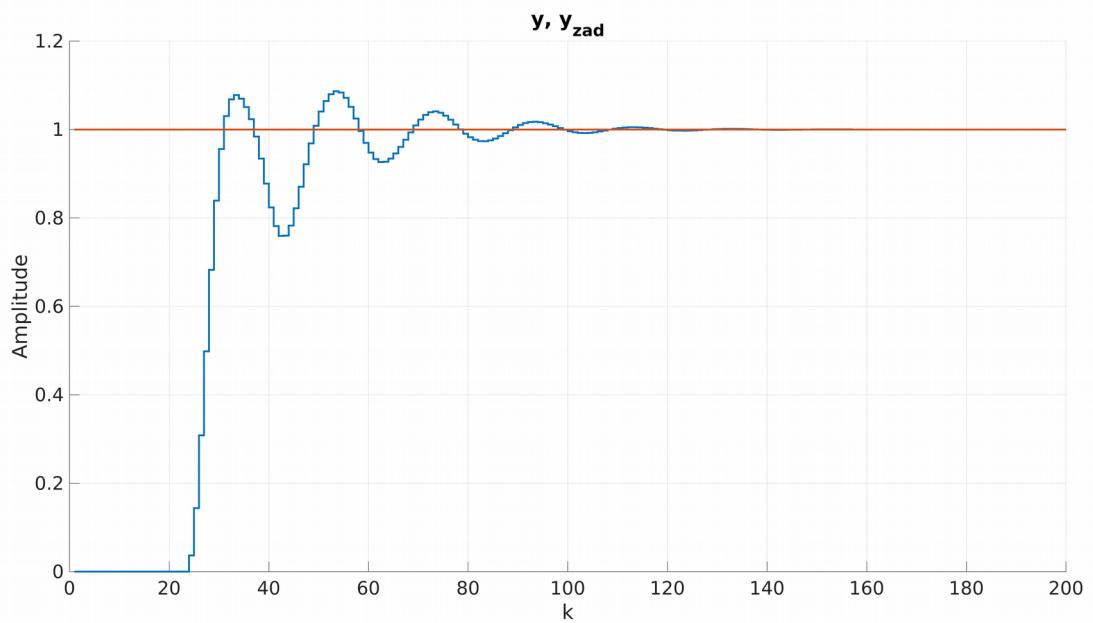
Ilustracja 21: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC dla $N_u=2$



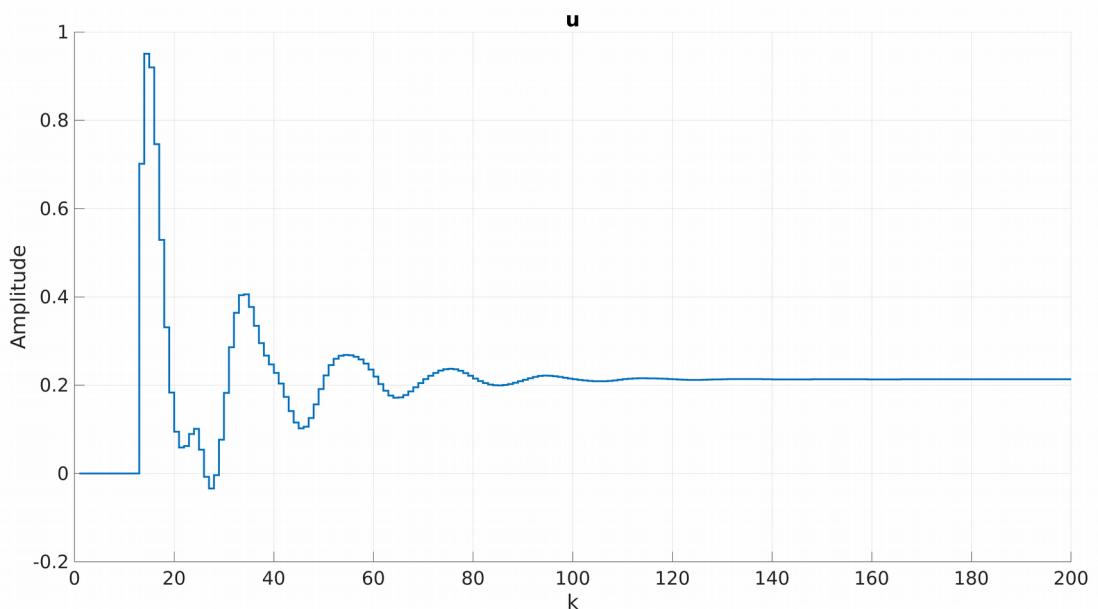
Ilustracja 22: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC dla $N_u=3$



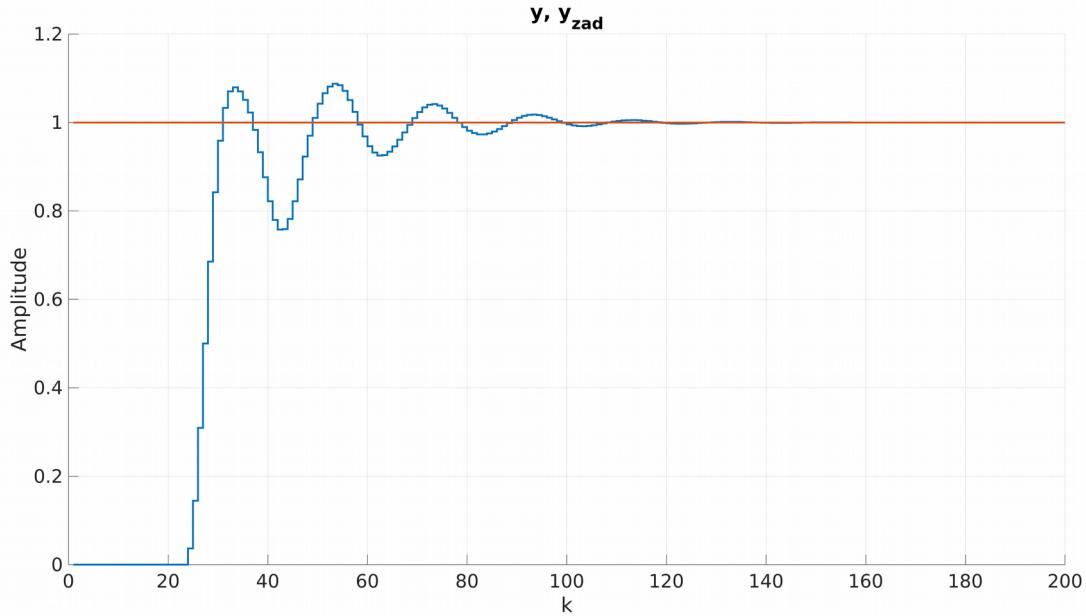
Ilustracja 23: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC dla $N_u=3$



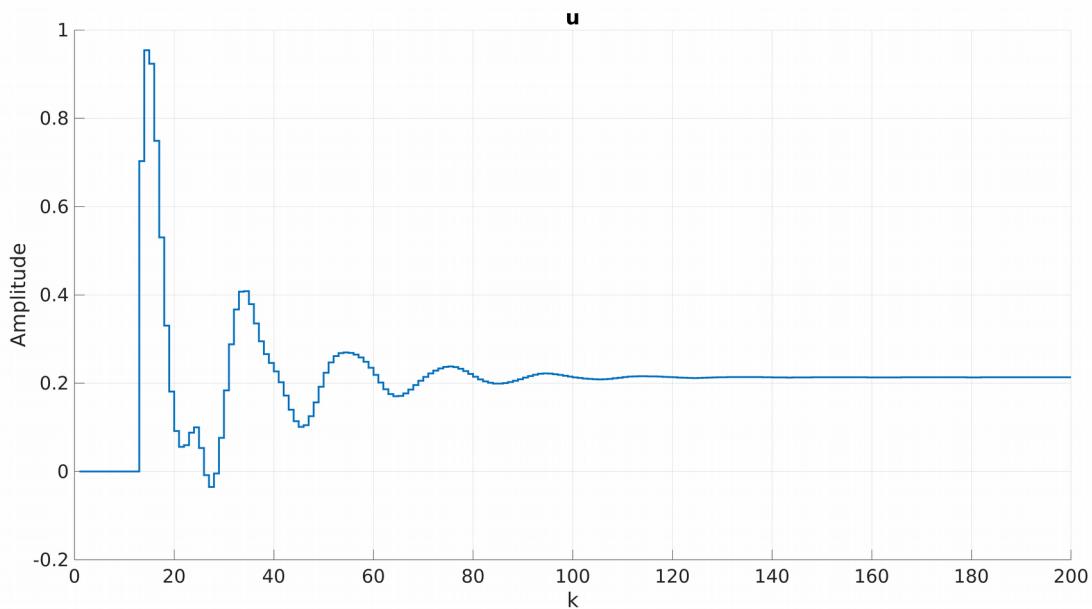
Ilustracja 24: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC dla $N_u=4$



Ilustracja 25: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC dla $N_u=4$



Ilustracja 26: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC dla $N_u=10$



Ilustracja 27: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC dla $N_u=10$

Jak widać na powyższych grafikach regulator DMC pracuje dosyć dobrze dla wybranych wartości N_u . Gdy $N_u=1$ układ dąży do wartości zadanej jeszcze szybciej niż w przypadku gdy $N_u=N$. Można zauważycie także mniejsze przeregulowanie. Niestety wartość sygnału sterującego nadal potrafi zmieniać się o duże wartości w krótkich odstępach czasu. Dla $N_u=2$ przeregulowanie wyjścia układu widocznie się zwiększyło (sięga już wartości 0,2). Natomiast czas, w którym osiągana jest wartość zadana minimalnie się wydłużył. Odnośnie sygnału sterującego jedyna zmiana polega oczywiście na wydłużeniu czasu stabilizacji. Dla $N_u=3$ przeregulowanie ponownie się zwiększyło, a sygnał na wyjściu i sygnał sterujący dłużej się stabilizują. Dla wartości 4 i 10 współczynnika N_u układ pracuje w bardzo zbliżony sposób jak dla $N_u=3$.

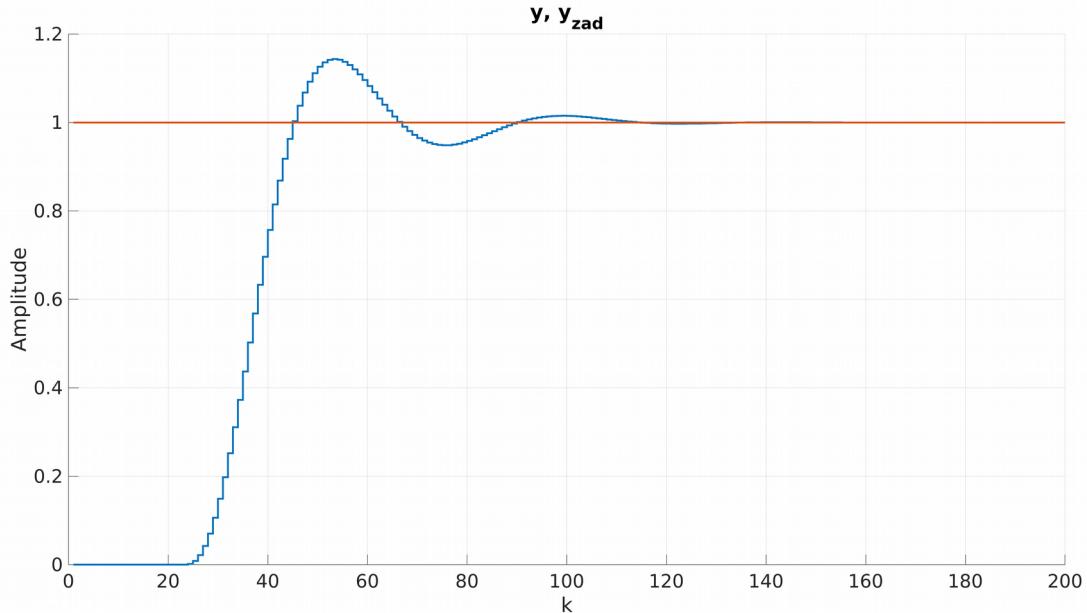
Z powyższych doświadczeń można wywnioskować, że krótki horyzont sterowania sprzyja skróceniu czasu, w jakim osiągana jest wartość zadana oraz czasu, w jakim sygnał sterujący ulega stabilizacji.

Natomiast im dłuższy horyzont sterowania tym dłuższy czas osiągania wartości zadanej (oraz stabilizacji sygnału sterującego) i większe przeregulowanie sygnału na wyjściu. Jednak tendencja ta nie trwa cały czas, ponieważ przy zwiększaniu N_u i przyjmowaniu dla tego parametru wartości 3,4,5 ... , układ pracuje praktycznie tak samo.

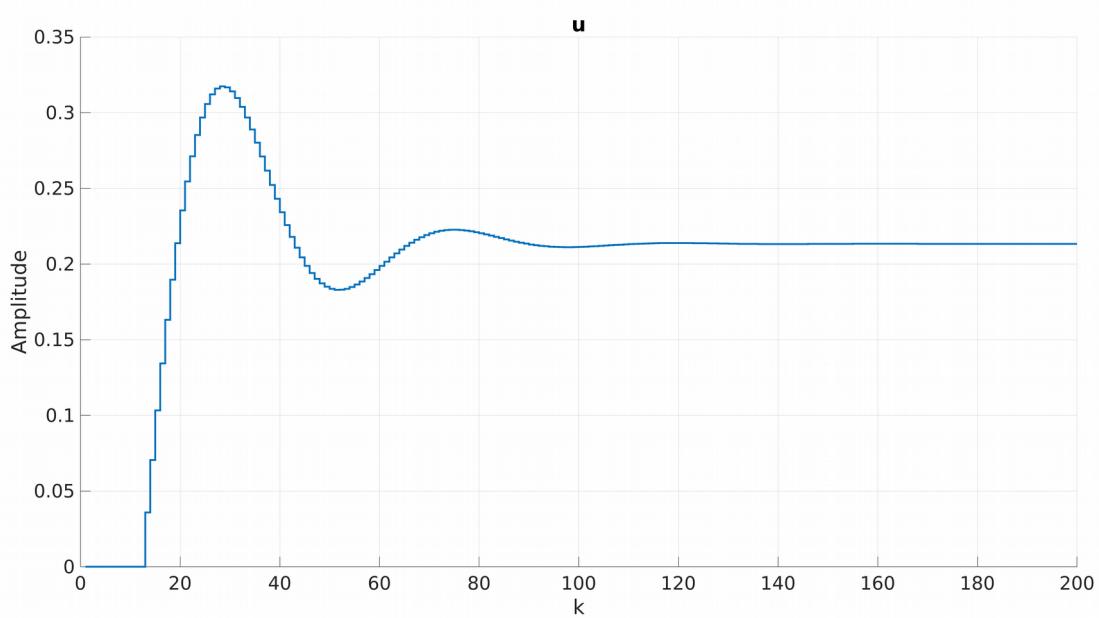
Ostatecznie wybrano $N_u=1$, co też jest możliwe małą długością horyzontu sterowania.

d)

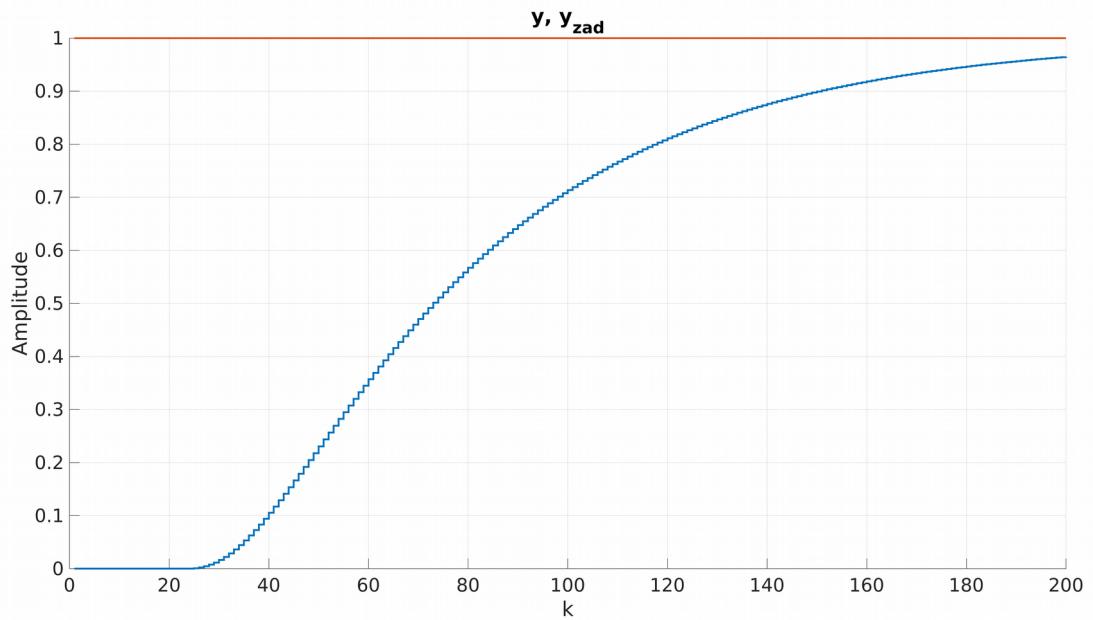
Następnie dla ustalonych horyzontów $N_u=1$, $N=18$, $D=80$ zbadano wpływ współczynnika λ na jakość regulacji. Na wykresach z odpowiedzią skokową układu czerwonym kolorem oznaczono wartość zadaną, a niebieskim wyjście modelu.



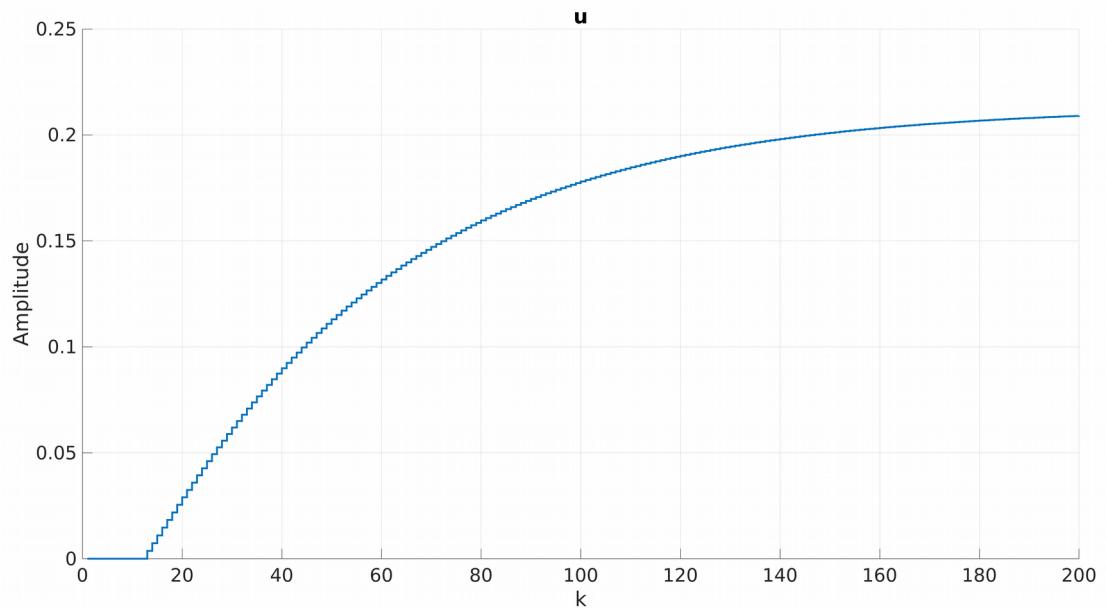
Ilustracja 28: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC dla $\lambda=100$



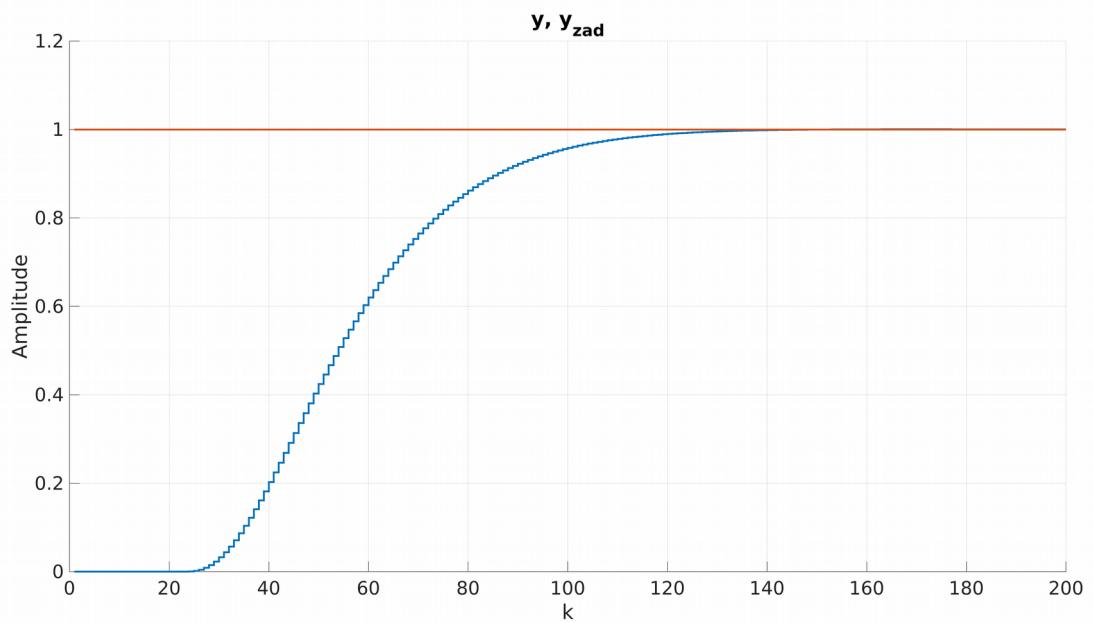
Ilustracja 29: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC dla $\lambda=100$



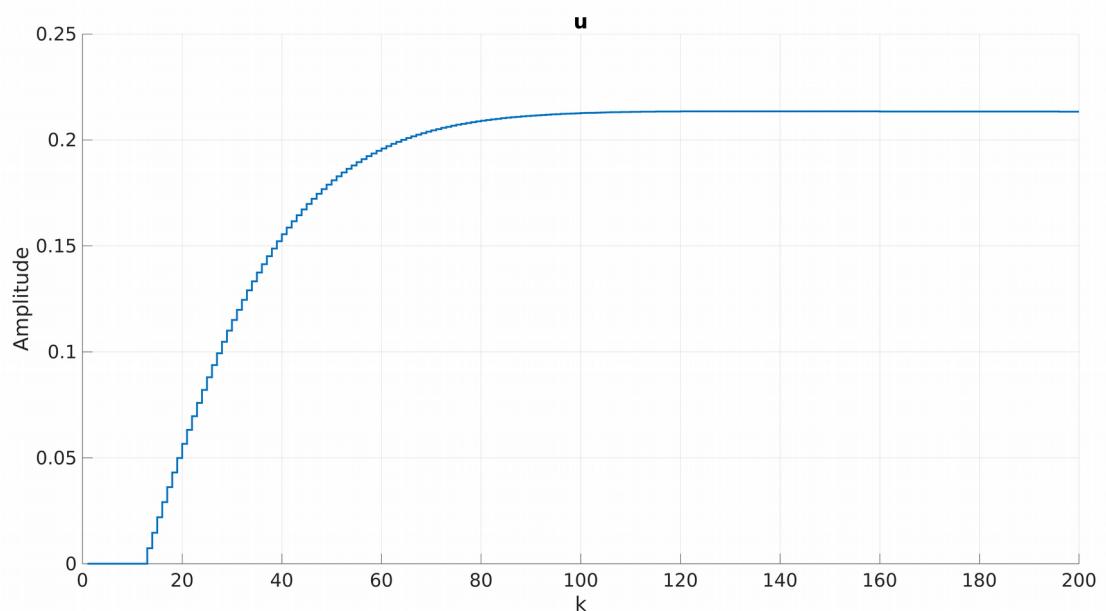
Ilustracja 30: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC dla $\lambda=1000$



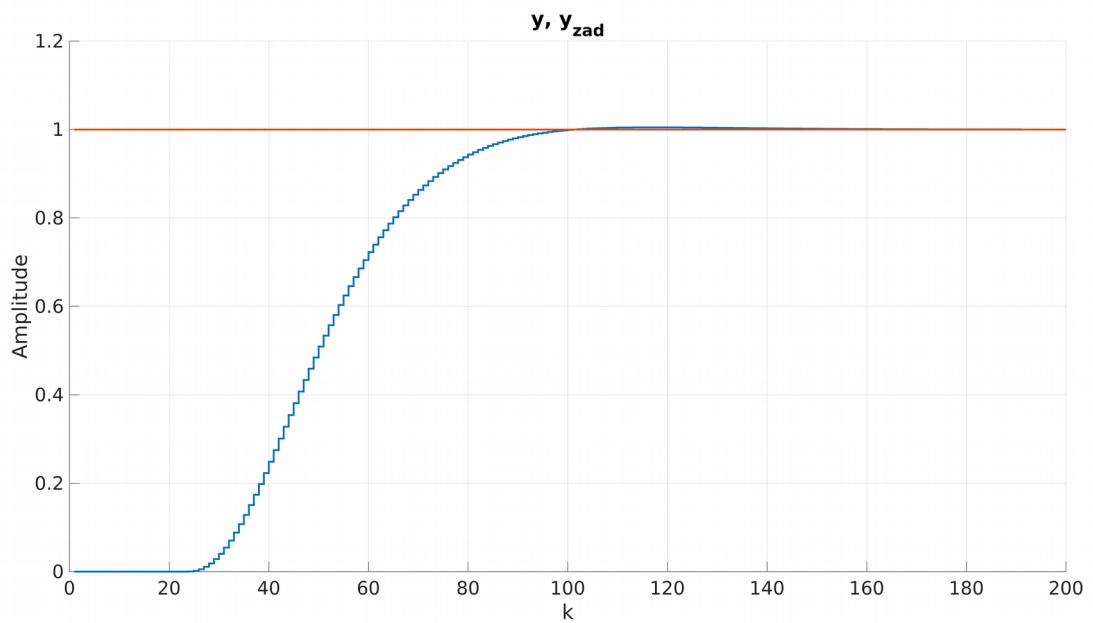
Ilustracja 31: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC dla $\lambda=1000$



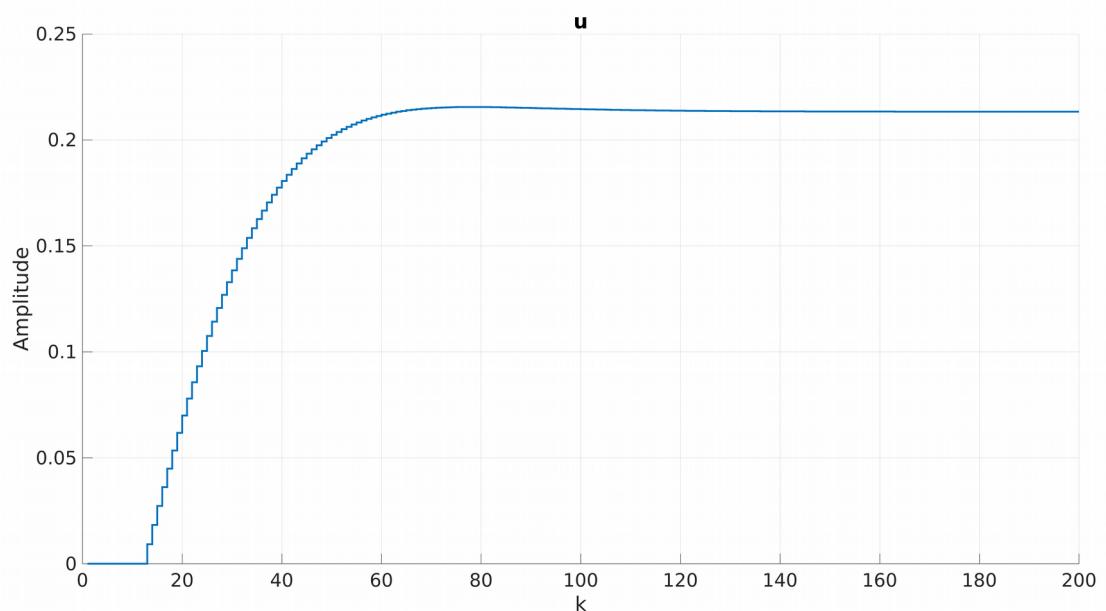
Ilustracja 32: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC dla $\lambda=500$



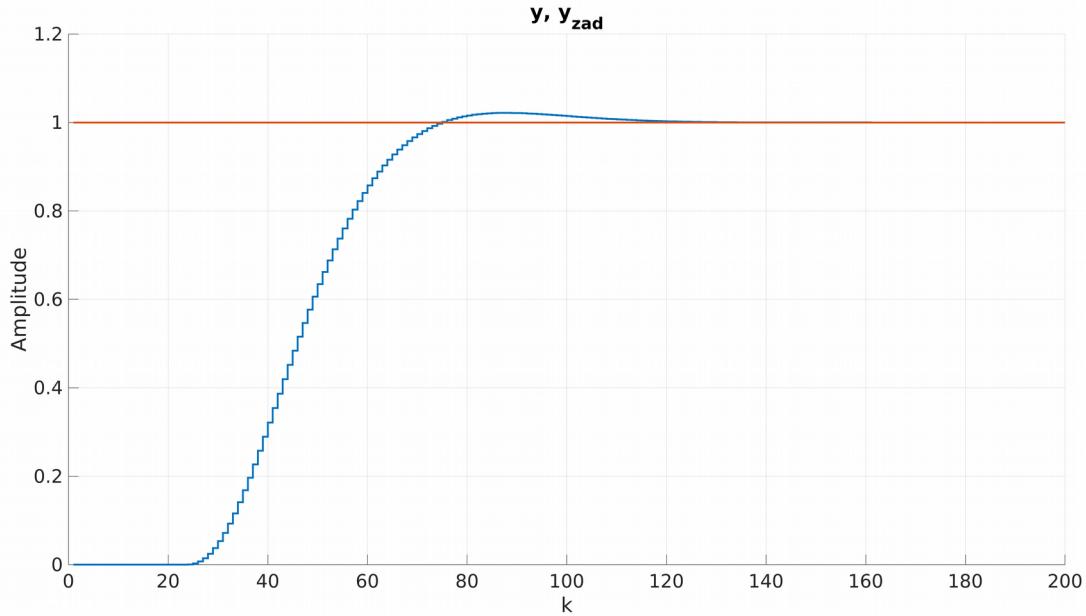
Ilustracja 33: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC dla $\lambda=500$



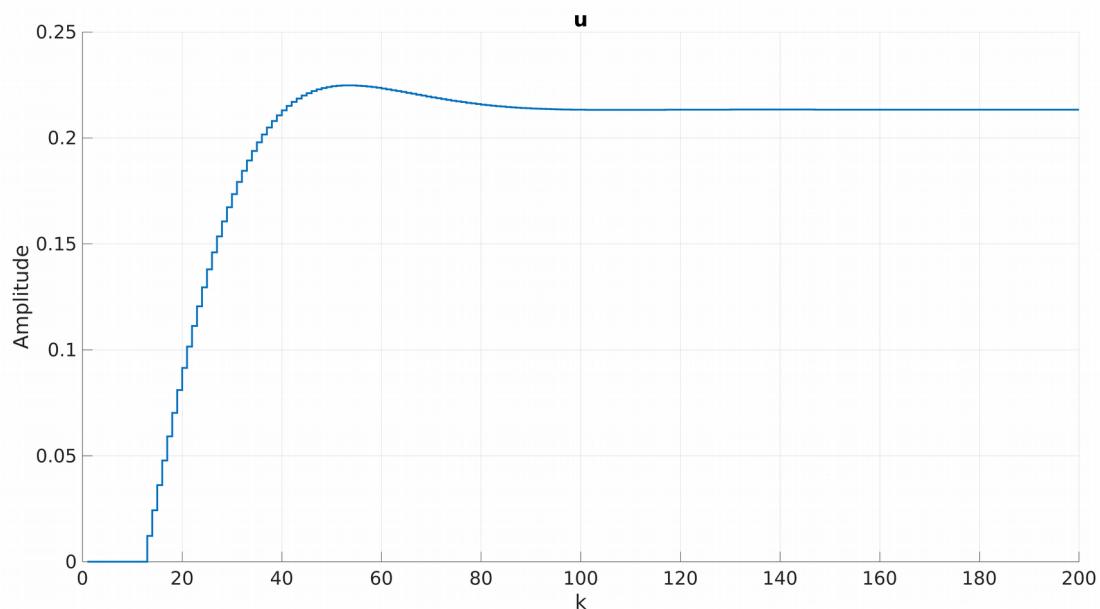
Ilustracja 34: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC dla $\lambda=400$



Ilustracja 35: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC dla $\lambda=400$



Ilustracja 36: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC dla $\lambda=300$



Ilustracja 37: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC dla $\lambda=300$

Jak widać na powyższych grafikach parametr λ ma bardzo duży wpływ na jakość sterowania. Początkowo zmieniano λ o rząd wielkości, a następnie zmieniano w obrębie przedziału 100-1000. Dla $\lambda=100$ układ oscyluje dużo mniej niż dla $\lambda=1$. Przeregulowanie także jest mniejsze a sygnał sterujący przyjmuje mniejsze wartości i wolniej się zmienia w czasie. Dla $\lambda=1000$ układ bardzo powoli dąży do wartości zadanej. Przeregulowanie tu nie występuje, a sygnał sterujący przyjmuje małe wartości i bardzo wolno się zmienia. Dla $\lambda=500$ układ szybciej dąży do wartości zadanej jednak nadal jest bardzo wolny. Nie występuje tu przeregulowanie, a sterowanie nadal narasta dosyć powoli (aczkolwiek już szybciej). Dla $\lambda=400$ obiekt już szybciej osiąga wartość zadaną. Nie występuje tu praktycznie przergulowanie, a sygnał sterujący narasta z szybkością w granicach przyzwoitości. Dla $\lambda=300$ już występuje przeregulowanie (choć nieduże). Sygnał sterujący dosyć szybko zmienia się tu w czasie. Aby zapewnić właściwy kompromis między szybkością regulacji a postacią sygnału sterującego wybrano $\lambda=400$.

Z powyższych doświadczeń można wywnioskować, że im większy parametr λ tym występują mniejsze zmiany sterowania oraz sygnał na wyjściu układu wolniej dąży do wartości zadanej. Należy też pamiętać, że przeregulowanie wówczas coraz bardziej zanika, a cały układ jest coraz bardziej stabilny.

Zad nr 6

Przy skokowej zmianie wartości zadanej porównano jakość regulacji cyfrowego algorytmu PID i algorytmu DMC dostrojonego w poprzednim punkcie. Wyznaczono w tym celu obszary stabilności obu algorytmów, tzn. krzywą K_0 / K_0^{nom} w funkcji $T_0 / T_0^{\text{nom}} = \{1 ; 1,1 ; 1,2 ; 1,3 ; 1,4 ; 1,5 ; 1,6 ; 1,7 ; 1,8 ; 1,9 ; 2\}$.