

SPRAWOZDANIE Z DRUGIEJ CZĘŚCI
PROJEKTU Z PRZEDMIOTU
„TECHNIKA AUTOMATYZACJI
PROCESÓW”

Numer zadania: 3

Wykonawcy:

Dawidiuk Marek

Giełdowski Daniel

Kłos Maciej

Taras Sylwia

Spis treści

1. Opis otrzymanego modelu	2
2. Zadanie projektowe	4
2.1. PID	4
2.2. Regulacja DMC - analityczny	13
2.3. Regulacja DMC - numeryczny	18

1. Opis otrzymanego modelu

W ramach tego projektu analizowaliśmy otrzymany model obiektu znanego jako reaktor przepływowy. Obiekt składa się z pojemnika wypełnionego cieczą z rozpuszczoną nieokreśloną substancją. Do pojemnika wpływa strumieniem F_{in} ciecz o określonej temperaturze T_{in} oraz stężeniu rozpuszczonej substancji C_{Ain} . W pojemniku jest określona ilość cieczy V w określonej temperaturze T . Ciecz z pojemnika wypływa strumieniem F , zawierając stężenie C_A rozpuszczonej substancji. Dodatkowo przez pojemnik przeprowadzona jest rura odpowiedzialna za chłodzenie bądź podgrzewanie, którą strumieniem F_C płynie ciecz o temperaturze wejściowej T_{Cin} .

Obiekt opisany jest następującymi równaniami:

$$\begin{cases} V \cdot \frac{dC_A}{dt} = F_{in} \cdot C_{Ain} - F \cdot C_A - V \cdot k_0 \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T}} \cdot C_A \\ V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} = F_{in} \cdot \rho \cdot c_p \cdot T_{in} - F \cdot \rho \cdot c_p \cdot T + V \cdot h \cdot k_0 \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T}} \cdot C_A - \frac{a \cdot (F_C)^{b+1}}{F_C + \frac{a \cdot (F_C)^b}{2 \cdot \rho_c \cdot c_{pc}}} \cdot (T - T_{Cin}) \end{cases} \quad (1.1)$$

W równaniach występują stałe o podanych wartościach:

- $\rho = \rho_c = 10^6 \frac{g}{m^3}$
- $c_p = c_{pc} = 1 \frac{cal}{g \cdot K}$
- $k_0 = 10^{10} \frac{1}{min}$
- $\frac{E}{R} = 8330,1 \frac{1}{K}$
- $h = 130 \cdot 10^6 \frac{cal}{kmol}$
- $a = 1,678 \cdot 10^6 \frac{cal}{K \cdot m^3}$
- $b = 0,5$

Na potrzeby linearyzacji otrzymaliśmy także dane odnośnie wartości zmiennych modelu w zadanym punkcie pracy układu:

- $V = 1m^3$
- $F_{in} = F = 1 \frac{m^3}{min}$
- $C_{Ain} = 2 \frac{kmol}{m^3}$
- $F_C = 15 \frac{m^3}{min}$
- $T_{in} = 323K$
- $T_{Cin} = 365K$
- $C_A = 0,26 \frac{kmol}{m^3}$
- $T = 393,9K$

W ramach zadania wielkości te podzielone zostały na 4 grupy:

- stałe - V, F, F_{in}
- regulowane - C_A, T
- sterujące - C_{Ain}, F_C
- zakłócenia - T_{in}, T_{Cin}

Po zastąpieniu stałych w równaniach liczbami, otrzymywany jest następujący układ równań:

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = C_{Ain} - C_A - 10^{10} \cdot e^{-\frac{8330,1}{T}} \cdot C_A \\ \frac{dT}{dt} = T_{in} - T + 130 \cdot 10^{10} \cdot e^{-\frac{8330,1}{T}} \cdot C_A - \frac{1,678 \cdot (F_C)^{1,5}}{F_C + 0,839 \cdot (F_C)^{0,5}} (T - T_{Cin}) \end{cases} \quad (1.2)$$

Ostatnią rzeczą jaka musiała zostać wzięta pod uwagę było dokładniejsze określenie wartości wyjść w punkcie pracy, ponieważ te podane w zadaniu były przybliżone. Podczas realizacji pierwszej części projektu otrzymaliśmy w przybliżeniu $C_A = 0,2646$ oraz $T = 393,9531$.

2. Zadanie projektowe

Zadaniem projektowym tej części naszej pracy było przygotowanie oraz dobranie optymalnych nastawów regulatorów w środowisku Matlab. W części a) należało dobrać strukturę i nastawy dwupętowego układu regulacji PI/PID z odsprzęganiem i bez odsprzęgania. Kolejno, należało zaprojektować i zaimplementować analityczny regulator predykcyjny z uwzględnieniem ograniczeń przez rzutowanie oraz, w części c), numeryczny regulator predykcyjny z uwzględnieniem ograniczeń na sterowanie. Następnie należało porównać działanie tych regulatorów. Algorytmem regulatora jaki należało zaimplementować w części b) i c) w ramach naszego zadania był regulator predykcyjny DMC (Dynamic Matrix Control)

2.1. PID

Zadanie implementacji dwupętowego regulatora PID podzieliśmy na kilka etapów. W pierwszym etapie należało uzależnić odpowiednio wejścia od wyjść. Zdecydowaliśmy się połączyć sterowanie F_C z uchybem wyjścia C_A , a sterowanie C_{Ain} z uchybem T . Wybór ten został starannie przemyślany. Po pierwsze w tej konfiguracji wzrost sterowania oznaczał wzrost wartości odpowiadającego mu wyjścia. Po drugie transmitancja ciągła C_A względem C_{Ain} zawiera biegun niestabilny w liczniku. Dodatkowo dla odwrotne połączenie zostało sprawdzone symulacyjnie i dobranie dobrych nastaw regulatora nie było możliwe.

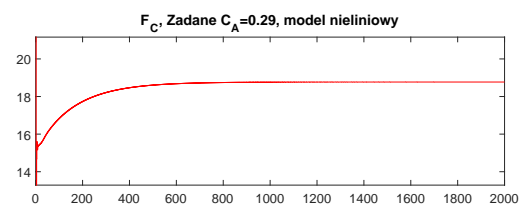
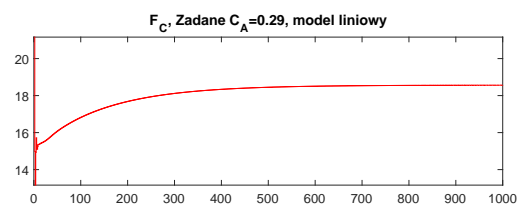
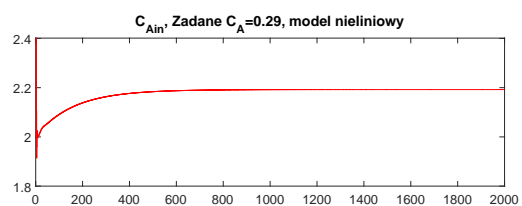
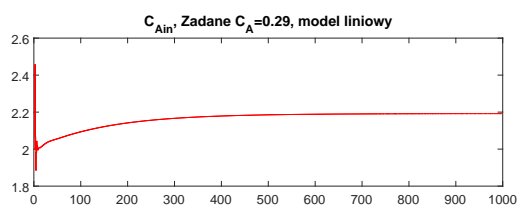
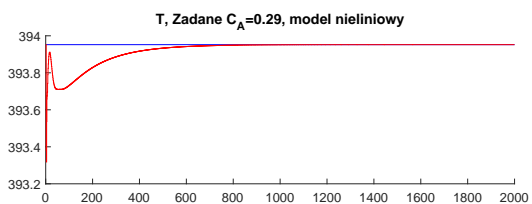
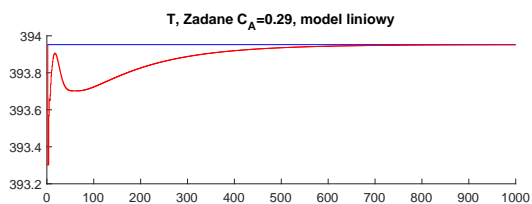
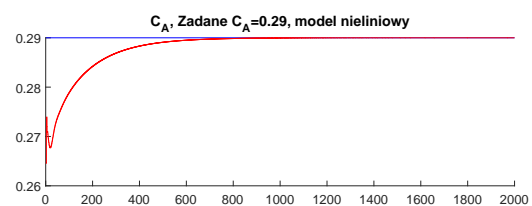
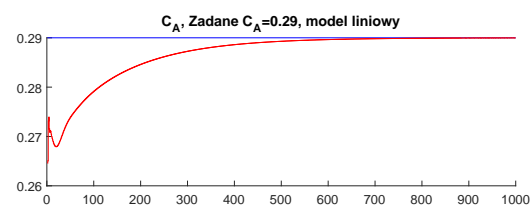
Drugim etapem było dobranie nastaw regulatorów. Podczas dobierania nastaw korzystaliśmy z utworzonego w pierwszej części projektu modelu zlinearyzowanego obiektu. Ostateczne dobrane nastawy przedstawione zostały przez nas w tabeli poniżej.

Trzecim i ostatnim etapem było przetestowanie nastrojonego układu regulacji dla obiektu nieliniowego. Efekty tego procesu dla różnych zmian wartości zadanej i zakłóceń przedstawiliśmy na wykresach poniżej. Dla każdego przebiegu modelu nieliniowego zamieściliśmy także przebieg dla modelu zlinearyzowanego w celach porównawczych. O ile model liniowy poradził sobie znakomicie we wszystkich sytuacjach, tak model nieliniowy nie do końca. Na rysunku 2.1 widać wyraźnie, że w niektórych dla dużego skoku zakłócenia T model ten nie poradził sobie z utrzymaniem wartości zadanej.

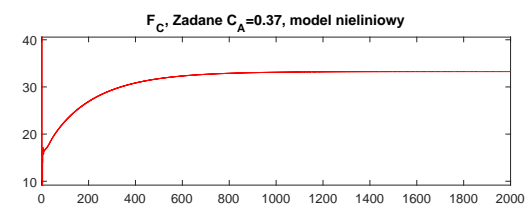
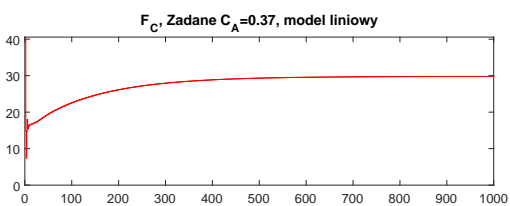
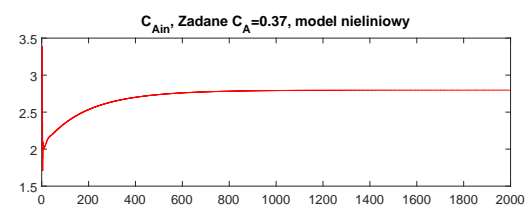
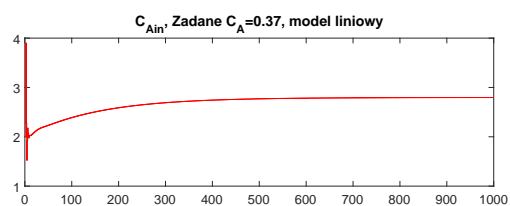
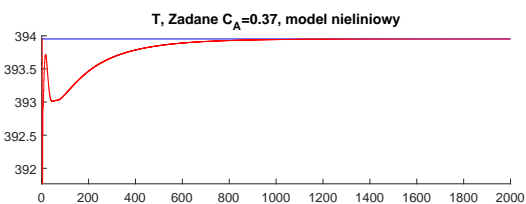
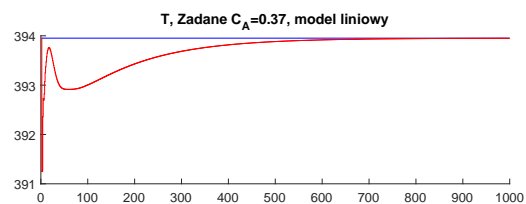
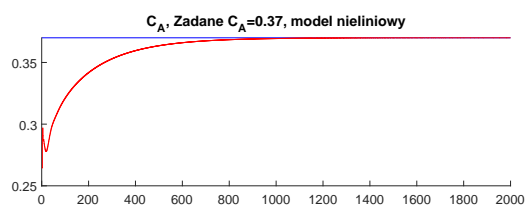
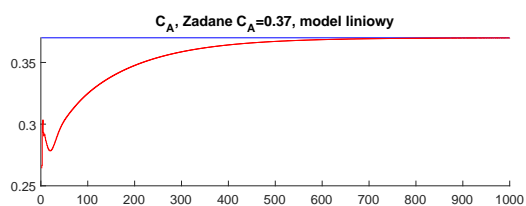
$$\frac{C_A(s)}{C_{Ain}(s)} = \frac{s - 5,769}{s^2 + 1,79s + 35,83} \quad (2.1)$$

Uchyb na wejściu	Wyjście	Kp	Ti	Td
C_A	F_C	2	0,03	2
T	C_{Ain}	0,1	0,5	0,1

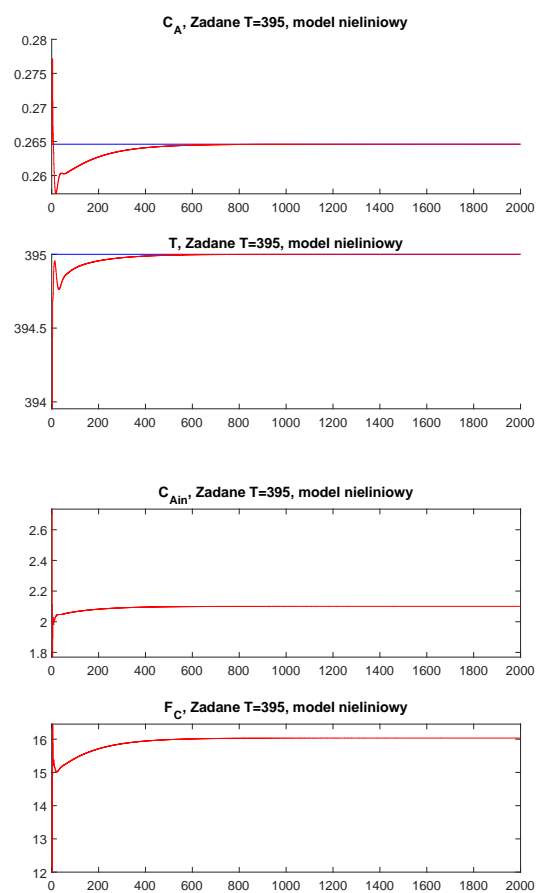
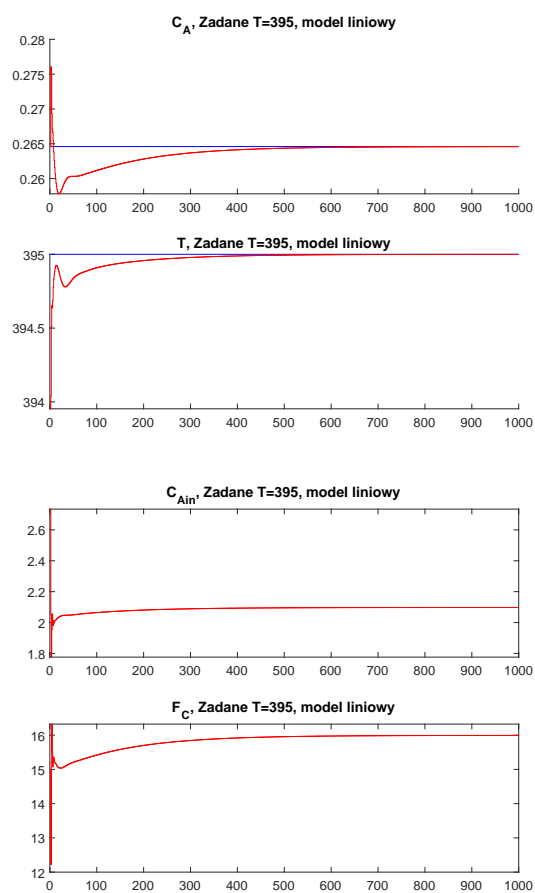
Tab. 2.1. Ostateczne nastawy regulatorów PID



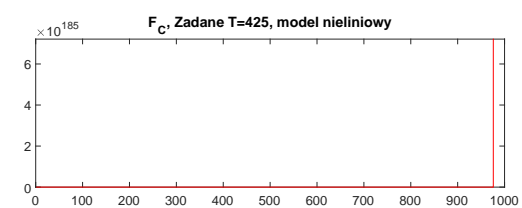
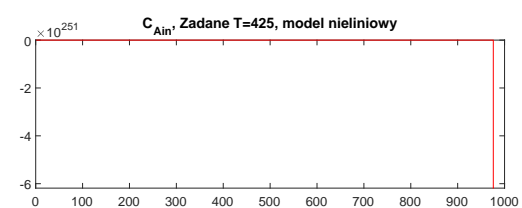
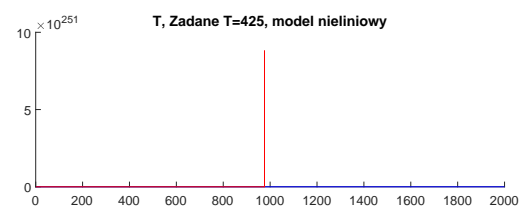
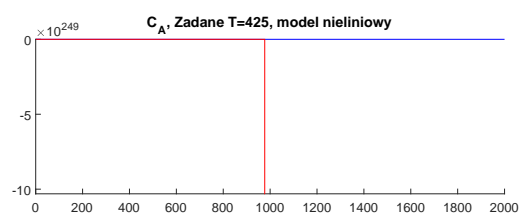
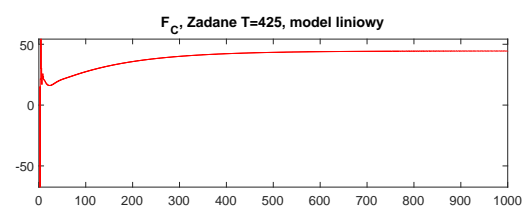
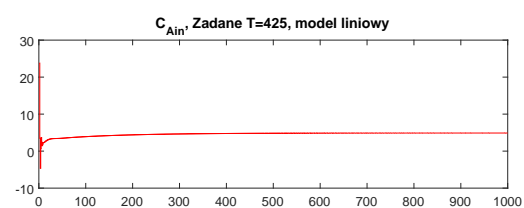
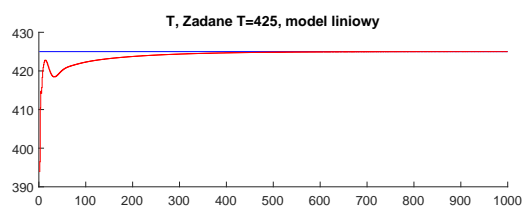
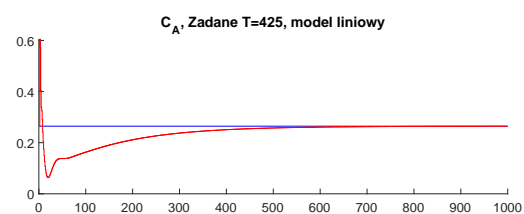
Rys. 2.1. Regulacja PID - skok wartości zadanej C_A do 0.29



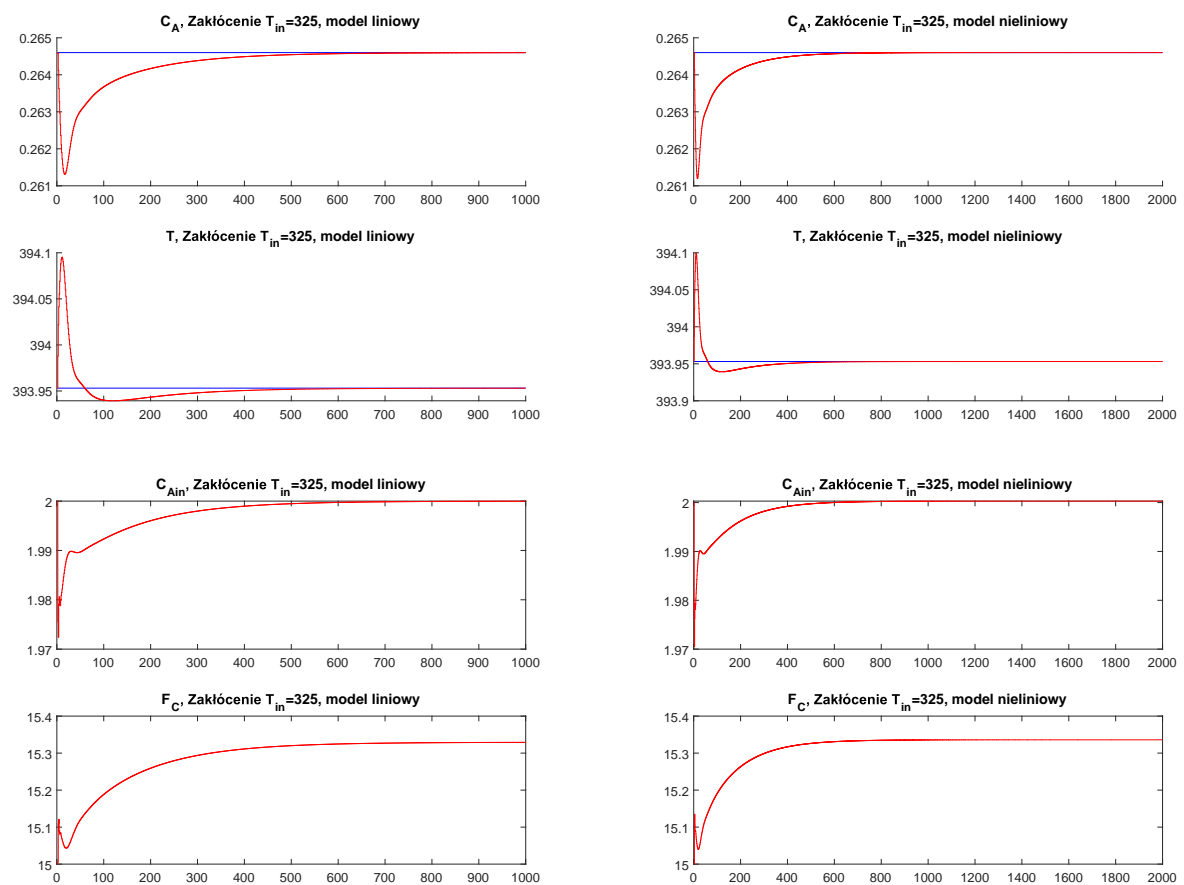
Rys. 2.2. Regulacja PID - skok wartości zadanej C_A do 0.37



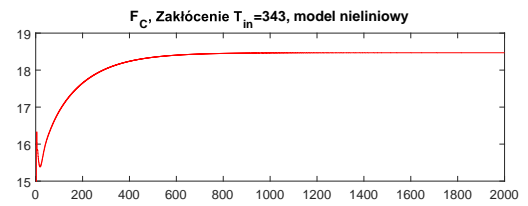
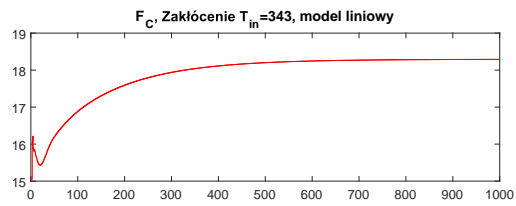
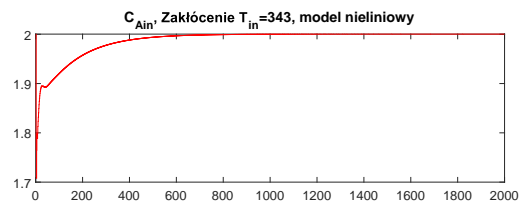
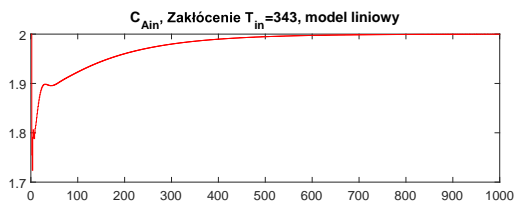
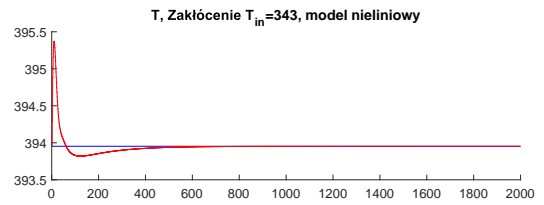
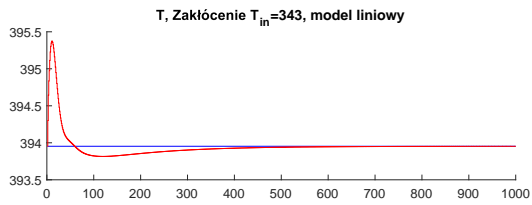
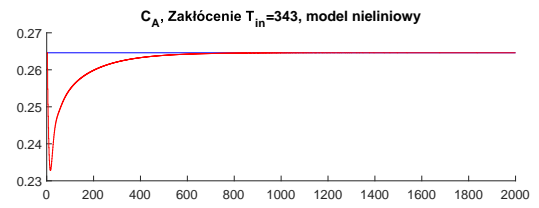
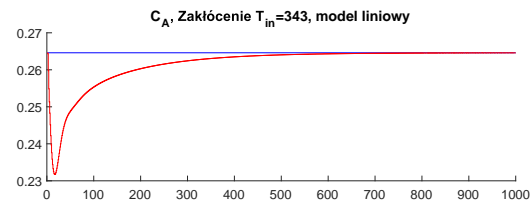
Rys. 2.3. Regulacja PID - skok wartości zadanej T do 395



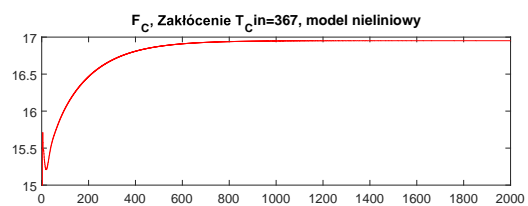
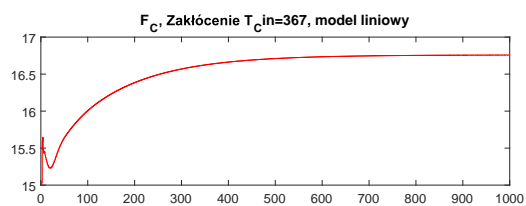
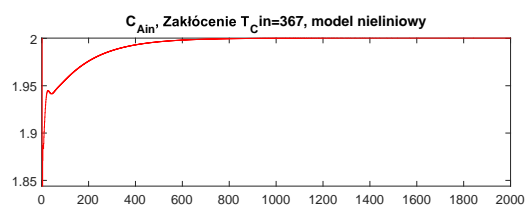
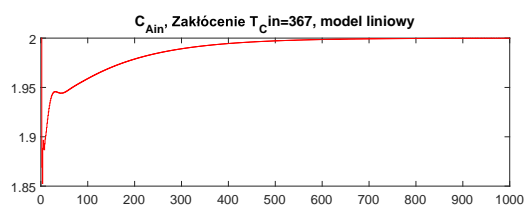
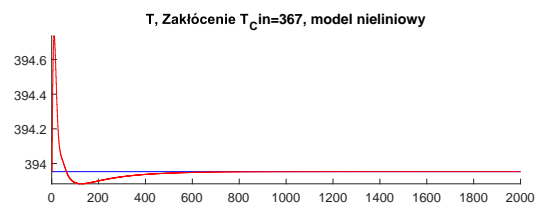
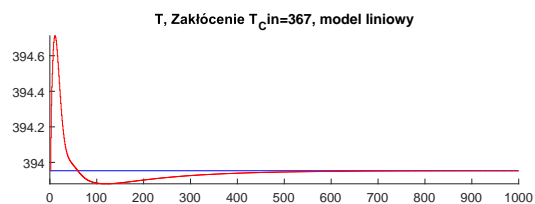
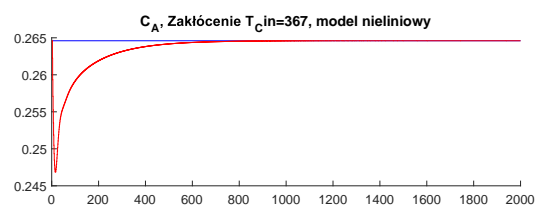
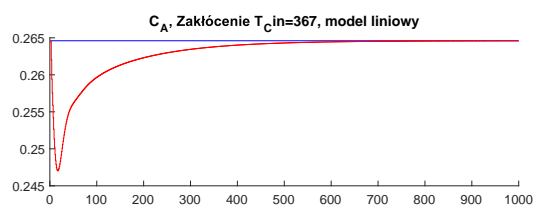
Rys. 2.4. Regulacja PID - skok wartości zadanej T do 425



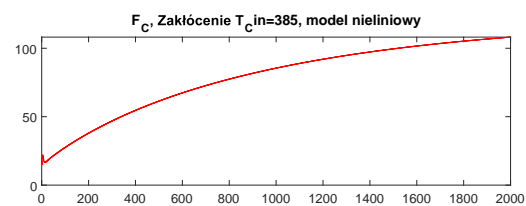
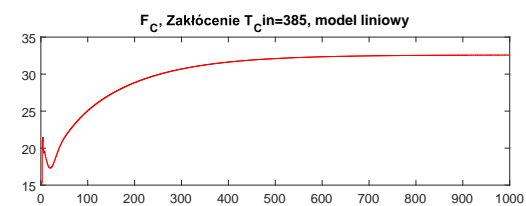
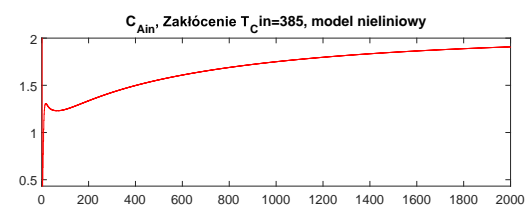
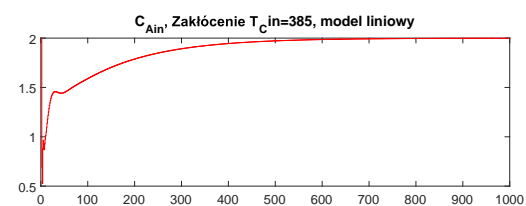
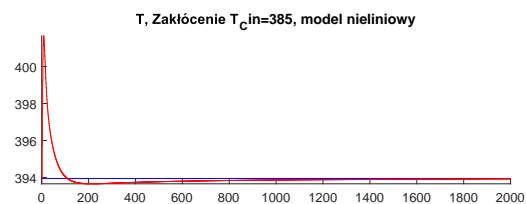
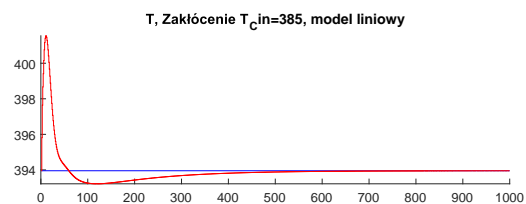
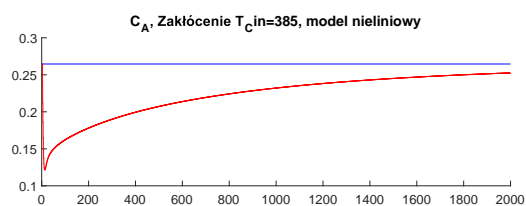
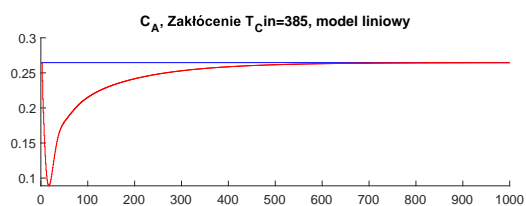
Rys. 2.5. Regulacja PID - skok zakłócenia T_{in} do 325



Rys. 2.6. Regulacja PID - skok zakłócenia T_{in} do 343



Rys. 2.7. Regulacja PID - skok zakłócenia T_{Cin} do 367



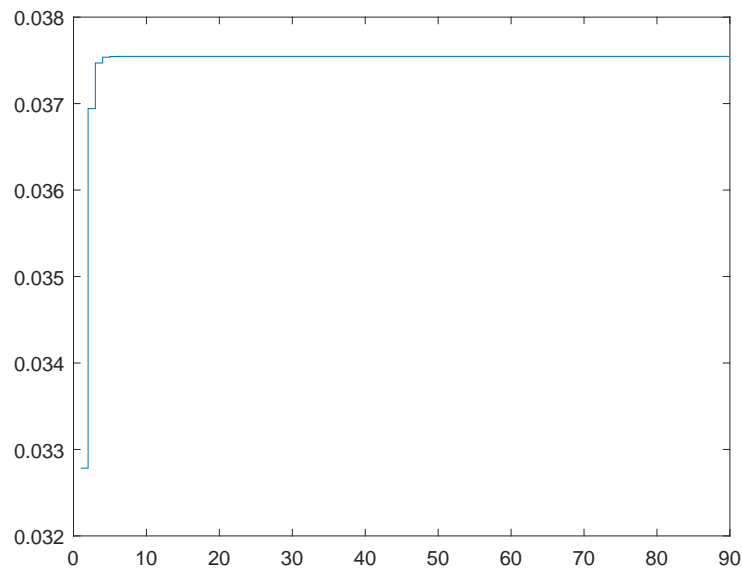
Rys. 2.8. Regulacja PID - skok zakłócenia T_{Cin} do 385

2.2. Regulacja DMC - analityczny

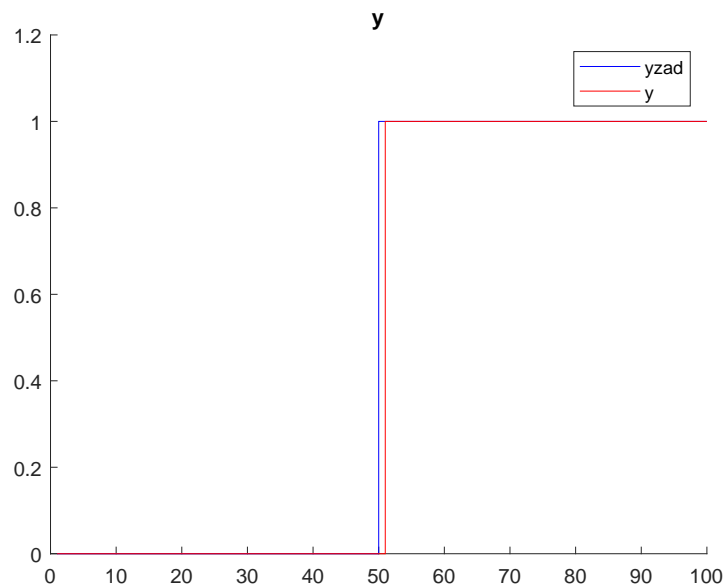
Zadaniem dla nas do implementacji algorytmem predykcyjnym jest DMC. Jego implementacja nie przysporzyła nam większych problemów. W celu przetestowania jej poprawności, wykorzystaliśmy DMC do wyregulowania obiektu zadanego przez prowadzącego o transmitancji ciągłej:

$$\frac{1}{30s + 1} \quad (2.2)$$

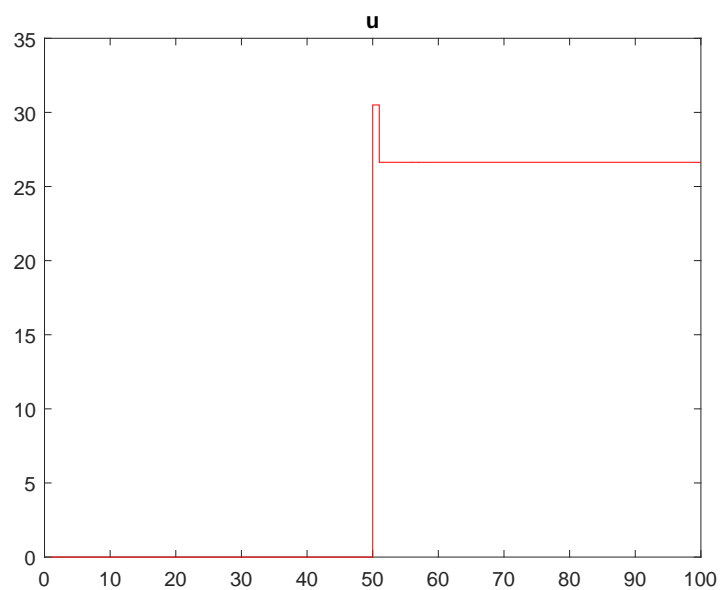
Odpowiedź skokowa obiektu oraz wyniki regulacji przedstawione są na poniższych wykresach 2.2, 2.2 oraz 2.2. Jak było przewidywane dla stałych $N=100$, $N_u=10$, $T_p=1s$ oraz $\lambda=0$ obiekt osiągnął wartość zadaną w jednym kroku. Zdecydowaliśmy się także zawrzeć następujące ograniczenia: $U_{min} = [0,1 \ 0,1]$, $U_{max} = [4 \ 30]$, $\Delta U_{max} = [1 \ 2]$.



Rys. 2.9. Odpowiedź skokowa dla obiektu od prowadzącego

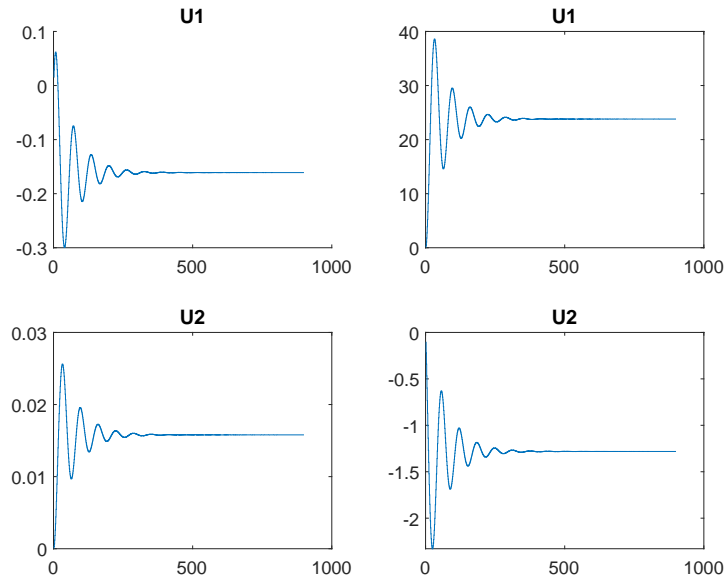


Rys. 2.10. Regulacja DMC analityczna dla obiektu od prowadzącego - wyjście

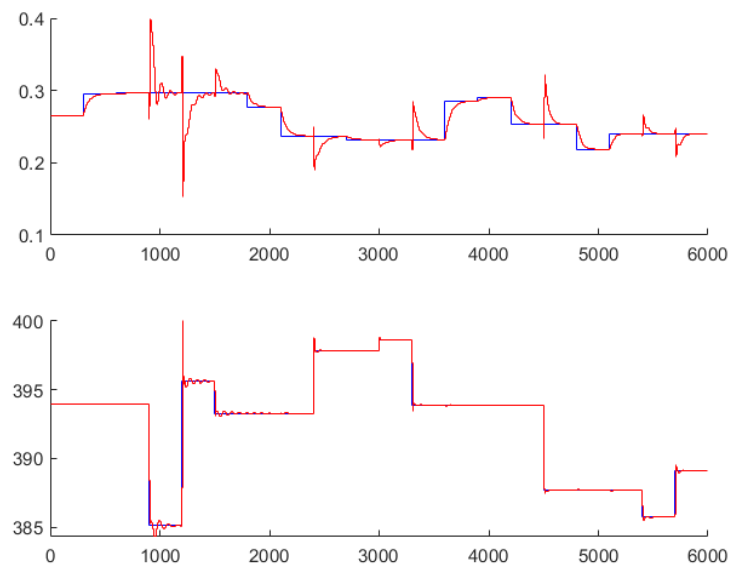


Rys. 2.11. Regulacja DMC analityczna dla obiektu od prowadzącego - sterowanie

Wiedząc, że algorytm regulacji działa poprawnie, przystosowaliśmy go dla naszego modelu obiektu. Odpowiedzi skokowe zostały przez nas wygenerowane z użyciem modelu zlinearyzowanego. Następnie dokonaliśmy regulacji na modelu nieliniowym. Parametry regulatora ustawiliśmy na następujące wartości: $D = 800$, $N = 100$, $N_u = 80$, $\lambda = [2 \ 0,1]$, $\psi = 1$. Odpowiedzi skokowe oraz działanie regulatora dla obiektu przedstawiono na poniższych wykresach od 2.2 do 2.2.

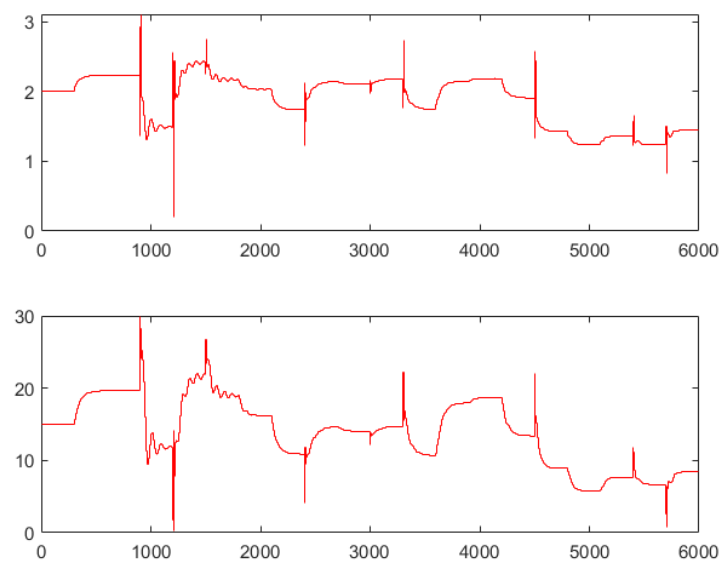


Rys. 2.12. Odpowiedź skokowa

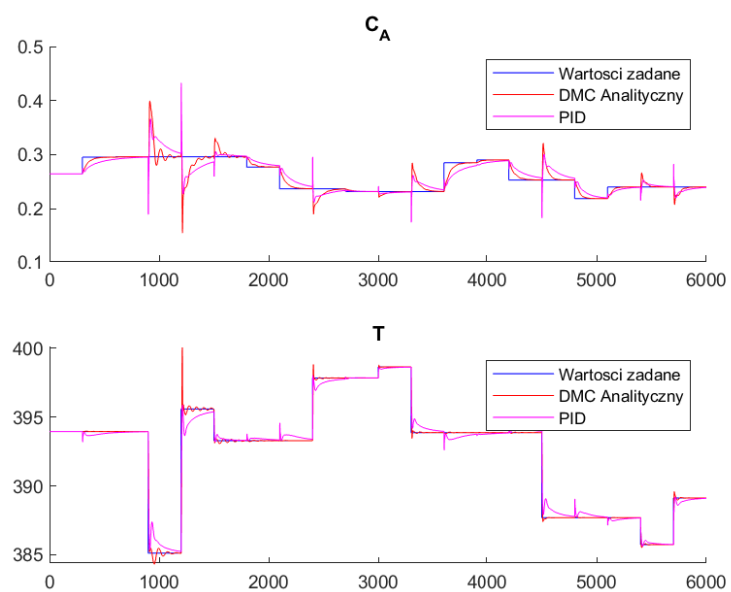


Rys. 2.13. Regulacja DMC analityczna - wyjście na tle wartości zadanej

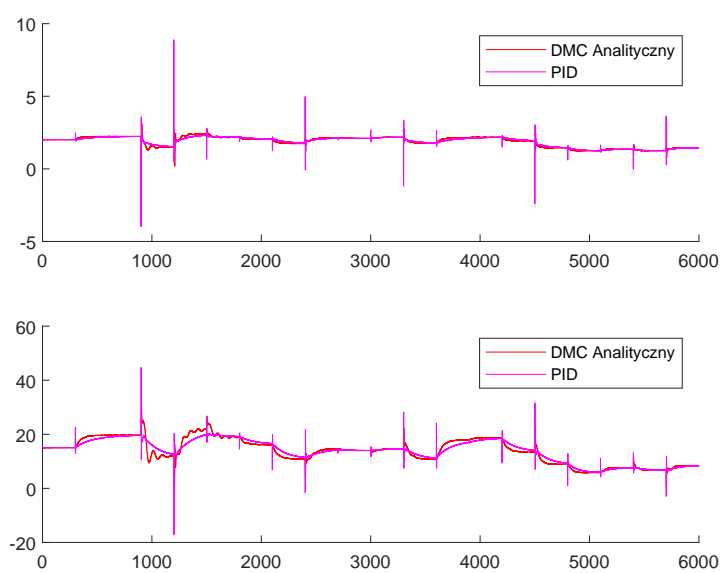
Pozostało jeszcze porównać działanie regulatora predykcyjnego z działaniem regulatora PID z poprzedniego podpunktu zadania. Efekt takowego porównania przedstawiony został na wykresie poniżej. Jak widać DMC radzi sobie dużo lepiej, ponieważ znacznie szybciej zbiega do wartości zadanej.



Rys. 2.14. Regulacja DMC analityczna - sterowanie



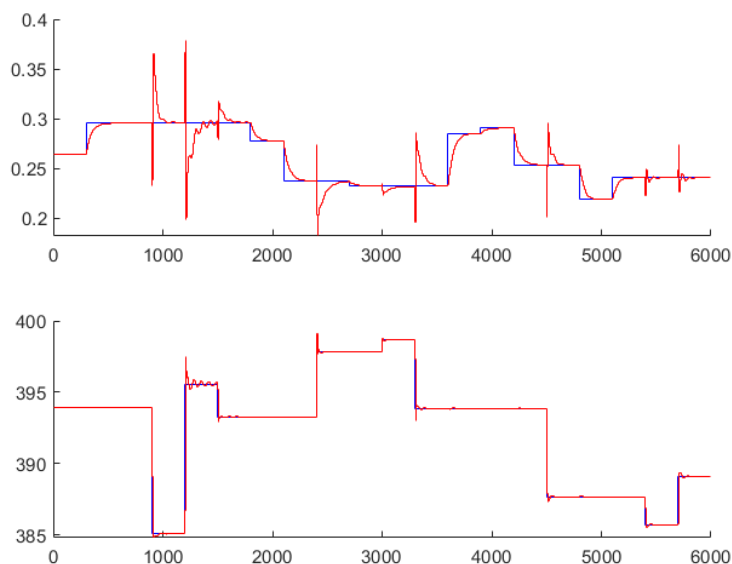
Rys. 2.15. Porównanie DMC i PID - wyjścia



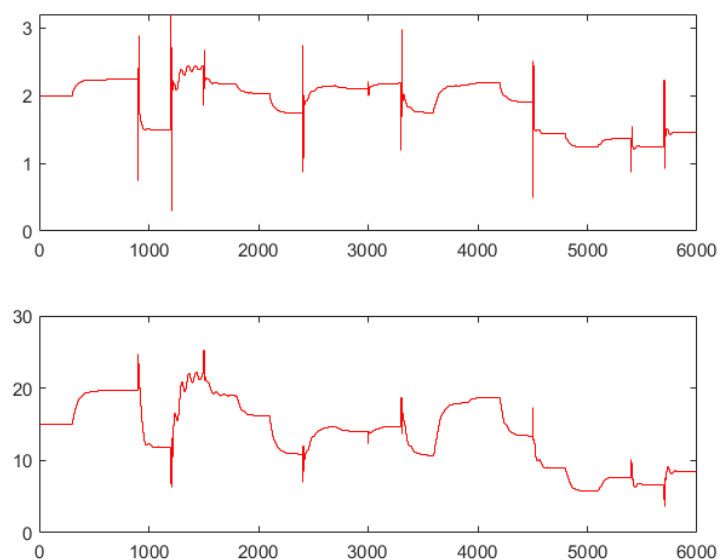
Rys. 2.16. Porównanie DMC i PID - sterowania

2.3. Regulacja DMC - numeryczny

W celu implementacji numerycznego regulatora DMC posłużyliśmy się metodą quadprog. Został on zrealizowany tak samo jak zaprezentowane to było w części wykładowej. Skorzystaliśmy także z wygenerowanych już dla algorytmu analitycznego odpowiedzi skokowych. Wszystkie horyzonty, parametry regulatora oraz ograniczenia także pozostawiliśmy takie same. Przebieg działania algorytmu numerycznego przedstawiliśmy na poniższych wykresach.

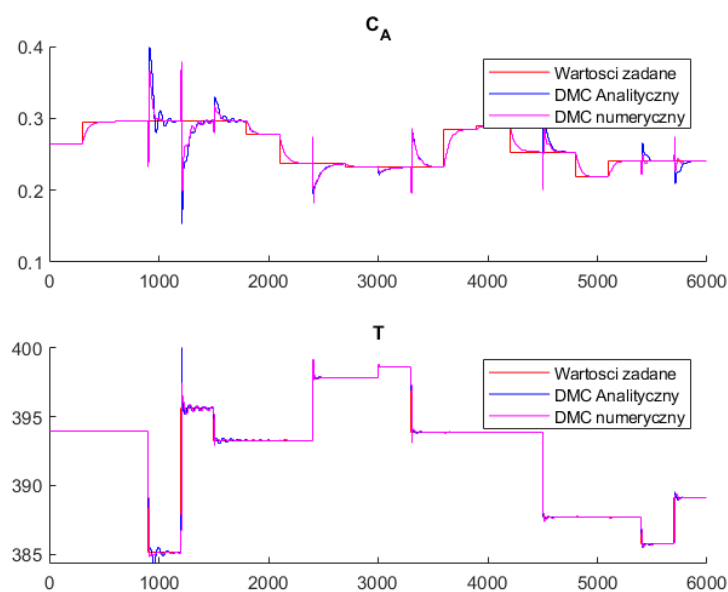


Rys. 2.17. Regulacja DMC numeryczna - wyjście na tle wartości zadanej

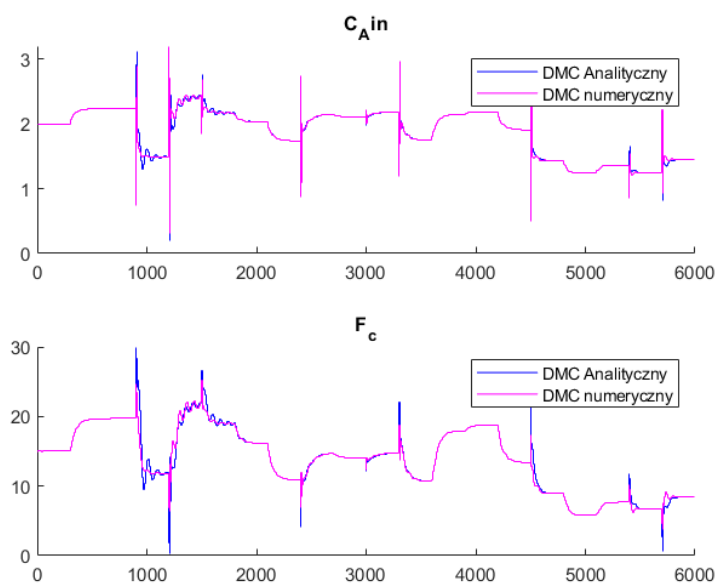


Rys. 2.18. Regulacja DMC numeryczna - sterowanie

Mając regulator numeryczny należałoby zatem porównać go z analitycznym. Działanie prezentowanych powyżej algorytmów DMC najłatwiej porównać będzie prezentując je na wspólnym rysunku. Zgodnie z oczekiwaniami, regulacja przebieg w podobny sposób dla obu implementacji regulatora. W obu przypadkach występują oscylacje wyjścia przy dużych skokach wartości zadanej dla wyjścia T procesu. Dla niewielkich skoków, regulatory porównywalnie szybko sprowadzają wartość wyjścia T do zadanego poziomu. Wyjście CA również zachowuje porównywalny przebieg przy zastosowaniu regulatora analitycznego, czy numerycznego. Ta zmienna wyjściowa, nieco wrażliwsza w regulacji, a oba typy regulatorów spowodowały zbliżony, a często pokrywający się przebieg, z podobnymi wysokościami przeregulowania. Należy jednak zaznaczyć, że mimo podobieństwa wyników i przebiegu sterowań, obliczenia dla algorytmu numerycznego trwały znacznie dłużej niż dla analitycznego.



Rys. 2.19. Regulacja DMC analityczna i numeryczna - wyjścia



Rys. 2.20. Regulacja DMC analityczna i numeryczna - sterowanie