

Politechnika Warszawska

Inżynieria Procesów Przemysłowych

Projekt nr 5

Wykonali:
Bartłomiej Guś,
ŁJ,
gr. IPAUT-161

Warszawa 2020/2021

Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Model układu.....	3
3. Podstawy fizyczne.....	4
4. Model układu w Simulinku	6
4.1. Cały model.....	6
4.2. Blok regulacji	7
4.3. Blok transferu ciepła pochodzący od dostarczanej pary/wody wymiany ciepła	8
4.4. Blok C_A	8
4.5. Blok C_B	9
4.6. Blok k_1	9
4.7. Blok k_2	9
5. Wykresy i wnioski	10
5.1. Dla warunków początkowych z wykładu	10
5.2. Początkowe nagrzanie i chłodzenie po 20 minutach	12
5.3. Początkowe nagrzanie i chłodzenie po 40 minutach	14
5.4. Początkowe nagrzanie i liniowe chłodzenie po 20 minutach	16
5.5. Utrzymywanie temperatury 0 F	17
6. Nasz cel: uzyskać składnik B powyżej 0,75 w jak najkrótszym czasie	19
7. Wnioski końcowe.....	20
8. Wygląd okna	21
9. Kod źródłowy programu	22

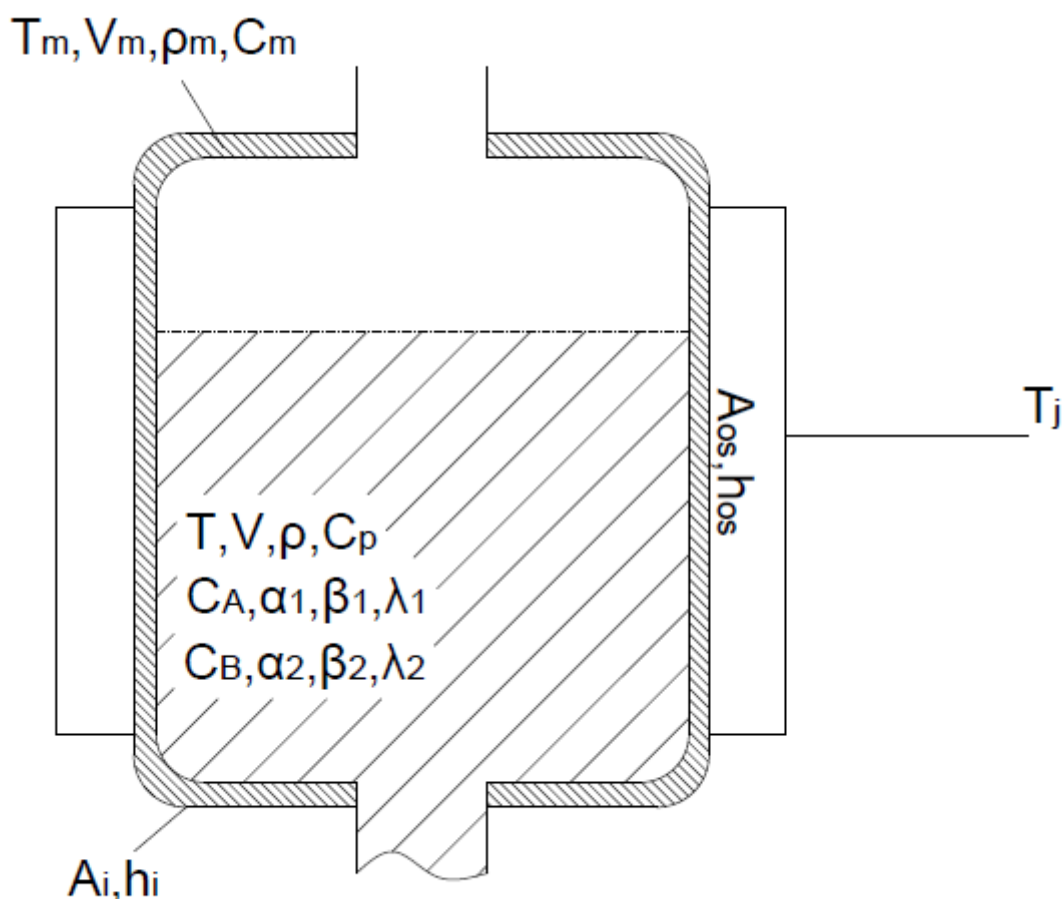
1. Wstęp

Celem niniejszego projektu jest zamodelowanie modelu, za pomocą którego mogliśmy obliczać skład mieszaniny. Podczas modelowania posłużyliśmy się oprogramowaniem firmy MATLAB, który w łatwy sposób pozwolił wykonywać nam wiele tysięcy obliczeń oraz modelować wykresy. Również za pośrednictwem tego oprogramowania dokonaliśmy analizy wariantowej, w której to sterowaliśmy temperaturą pary jak i jej charakterem, co skutkowało zmianą szybkości przemian.

Założenia projektu to:

- brak wymiany ciepła z otoczeniem
- identyczna temperatura całej ścianki zbiornika
- idealne mieszadło dzięki, któremu otrzymujemy tą samą temperaturę w całej mieszaninie oraz identyczny skład mieszaniny w całej jej objętości
- niezmiennie wartości współczynników np. wnikania ciepła na całej powierzchni

2. Model układu



Rysunek 1 - Schemat układu

3. Podstawy fizyczne

Zmiana ilości składnika C_A w mieszaninie:

$$\frac{dC_A}{dt} = -k_1 \cdot C_A$$

Zmiana ilości składnika C_B w mieszaninie:

$$\frac{dC_B}{dt} = k_1 \cdot C_A - k_2 \cdot C_B$$

Ilość składnika C_C w mieszaninie:

$$C_C = 1 - C_A - C_B$$

Zmiana temperatury mieszaniny w zbiorniku:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{-\lambda_1}{\rho \cdot C_p} \cdot k_1 \cdot C_A - \frac{-\lambda_2}{\rho \cdot C_p} \cdot k_2 \cdot C_B - \frac{Q_M}{V \cdot \rho \cdot C_p}$$

Strumień ciepła przekazywany od ścianek zbiornika do mieszaniny:

$$Q_M = h_i \cdot A_i \cdot (T - T_M)$$

Zmiana temperatury ściany zbiornika:

$$\frac{dT_M}{dt} = \frac{Q_M - Q_J}{\rho_M \cdot C_M \cdot V_M}$$

Strumień ciepła przekazywany od nagrzanej pary/wody do ścianek zbiornika:

$$Q_J = -h_{os} \cdot A_{os} \cdot (T_J - T_M)$$

Szybkość przekazywania ciepła:

$$k = \alpha \cdot e^{\frac{\beta}{1,99(T+460)}}$$

gdzie:

$$\alpha_1 = 729,55 \frac{1}{min}$$

$$\alpha_2 = 6567,6 \frac{1}{min}$$

$$\beta_1 = -15000 \frac{Btu}{lb \cdot mol}$$

$$\beta_2 = -20000 \frac{Btu}{lb \cdot mol}$$

$$\lambda_1 = -40000 \frac{Btu}{lb \cdot mol}$$

$$\lambda_2 = -50000 \frac{Btu}{lb \cdot mol}$$

C_p – ciepło właściwe mieszaniny przyjmujemy: $1 \frac{Btu}{lbm \cdot F}$

ρ – gęstość mieszaniny przyjmujemy: $50 \frac{lbm}{ft^3}$

V – objętość mieszaniny przyjmujemy: $42,5 ft^3$

h_i – współczynnik wnikanie ciepła pomiędzy ściankami zbiornika a mieszaniną przyjmujemy: $50 \frac{Btu}{h \cdot F \cdot ft^2}$

A_i – pole powierzchni na której następuje transfer ciepła pomiędzy ściankami zbiornikiem a mieszaniną przyjmujemy: $56,5 ft^2$

C_m – ciepło właściwe ścianek zbiornika przyjmujemy: $0,12 \frac{Btu}{lbm \cdot F}$

ρ_m – gęstość ścianek zbiornika przyjmujemy: $512 \frac{lbm}{ft^3}$

V_m – objętość ścianek zbiornika przyjmujemy: $9,42 ft^3$

h_{os} – współczynnik wnikanie ciepła pomiędzy parą/wodą a ściankami zbiornika przyjmujemy: $1000 \frac{Btu}{h \cdot F \cdot ft^2}$

A_{os} – pole powierzchni na której następuje transfer ciepła pomiędzy parą/wodą a ściankami zbiornika przyjmujemy: $56,5 ft^2$

T_j – temperatura pary przyjmujemy: 80 F

T_M – temperatura ścianek zbiornika przyjmujemy: 80 F

T – temperatura mieszaniny przyjmujemy: 80 F

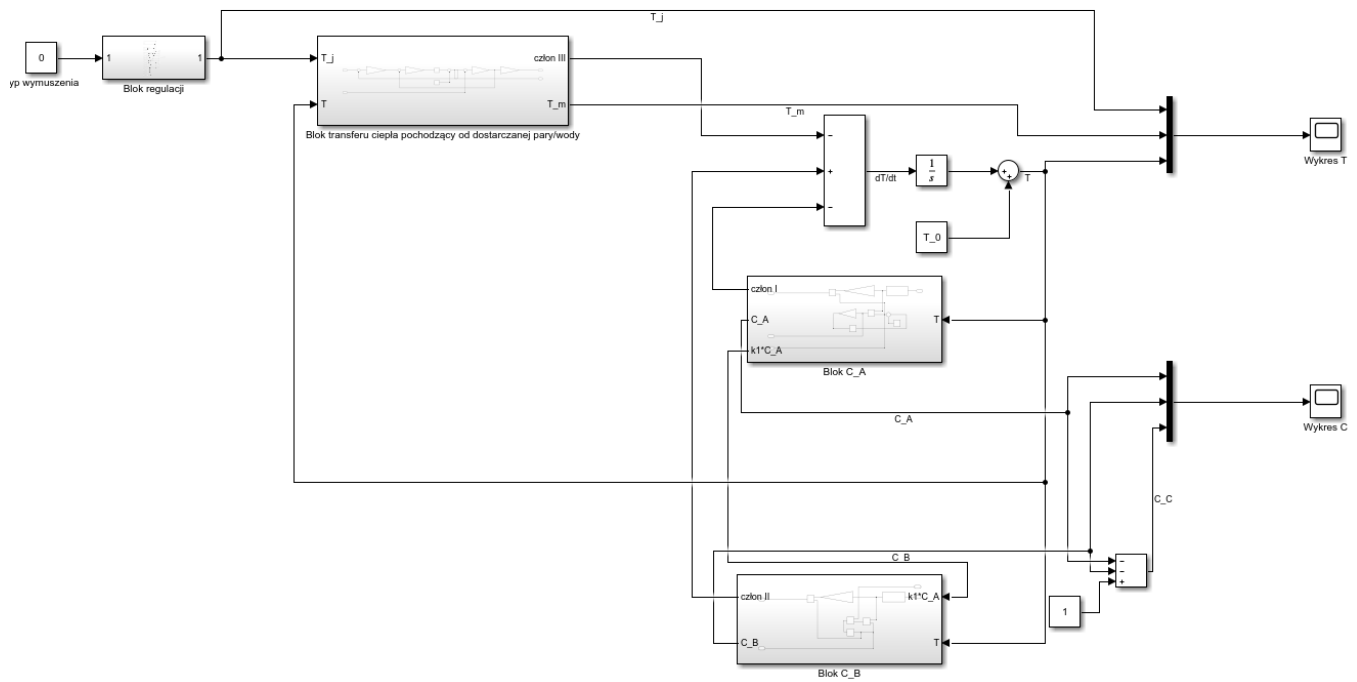
C_A – ilość składnika A do całej objętości przyjmujemy: $1 \frac{lbmol}{ft^3}$

C_B – ilość składnika B do całej objętości przyjmujemy: $0 \frac{lbmol}{ft^3}$

C_C – ilość składnika C do całej objętości przyjmujemy: $0 \frac{lbmol}{ft^3}$

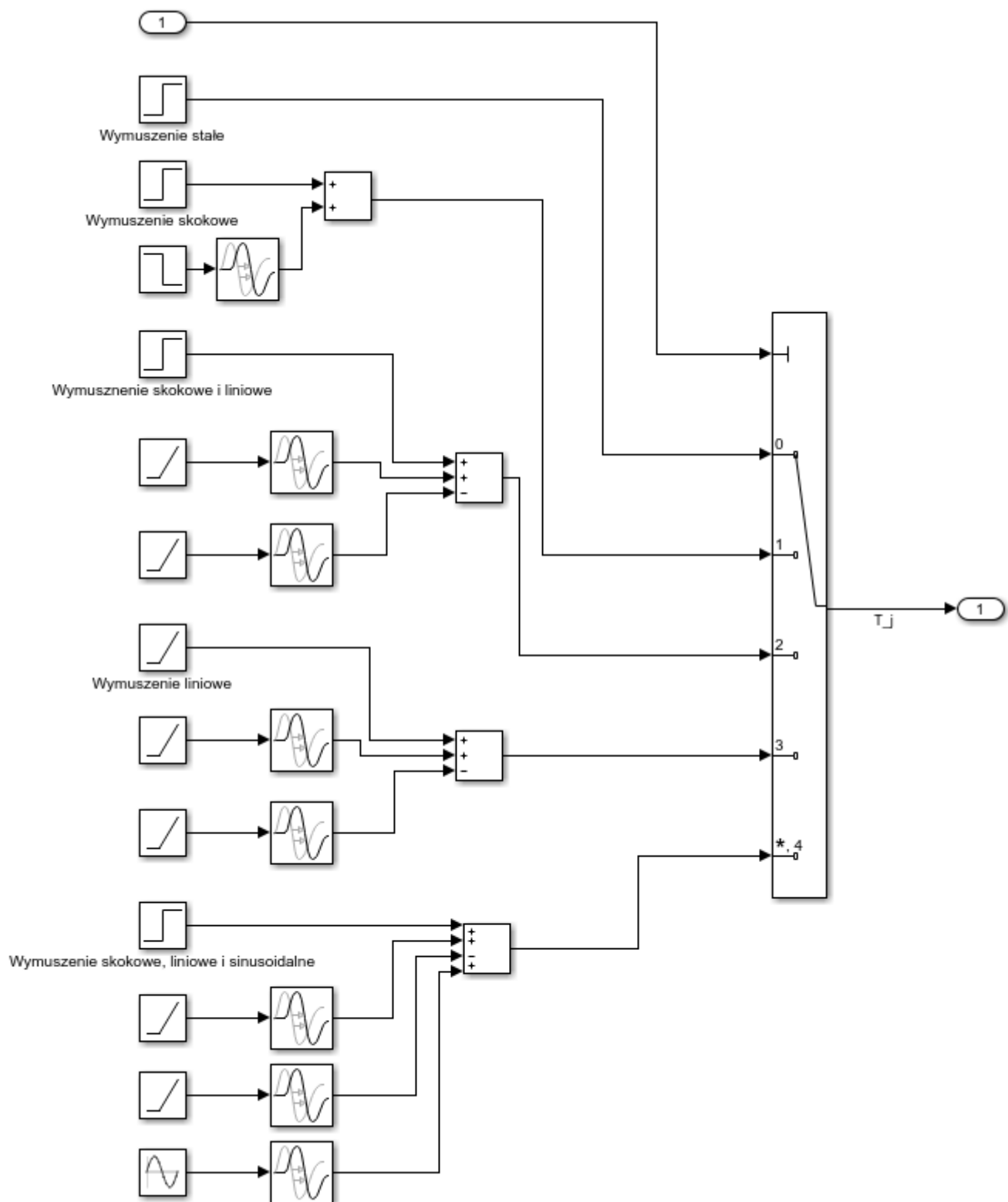
4. Model układu w Simulinku

4.1. Cały model



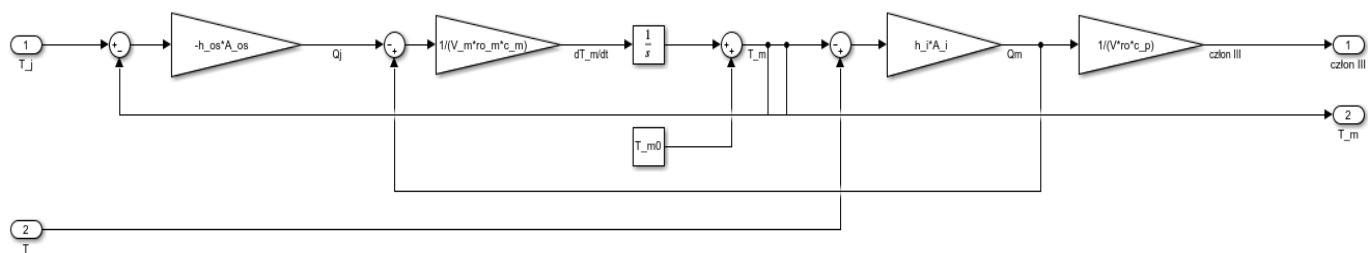
Rysunek 2 - Cały model w Simulinku

4.2. Blok regulacji



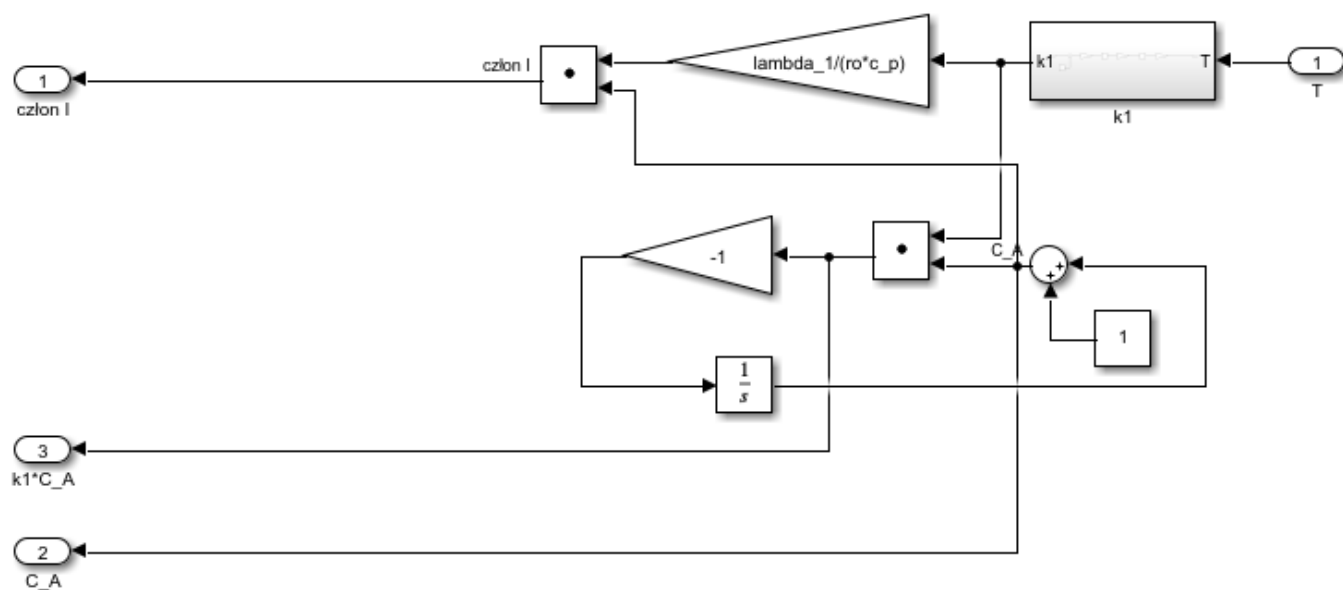
Rysunek 3 - Blok regulacji

4.3. Blok transferu ciepła pochodzący od dostarczanej pary/wody wymiany ciepła



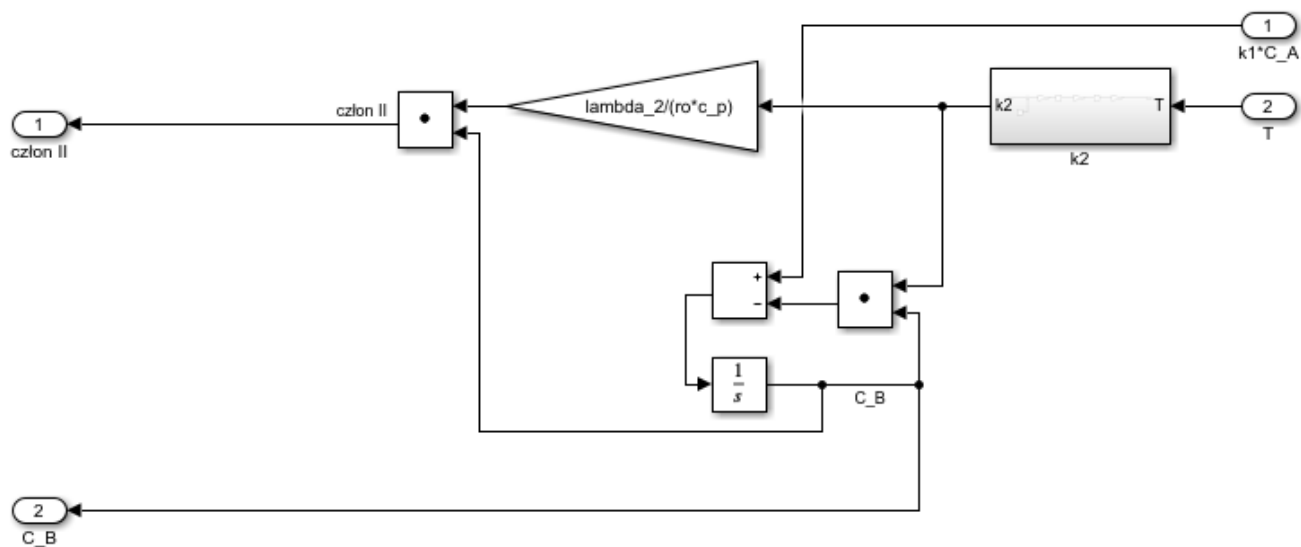
Rysunek 4 - Blok transferu ciepła od wody/pary

4.4. Blok C_A



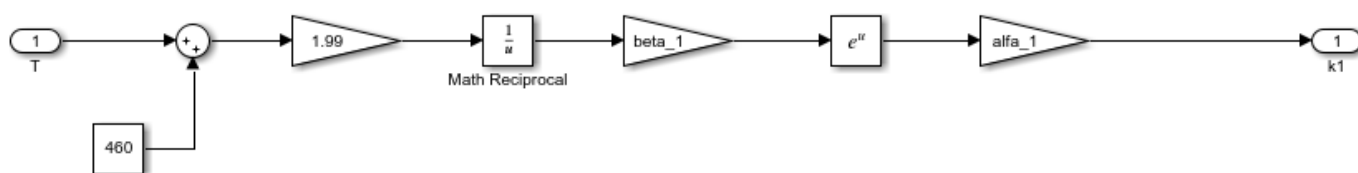
Rysunek 5 - Blok C_A

4.5. Blok C_B



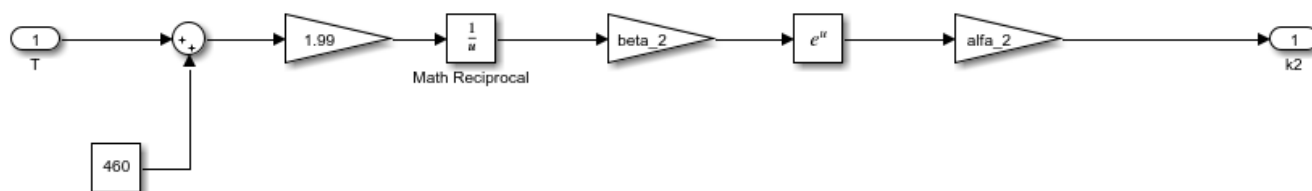
Rysunek 6 - Blok C_B

4.6. Blok k_1



Rysunek 7 - Blok k_1

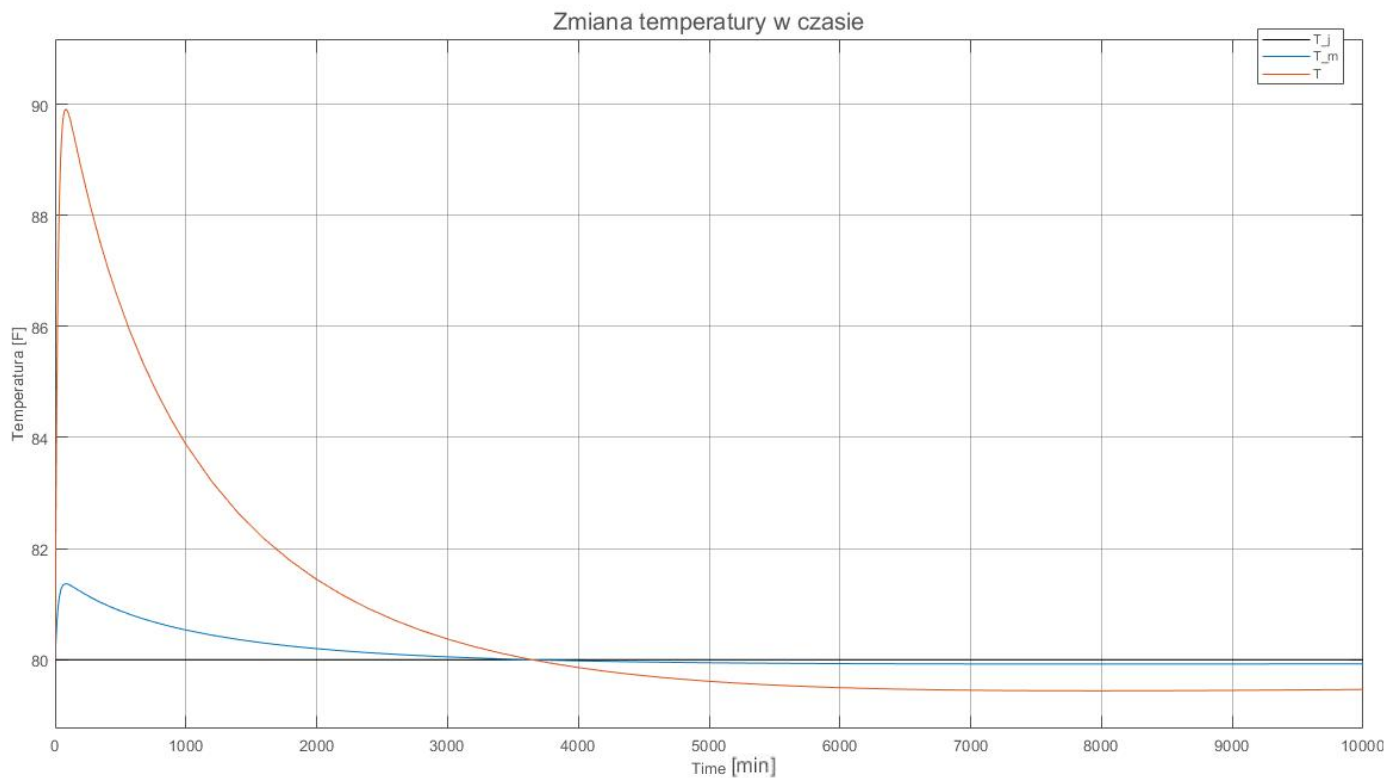
4.7. Blok k_2



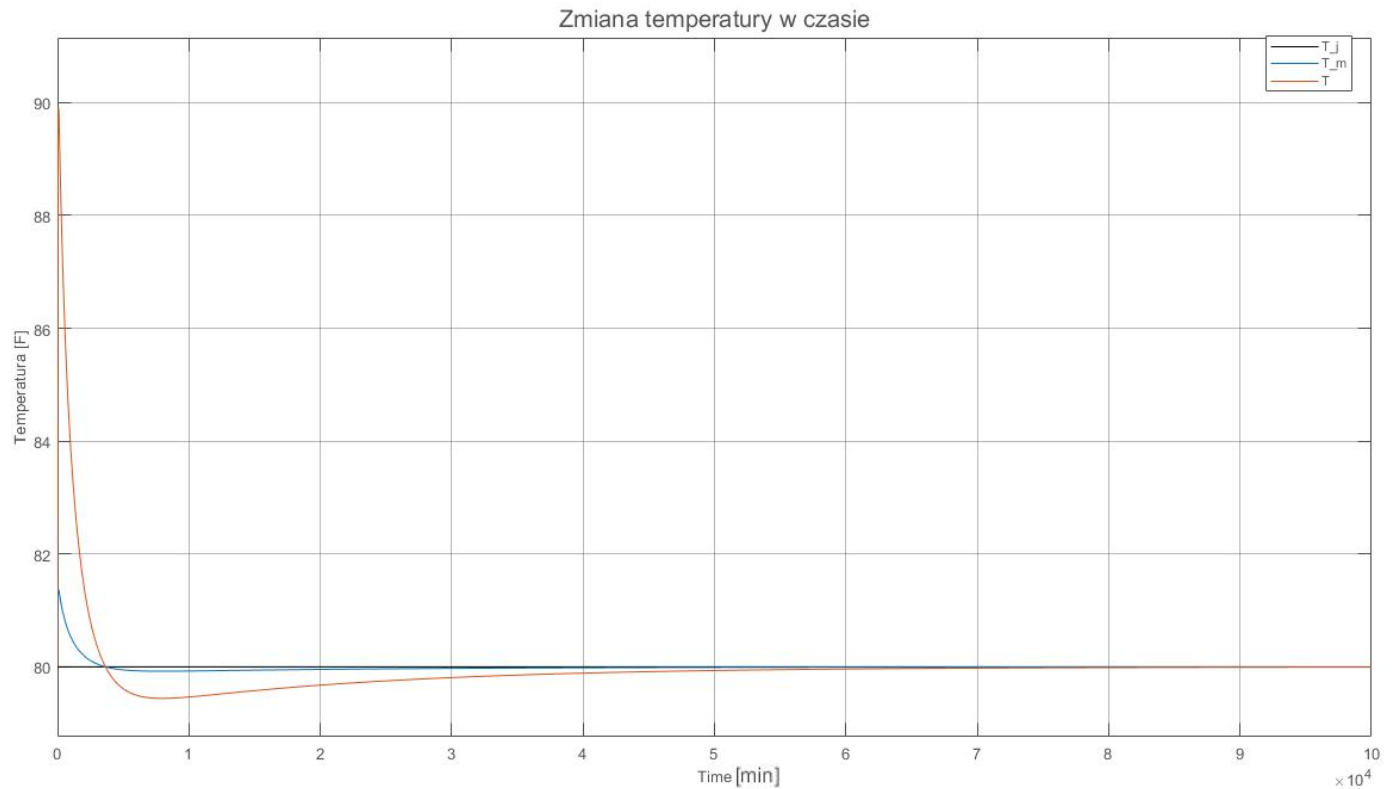
Rysunek 8 - Blok k_2

5. Wykresy i wnioski

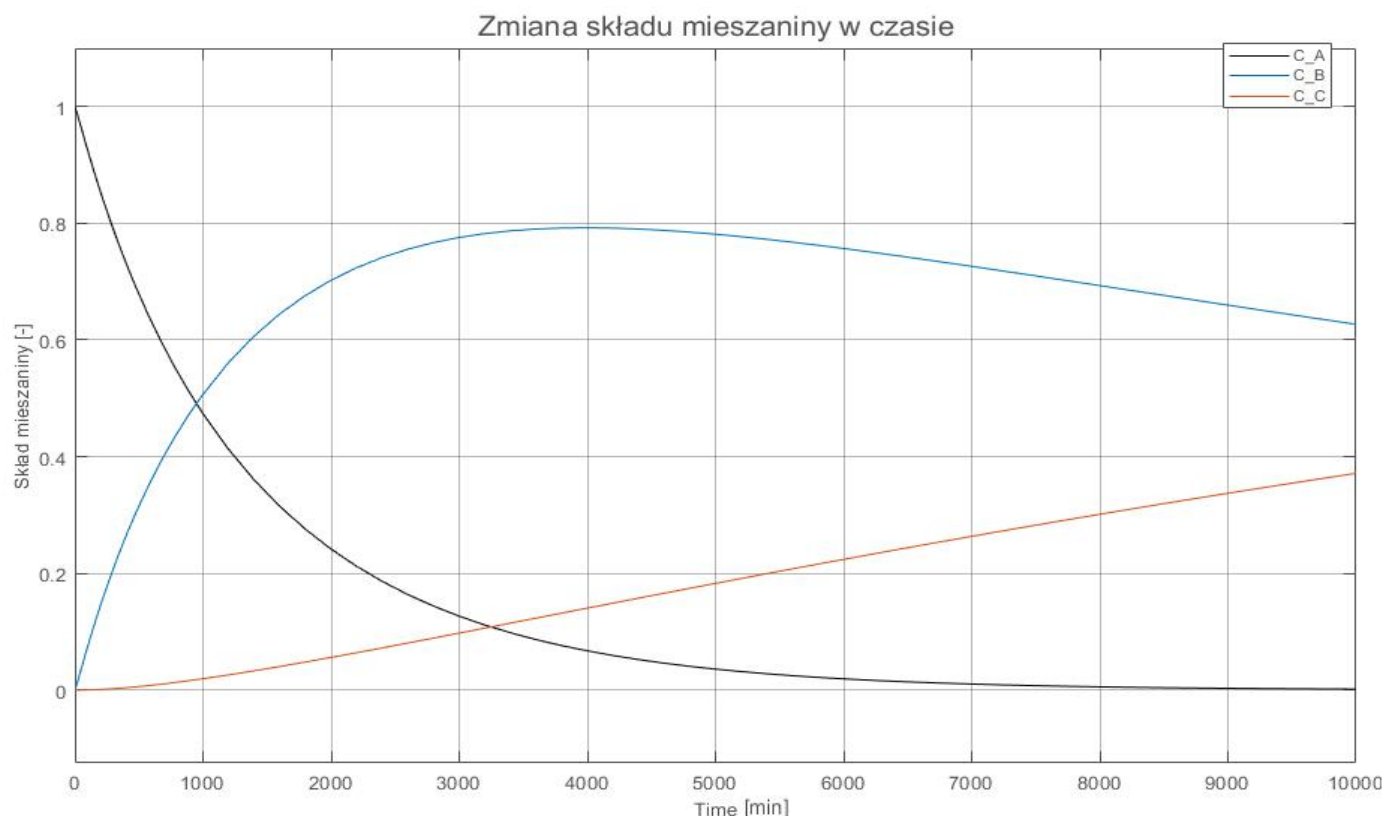
5.1. Dla warunków początkowych z wykładu



Rysunek 9 - Zmiana temperatury w czasie



Rysunek 10 – Wydłużenie poprzedniego wykresu: Zmiana temperatury w czasie do 10 000 minut

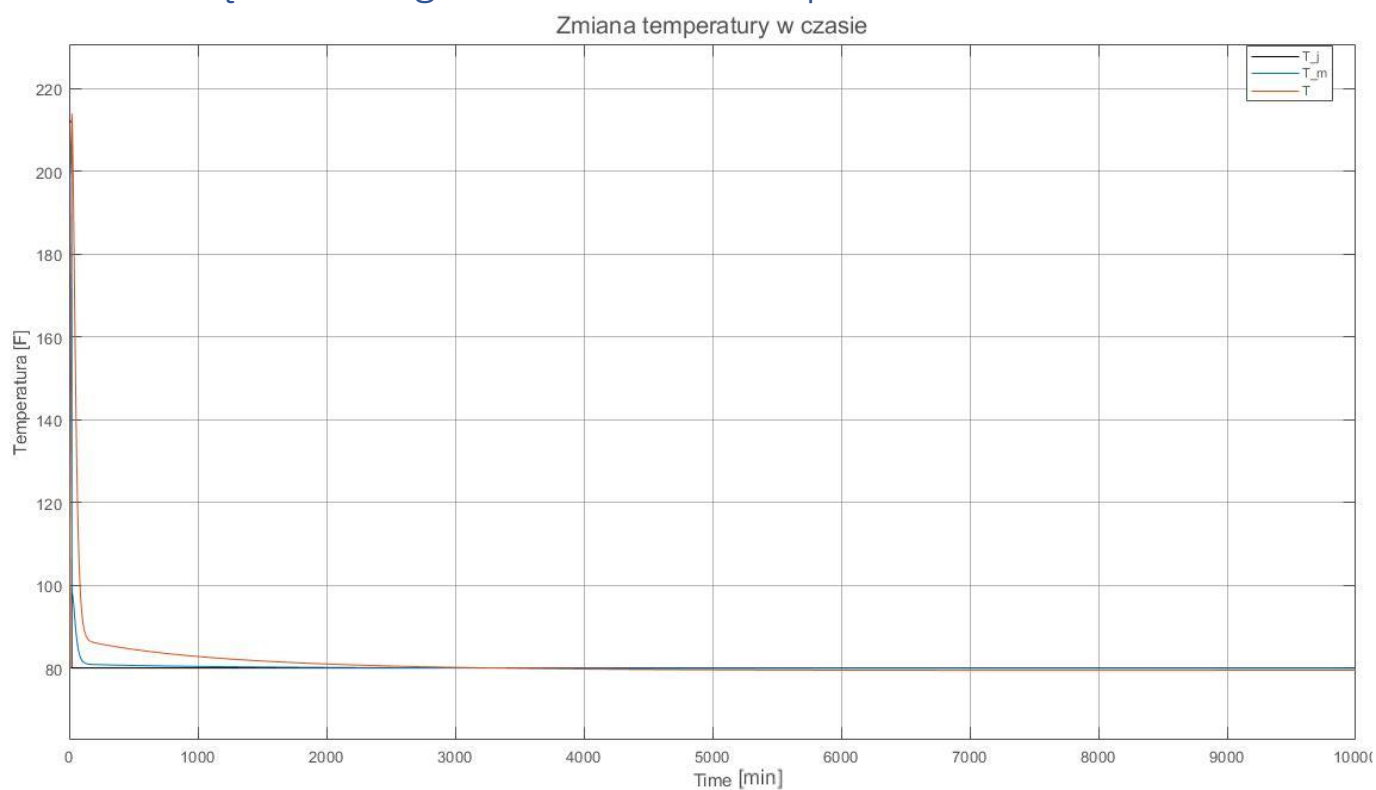


Rysunek 11 - Zmiana składu mieszaniny w czasie

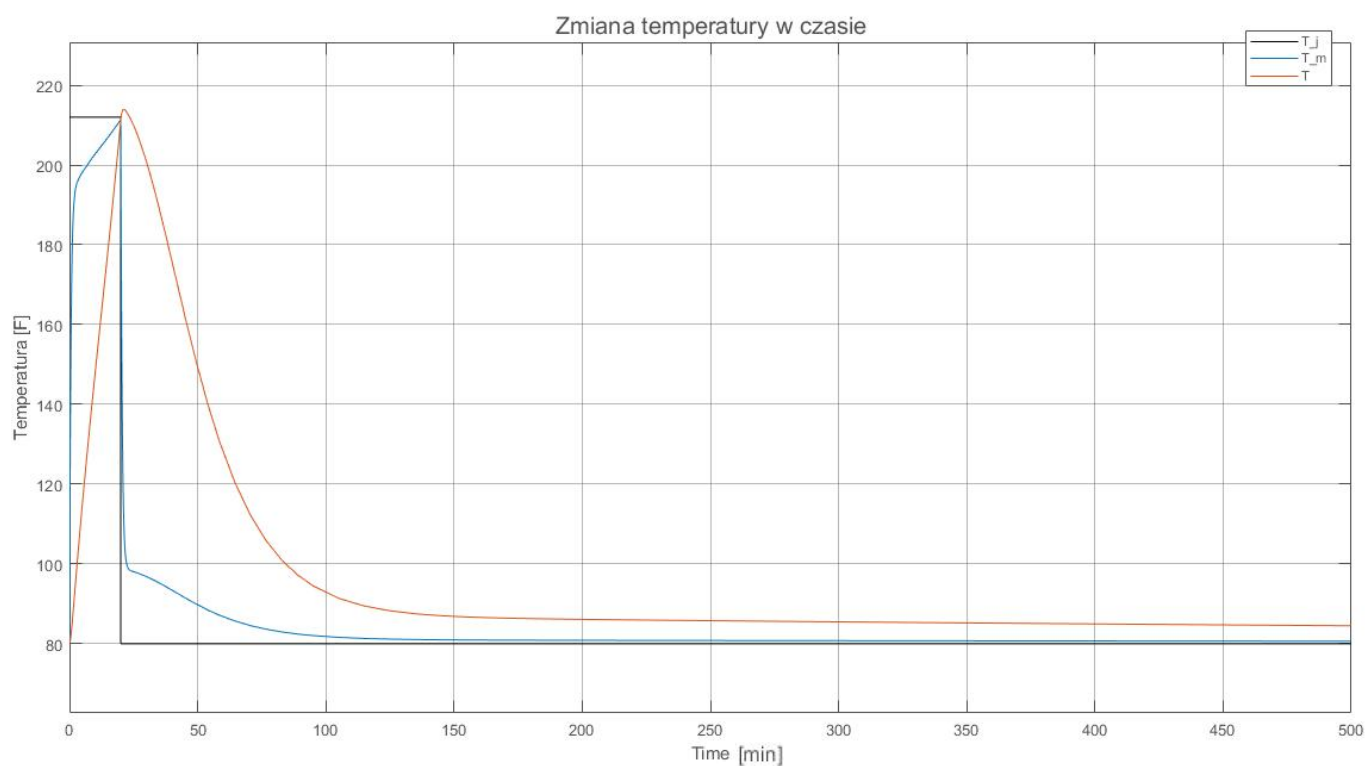
Wnioski:

Powyższe wykresy prezentują przemianę substancji A w B i B w C, która zachodzi nawet w temperaturze otoczenia (80 F). Największą ilość składnika B w mieszaninie otrzymaliśmy około 0,8 po czasie 4 000 minut. Na pierwszym wykresie możemy zauważyć wzrost temperatury mieszaniny powyżej temperatury otoczenia, a następnie jej spadek poniżej temperatury płaszcza. Jest to spowodowane tym, że najpierw zachodziła przemiana A w B, która jest przemianą egzotermiczną, czyli było wydzielane ciepło do reaktora. A później głównie przemiana B w C, która jest przemianą endotermiczną, czyli było pobierane ciepło z reaktora. Na wykresie 3 możemy zauważyć powrót temperatury mieszaniny do temperatury otoczenie po około 60 000 minut świadczy to o tym, że nie zachodziły już lub zachodziło bardzo mało reakcji. Analizując drugi wykres możemy zauważyć, że ilość przemian jednego składnika w drugi jest proporcjonalna do zawartości pierwszego składnika w mieszaninie, dlatego na początku szybko spada zawartość składnika A i szybko wzrasta zawartość składnika B, a później spowalnia się ten proces wraz z zmniejszeniem się składnika A. W tym samym momencie zaczyna rosnąć szybkość pojawiania się składnika C przez zwiększenie się ilości składnika B, a następnie po osiągnięciu maksymalnej ilości składnika B zauważamy także zmniejszanie się szybkości pojawiania się składnika C.

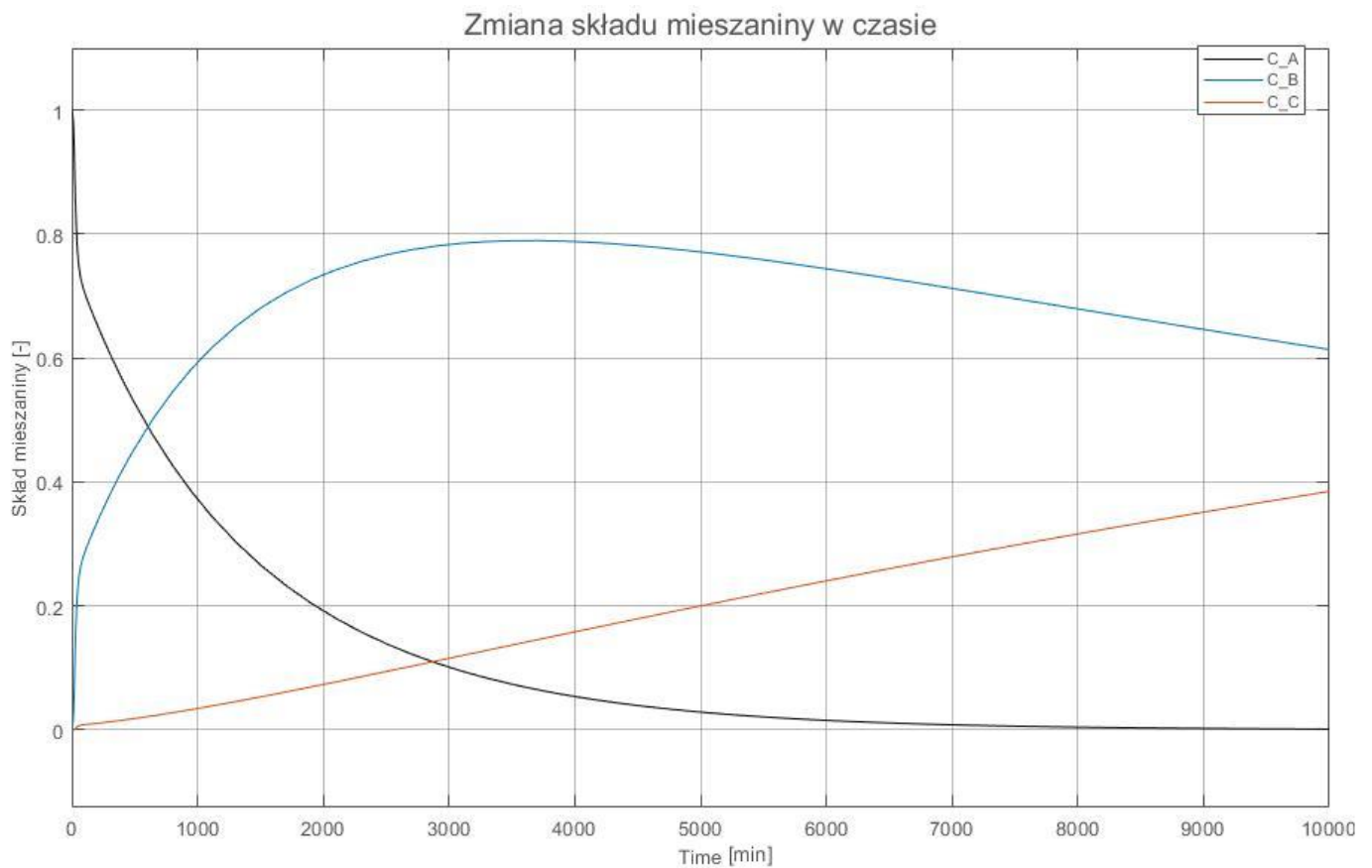
5.2. Początkowe nagrzanie i chłodzenie po 20 minutach



Rysunek 12 - Zmiana temperatury w czasie



Rysunek 13 - Zbliżenie poprzedniego wykresu: Zmiana temperatury w czasie od 0 do 500 minut

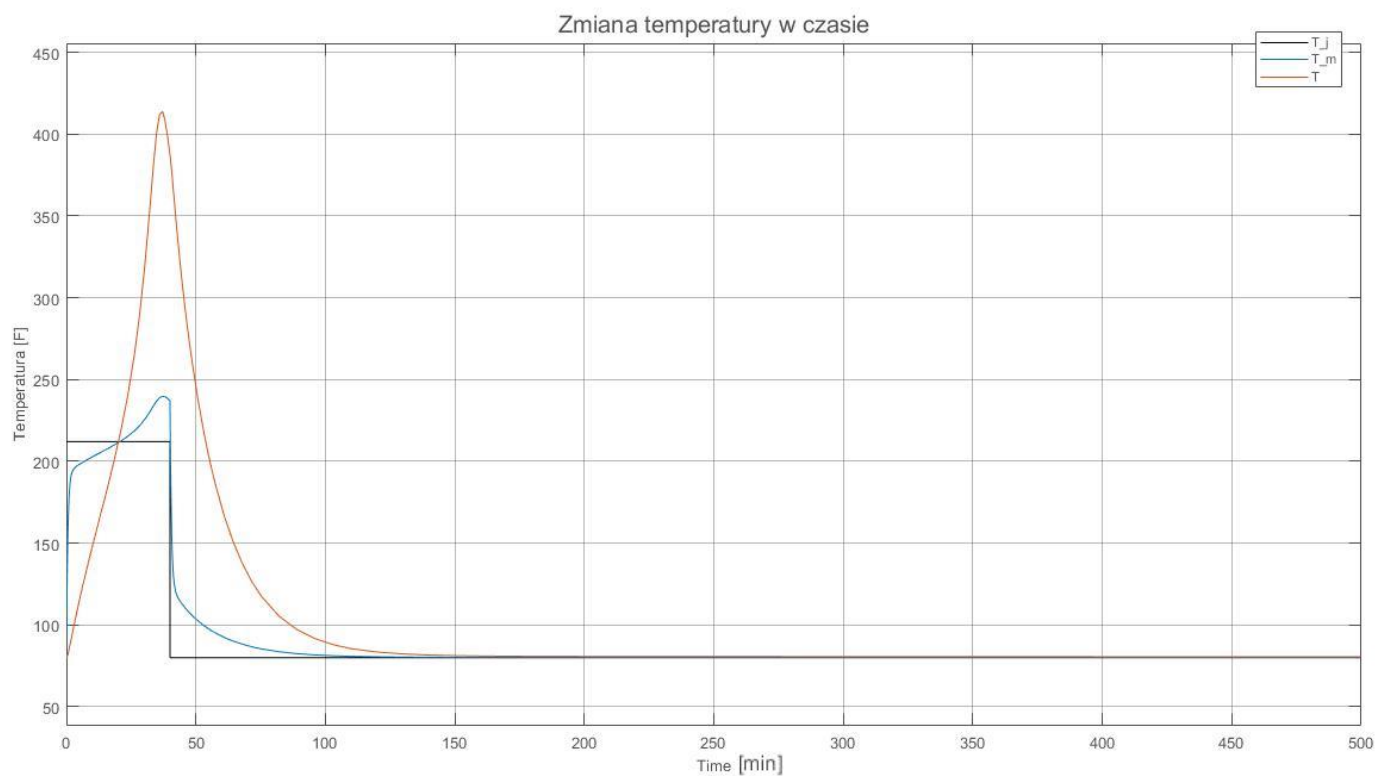


Rysunek 14 - Zmiana składu mieszaniny w czasie

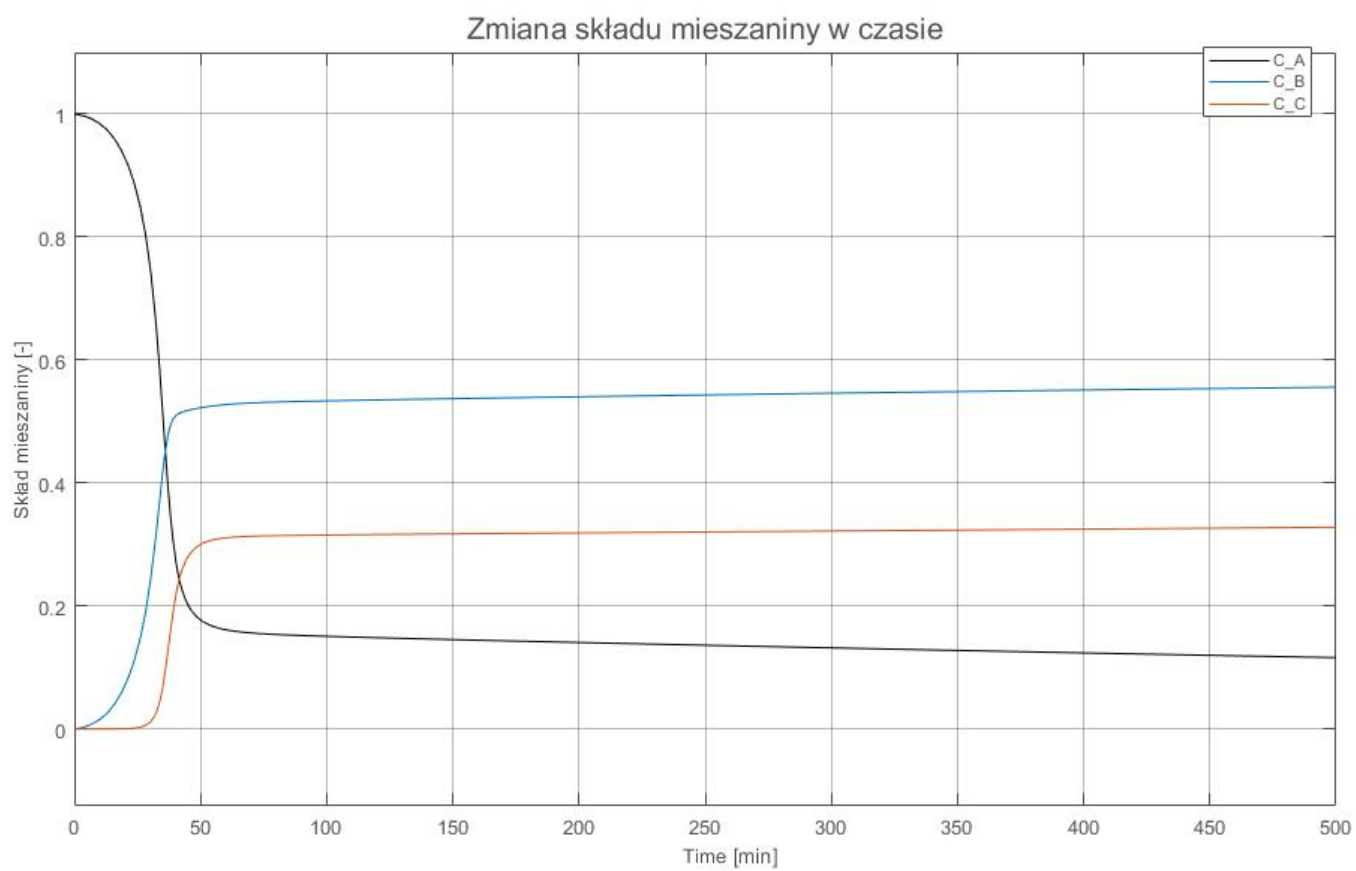
Wnioski:

Możemy zauważyć, że przy początkowym nagrzaniu do temperatury 212 F i szybkim chłodzeniu po 20 minutach do temperatury otoczenia 80 F maksymalna zawartość składnika B praktycznie się nie zmieniła. Jedynie za pomocą początkowego nagrzania otrzymaliśmy szybciej o 500 minut maksymalną zawartość składnika B niż w przypadku 5.1. Jest to spowodowane tym, że w wyższej temperaturze reakcje szybciej zachodziły.

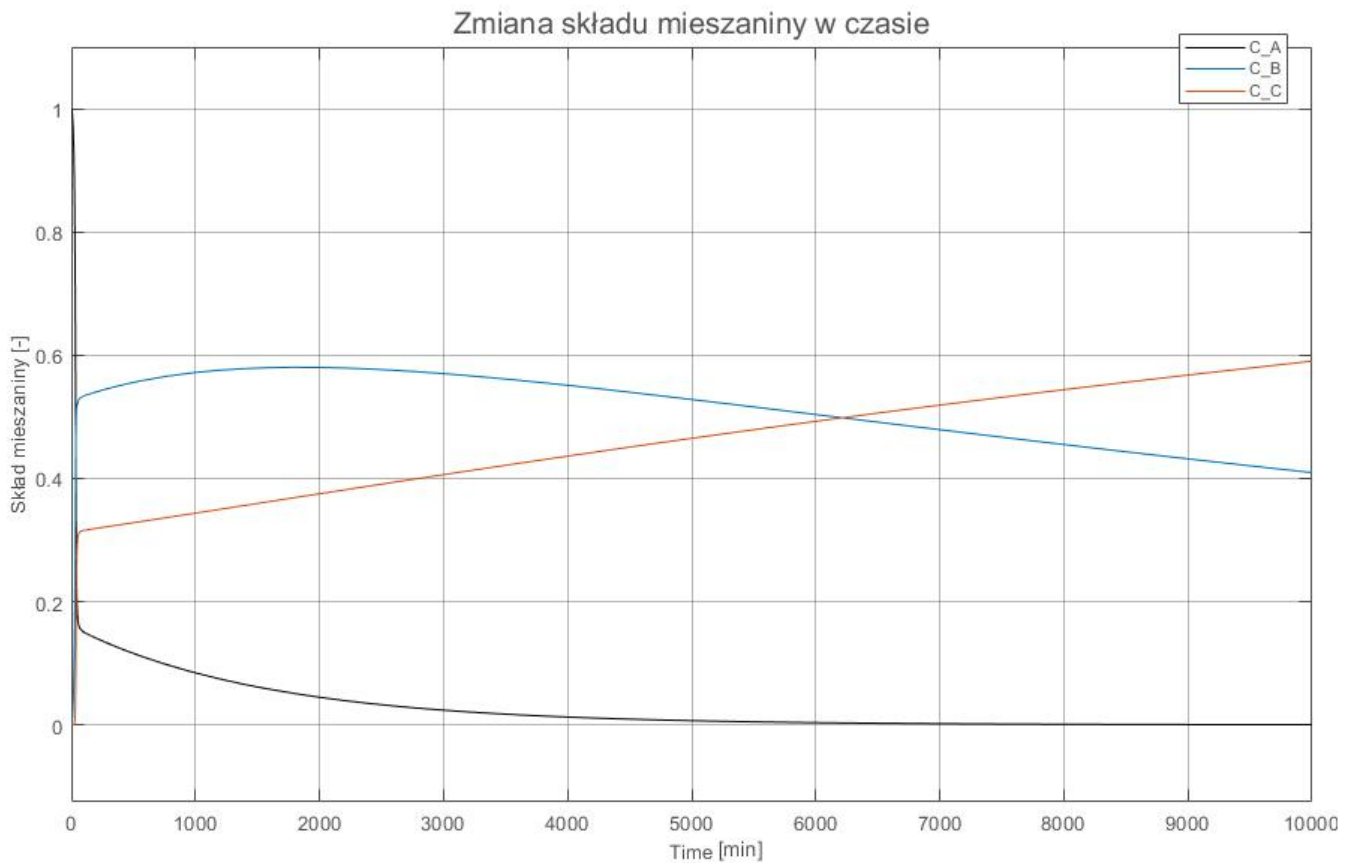
5.3. Początkowe nagrzanie i chłodzenie po 40 minutach



Rysunek 15 - Zmiana temperatury w czasie



Rysunek 16 - Zmiana składu mieszaniny w czasie

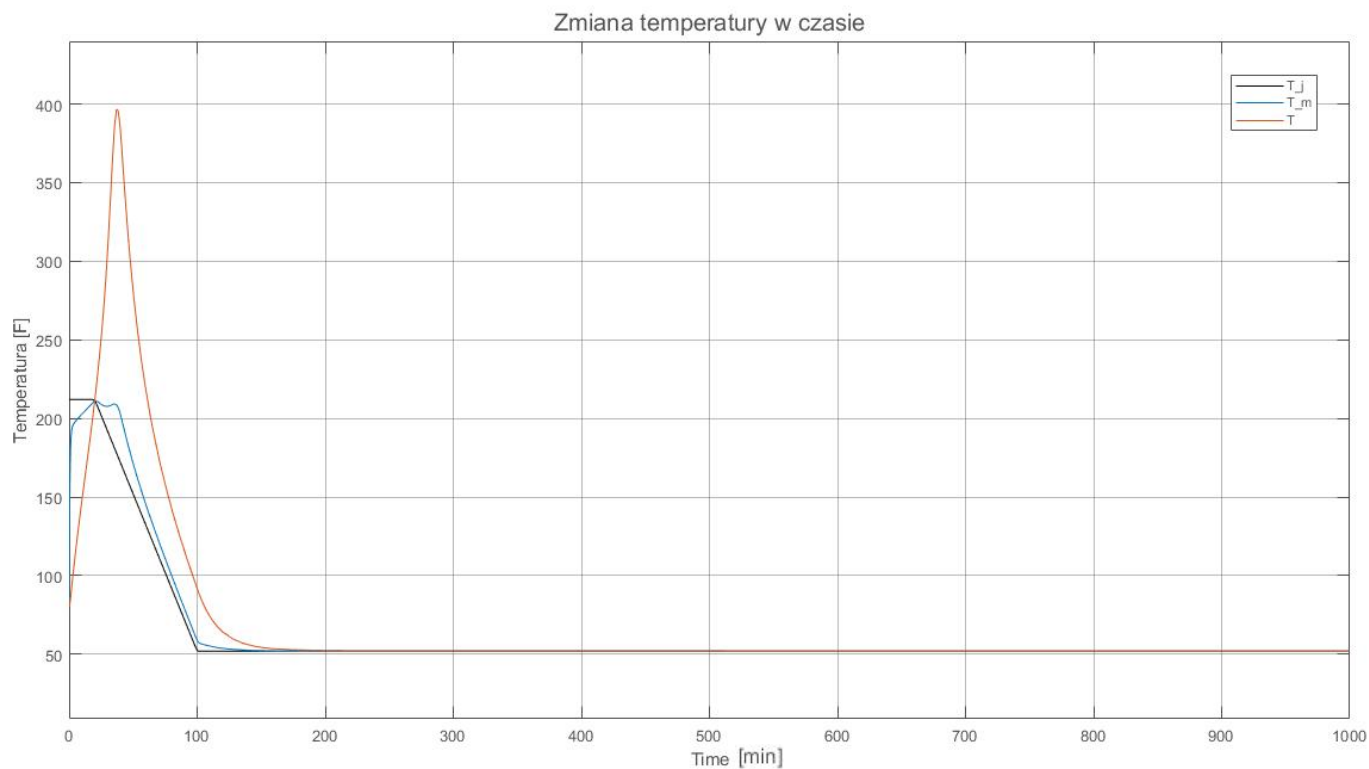


ysunek 17 - Wydłużenie poprzedniego wykresu: Zmiana składu mieszaniny w czasie do 10 000 minut

Wnioski:

Możemy zauważyć, że przy początkowym nagrzaniu do temperatury 212 F i szybkim chłodzeniu po 40 minutach do temperatury otoczenia 80 F, możemy zauważyć, że maksymalna zawartość składnika B wyniosła ok. 0,6. Natomiast wartość tą uzyskaliśmy już po 2 000 minut. W przeciwieństwie do podpunktu 5.2. zauważamy wzrost temperatury mieszaniny powyżej temperatury pary. Jest to spowodowane długim grzaniem, które spowodowało dużą ilość przemian A w B co skutkowało dużą ilością wydzielonej energii cieplnej, a co za tym niekontrolowany wzrost temperatury.

5.4. Początkowe nagrzanie i liniowe chłodzenie po 20 minutach



Rysunek 18 - Zmiana temperatury w czasie

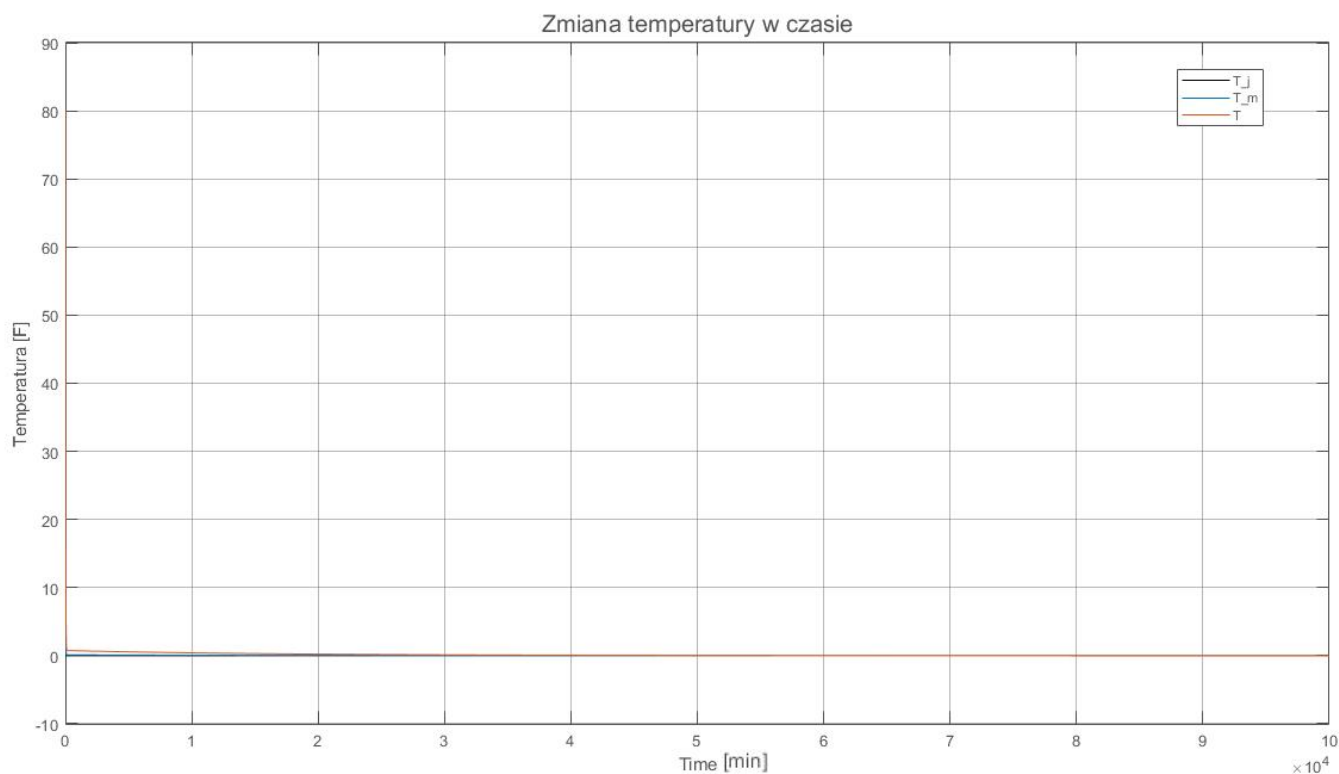


Rysunek 19 - Zmiana składu mieszaniny w czasie

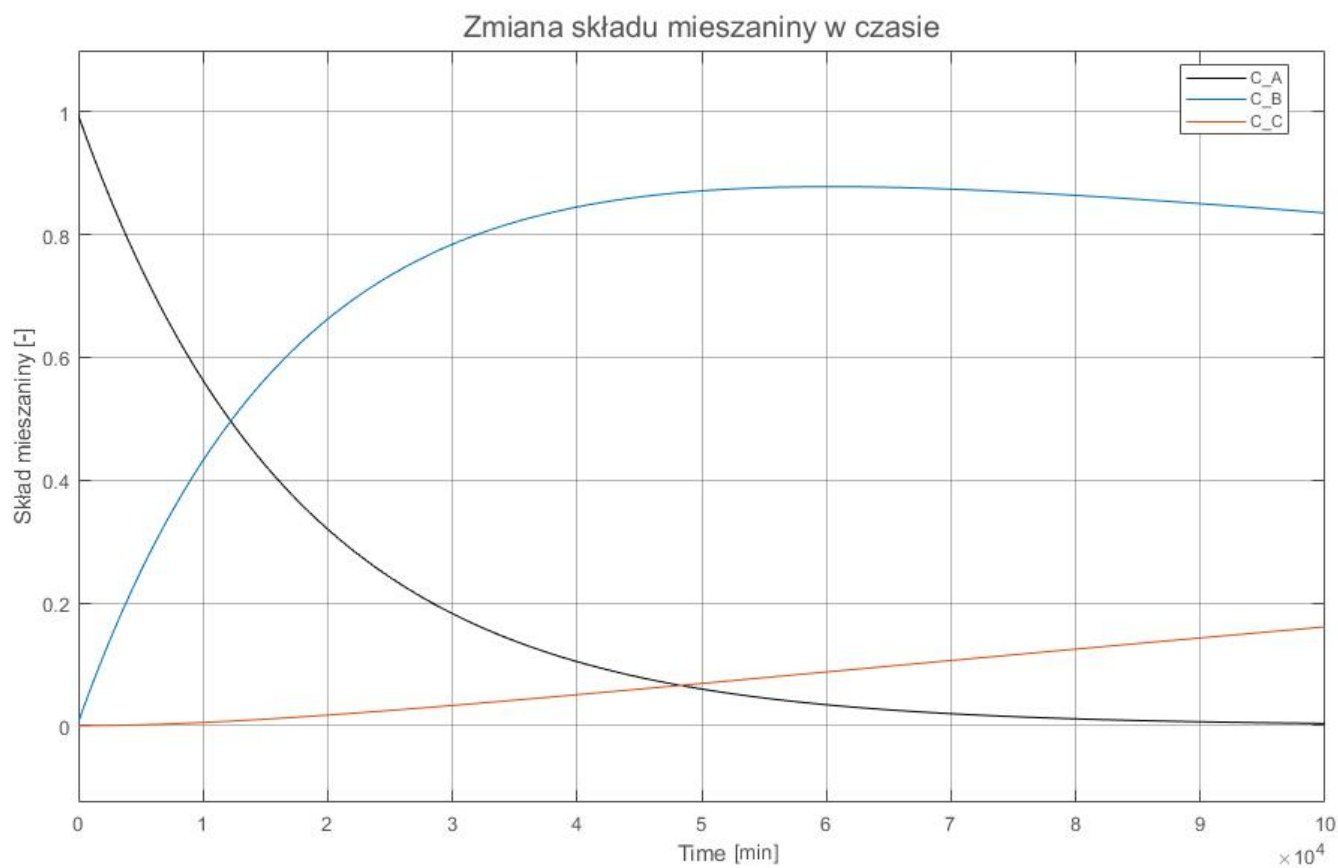
Wnioski:

Na powyższych wykresach możemy zauważyć, że początkowe i powolne chłodzenie jest nieefektywne pod względem maksymalnej zawartości składnika B, ponieważ przez szybki wzrost zawartości składnika B następuje dużo przemian składnika B w C i przez to otrzymujemy małą maksymalną zawartość składnika B. Za pomocą tej metody otrzymaliśmy zawartość składnika B ok. 0,55 po jedynie 50 minutach. Dzięki schłodzeniu a nieutrzymywaniu 212 F nie następuje szybki spadek zawartości składnika B po otrzymaniu jego maksymalnej wartości.

5.5. Utrzymywanie temperatury 0 F



Rysunek 20 - Zmiana temperatury w czasie

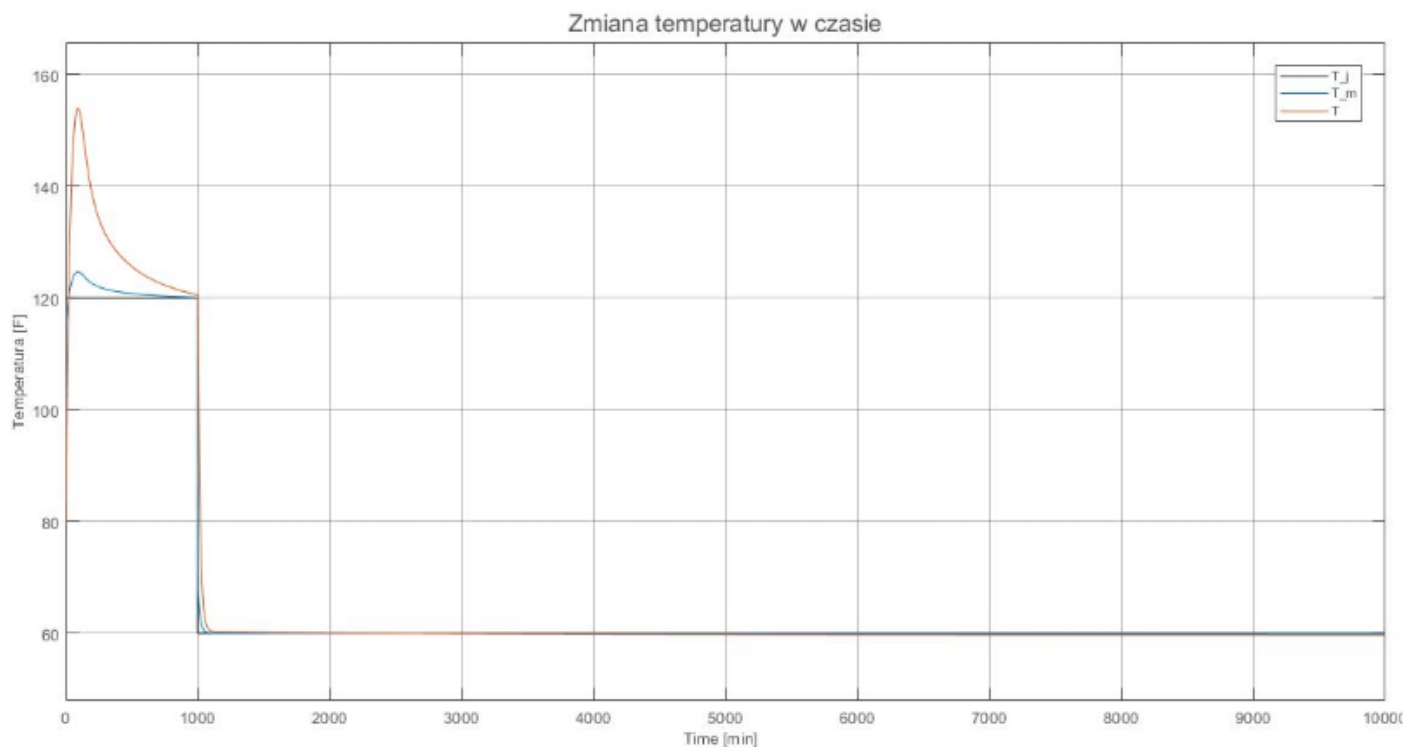


Rysunek 21 - Zmiana składu mieszaniny w czasie

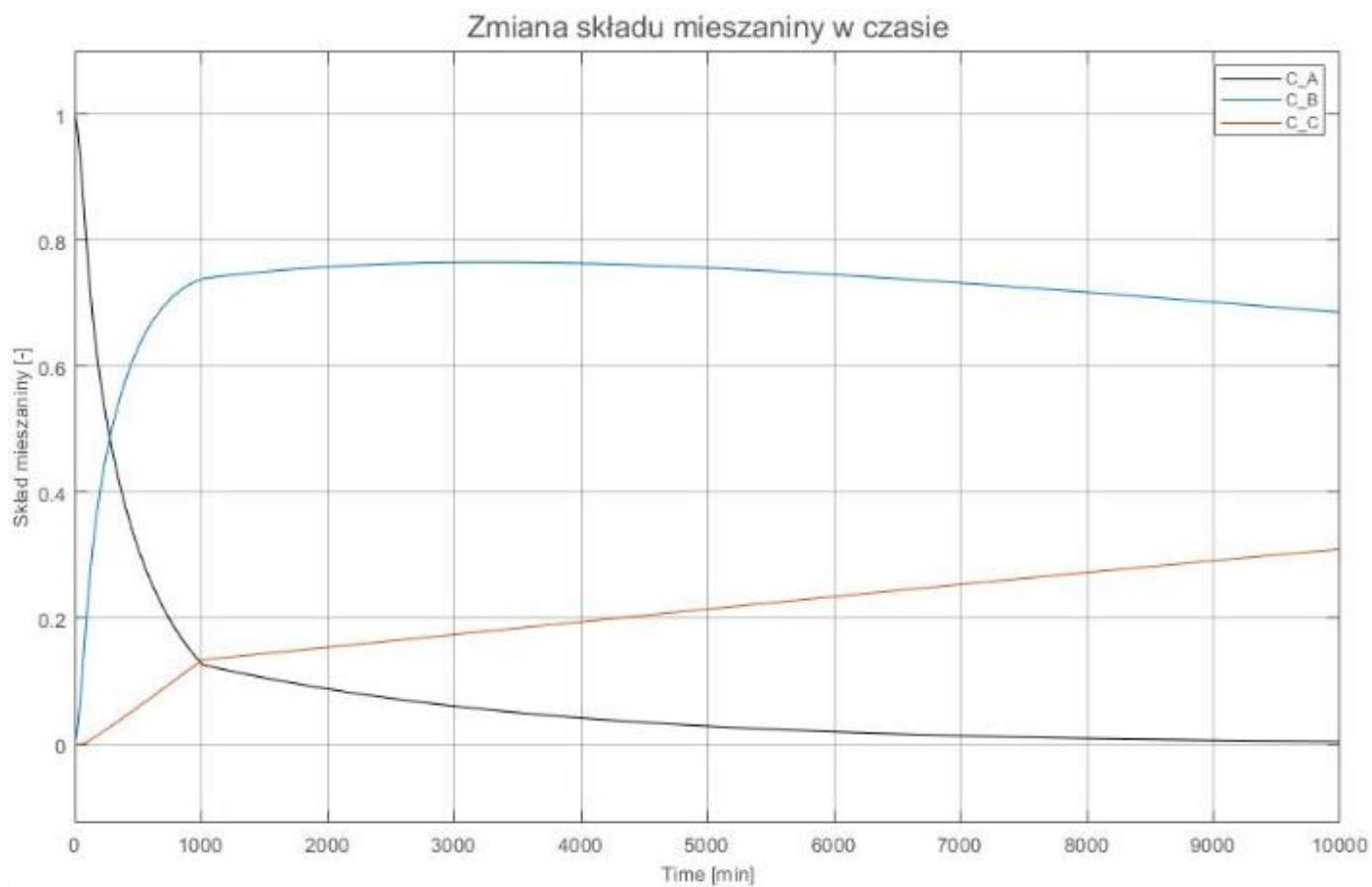
Wnioski:

Za pomocą utrzymywania temperatury 0 F możemy osiągnąć dużą maksymalną zawartość składnika B. Jest to spowodowane tym, że przemiana B w C zachodzi bardzo powoli w niskiej temperaturze, a co za tym idzie nie tracimy dużo składnika B podczas fazy wzrostowej jego zawartości. Wadą tej metody bardzo długi czas.

6. Nasz cel: uzyskać składnik B powyżej 0,75 w jak najkrótszym czasie



Rysunek 22 - Zmiana temperatury w czasie



Rysunek 23 - Zmiana składu mieszaniny w czasie

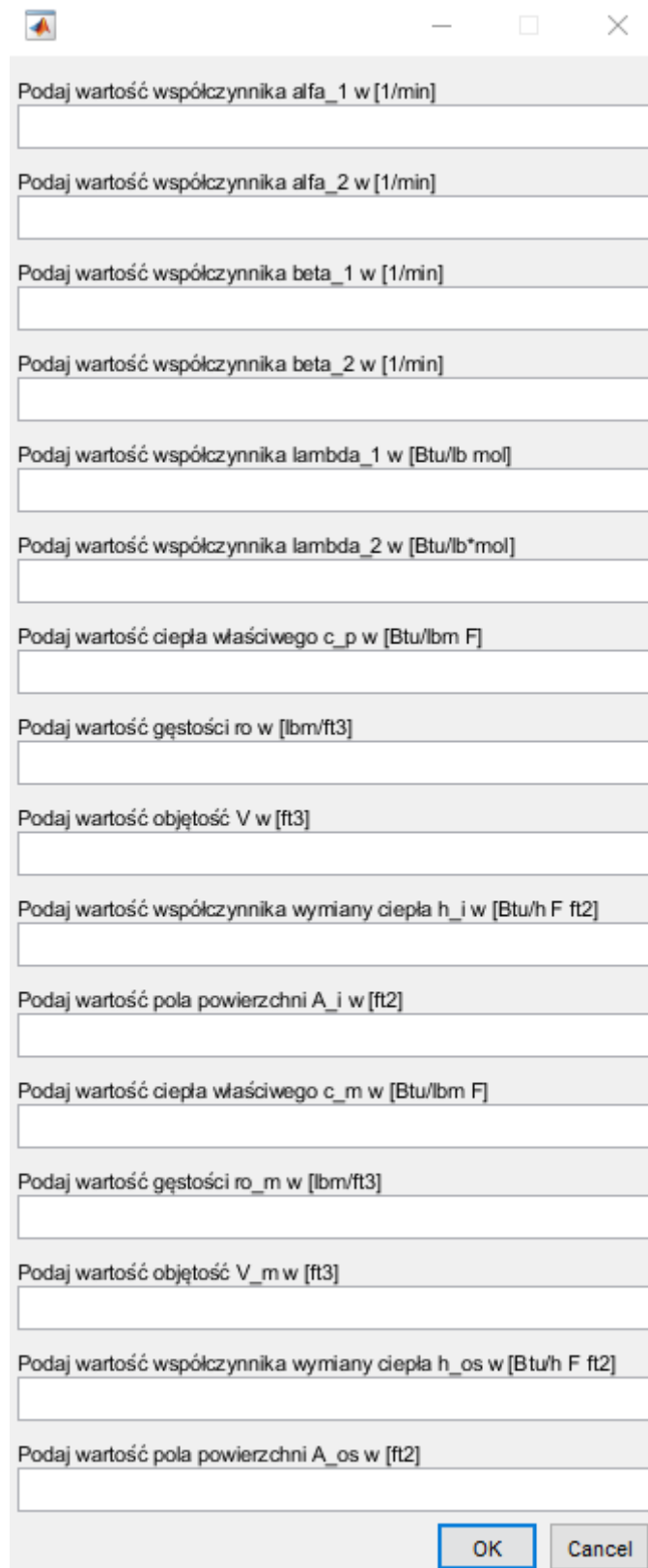
Wnioski:

Jak widać na powyższych wykresach udało nam się otrzymać ilość składnika B powyżej 0,75 po około 1 000 minutach.

7. Wnioski końcowe

- Zauważamy, że tempo przemiany A w B i B w C są proporcjonalne do temperatury. Czym wyższa temperatura tym szybciej te przemiany zachodzą. Dzięki tej zależności jesteśmy w stanie sterować procesem.
- Tempo przemiany jest także proporcjonalne do ilości składnika, które ulega rozpadowi. Czym więcej danego składnika w mieszaninie tym jego procentowa zawartość szybciej spada a innego szybciej wzrasta.
- Na wykresach zawartych w projekcie możemy wywnioskować, że przemiana A w B jest egzotermiczna, co dobrze obrazuje Rysunek 10, natomiast przemiana B w C jest endotermiczna, co również możemy zauważyć w łatwy sposób na tym samym wykresie.
- Przez to, że przemiana A w B jest egzotermiczna to, gdy podgrzejemy zbyt bardzo reaktor przemiana A w B zacznie zachodzić bardzo szybko co będzie skutkowało niekontrolowanym wzrostem temperatury reaktora i jeszcze szybszą przemianą A w B.
- Możemy zauważyć, że niemożliwością jest otrzymanie dużej ilości składnika B w bardzo krótkim czasie. Przykładowo przy utrzymaniu niskiej temperatury równej 0 F otrzymaliśmy zawartość składnika B ok. 0,9, ale dopiero po 50 000 minut, czyli 35 dniach. A na przykład zawartość 0,5 możemy otrzymać już po 50 minutach za pomocą początkowego nagrzania do 212 F i liniowemu chłodzeniu po 20 minutach do temperatury 50 F.
- W celu spowolnienia reakcji należy znacząco obniżyć temperaturę pary, co w konsekwencji wpłynie na spadek temperatury mieszaniny.
- Gdy postawiliśmy sobie za cel otrzymanie zawartości składnika B powyżej 0,75 w jak najkrótszym czasie udało nam się ten warunek spełnić po około 1 000 minutach, dzięki utrzymywaniu temperatury początkowej 120 F i nagłemu spadkowi do temperatury otoczenia.
- Możemy zauważyć, że chociaż minimalny wzrost maksymalnej zawartości składnika B powyżej 0,6 w mieszaninie wymaga znacznego wydłużenia czasu całego procesu.

8. Wygląd okna



Podaj wartość współczynnika α_1 w [1/min]

Podaj wartość współczynnika α_2 w [1/min]

Podaj wartość współczynnika β_1 w [1/min]

Podaj wartość współczynnika β_2 w [1/min]

Podaj wartość współczynnika λ_1 w [Btu/lb mol]

Podaj wartość współczynnika λ_2 w [Btu/lb*mol]

Podaj wartość ciepła właściwego c_p w [Btu/lbm F]

Podaj wartość gęstości ρ w [lbm/ft³]

Podaj wartość objętość V w [ft³]

Podaj wartość współczynnika wymiany ciepła h_i w [Btu/h F ft²]

Podaj wartość pola powierzchni A_i w [ft²]

Podaj wartość ciepła właściwego c_m w [Btu/lbm F]

Podaj wartość gęstości ρ_m w [lbm/ft³]

Podaj wartość objętość V_m w [ft³]

Podaj wartość współczynnika wymiany ciepła h_{os} w [Btu/h F ft²]

Podaj wartość pola powierzchni A_{os} w [ft²]

OK Cancel

Rysunek 24 - Wygląd okna użytkownika

9. Kod źródłowy programu

```
clc;
clear;

tytul = [' Projekt 6 - IPP,
        ' Wykonali:
        ' Łukasz Janisiów nr albumu 297422,
        ' Bartłomiej Guś nr albumu 297415 gr.IPAUT-161
        ' Wybierz metodę:
        '];

Podaj_alfa_1 = ('Podaj wartość współczynnika alfa_1 w [1/min]');
Podaj_alfa_2 = ('Podaj wartość współczynnika alfa_2 w [1/min]');
Podaj_beta_1 = ('Podaj wartość współczynnika beta_1 w [1/min]');
Podaj_beta_2 = ('Podaj wartość współczynnika beta_2 w [1/min]');
Podaj_lambda_1 = ('Podaj wartość współczynnika lambda_1 w [Btu/lb mol]');
Podaj_lambda_2 = ('Podaj wartość współczynnika lambda_2 w [Btu/lb*mol]');

Podaj_c_p = ('Podaj wartość ciepła właściwego c_p w [Btu/lbm F]');
Podaj_ro = ('Podaj wartość gęstości ro w [lbm/ft3]');
Podaj_V = ('Podaj wartość objętość V w [ft3]');
Podaj_h_i = ('Podaj wartość współczynnika wymiany ciepła h_i w [Btu/h F ft2]');
Podaj_A_i = ('Podaj wartość pola powierzchni A_i w [ft2]');

Podaj_c_m = ('Podaj wartość ciepła właściwego c_m w [Btu/lbm F]');
Podaj_ro_m = ('Podaj wartość gęstości ro_m w [lbm/ft3]');
Podaj_V_m = ('Podaj wartość objętość V_m w [ft3]');
Podaj_h_os = ('Podaj wartość współczynnika wymiany ciepła h_os w [Btu/h F
ft2]');
Podaj_A_os = ('Podaj wartość pola powierzchni A_os w [ft2]');

answer=inputdlg({Podaj_alfa_1,Podaj_alfa_2,Podaj_beta_1,Podaj_beta_2,Podaj_lambda_1,Podaj_lambda_2,Podaj_c_p,Podaj_ro,Podaj_V,Podaj_h_i,Podaj_A_i,Podaj_c_m,Podaj_ro_m,Podaj_V_m,Podaj_h_os,Podaj_A_os});

if isempty(str2num(answer{1,1}))
    alfa_1 = 729.55;
else alfa_1 = str2num(answer{1,1});
end

if isempty(str2num(answer{2,1}))
    alfa_2 = 6567.6;
else alfa_2 = str2num(answer{2,1});
end

if isempty(str2num(answer{3,1}))
    beta_1 = -15000;
else beta_1 = str2num(answer{3,1});
end

if isempty(str2num(answer{4,1}))
    beta_2 = -20000;
else beta_2 = str2num(answer{4,1});
end

if isempty(str2num(answer{5,1}))
    lambda_1 = -40000;
else lambda_1 = str2num(answer{5,1});
end

if isempty(str2num(answer{6,1}))
```

```

        lambda_2 = -50000;
    else lambda_2 = str2num(answer{6,1});
    end

    if isempty(str2num(answer{7,1}))
        c_p = 1;
    else c_p = str2num(answer{7,1});
    end

    if isempty(str2num(answer{8,1}))
        ro = 50;
    else ro = str2num(answer{8,1});
    end

    if isempty(str2num(answer{9,1}))
        V = 42.5;
    else V = str2num(answer{9,1});
    end

    if isempty(str2num(answer{10,1}))
        h_i = 160/60;
    else h_i = str2num(answer{10,1});
    end

    if isempty(str2num(answer{11,1}))
        A_i = 56.5;
    else A_i = str2num(answer{11,1});
    end

    if isempty(str2num(answer{12,1}))
        c_m = 0.12;
    else c_m = str2num(answer{12,1});
    end

    if isempty(str2num(answer{13,1}))
        ro_m = 512;
    else ro_m = str2num(answer{13,1});
    end

    if isempty(str2num(answer{14,1}))
        V_m = 9.42;
    else V_m = str2num(answer{14,1});
    end

    if isempty(str2num(answer{15,1}))
        h_os = 1000/60;
    else h_os = str2num(answer{15,1});
    end

    if isempty(str2num(answer{16,1}))
        A_os = 56.5;
    else A_os = str2num(answer{16,1});
    end

    Tj = 212;
    T_m0 = 80;
    T_0 = 80;

```