

Sprawozdanie z przedmiotu Metody Elementów Skończonych

1. Wstęp teoretyczny

Metoda Elementów Skończonych jest jednym z podstawowych narzędzi komputerowego wspomagania badań naukowych i analiz inżynierskich. Ideą MES jest podzielenie obszaru obliczeniowego na podzbiory. Pozwala to modelować złożone konstrukcje poprzez podział na względnie proste elementy geometryczne. Łączą się one w węzłach, dzięki czemu uzyskiwana jest siatka. MES jest metodą uzyskiwania rozwiązania w wybranych punktach obszaru obliczeniowego, a następnie interpolowania rozwiązania w pozostałych punktach obszaru za pomocą funkcji bazowych. Dzięki zastosowaniu takiego podejścia można badać m.in. rozkład temperatury w danym elemencie.

2. Temat programu: Nieustalony transfer ciepła w oparciu o standardowy algorytm MES

Opis programu:

Równanie końcowe które obliczamy to:

$$\left([H] + \frac{[C]}{\Delta T} \right) \{t_1\} - \left(\frac{[C]}{\Delta T} \right) \{t_0\} + \{P\} = 0,$$

,gdzie $\{t_1\}$ to wektor szukanych temperatur.

Klasa Node reprezentuje węzeł, który posiada id, współrzędne x i y, temperaturę i status (informuje o występowaniu warunku brzegowego).

Klasa Element reprezentuje każdy element, który posiada swoje id, tablice id węzłów do niego należących oraz ścian, macierz lokalną H i P.

Klasa Local_Element – raz generowany jeden element, który posiada identyczne dane dla każdego elementu siatki:

- współrzędne punktów całkowania po objętości w układzie lokalnym: ksi i eta
- współrzędne punktów całkowania na powierzchni w układzie lokalnym: ksi_pow, eta_pow
- tablicę funkcji kształtu w punktach całkowania po objętości i na powierzchni: N_V, N_P
- tablicę pochodnych dNdKsi i dNdEta: 4 punkty całkowania i dla każdego po 4 wartości pochodnych

Klasa Grid – reprezentuje siatkę, zawiera wszystkie dane: A i B (wymiary siatki), ilość węzłów na poszczególnych ścianach, liczbę elementów (9), liczbę węzłów (16), temperaturę otoczenia, maksymalny czas iteracji, krok czasowy, alfe – współczynnik wymiany ciepła przez konwekcję, c – ciepło właściwe, k – przewodność cieplną, ro – gęstość, tablicę elementów typu Element, tablicę węzłów typu Node, tablice wyznaczników jacobianu.

- w niej obliczamy lokalne macierze H i P
- tworzymy węzły i elementy
- obliczamy Jakobian

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix}$$

wzory wykorzystywane do obliczenia składowych Jakobianu:

$$\frac{\partial x}{\partial \xi} = \frac{\partial N_1}{\partial \xi} x_1 + \frac{\partial N_2}{\partial \xi} x_2 + \frac{\partial N_3}{\partial \xi} x_3 + \frac{\partial N_4}{\partial \xi} x_4 = \frac{1}{4}(\eta-1)x_1 + \frac{1}{4}(1-\eta)x_2 + \frac{1}{4}(1+\eta)x_3 - \frac{1}{4}(1+\eta)x_4$$

$$\frac{\partial x}{\partial \xi} = \frac{\eta}{4}x_1 - \frac{1}{4}x_1 + \frac{1}{4}x_2 - \frac{\eta}{4}x_2 + \frac{1}{4}x_3 + \frac{\eta}{4}x_3 - \frac{1}{4}x_4 - \frac{\eta}{4}x_4 = \frac{\eta}{4}(x_1 - x_2 + x_3 - x_4) + \frac{1}{4}(-x_1 + x_2 + x_3 - x_4)$$

$$\frac{\partial x}{\partial \eta} = \frac{\partial N_1}{\partial \eta} x_1 + \frac{\partial N_2}{\partial \eta} x_2 + \frac{\partial N_3}{\partial \eta} x_3 + \frac{\partial N_4}{\partial \eta} x_4 = \frac{1}{4}(\xi-1)x_1 - \frac{1}{4}(1+\xi)x_2 + \frac{1}{4}(1+\xi)x_3 + \frac{1}{4}(1-\xi)x_4$$

$$\frac{\partial y}{\partial \xi} = \frac{\partial N_1}{\partial \xi} y_1 + \frac{\partial N_2}{\partial \xi} y_2 + \frac{\partial N_3}{\partial \xi} y_3 + \frac{\partial N_4}{\partial \xi} y_4 = \frac{1}{4}(\eta-1)y_1 + \frac{1}{4}(1-\eta)y_2 + \frac{1}{4}(1+\eta)y_3 - \frac{1}{4}(1+\eta)y_4$$

$$\frac{\partial y}{\partial \eta} = \frac{\partial N_1}{\partial \eta} y_1 + \frac{\partial N_2}{\partial \eta} y_2 + \frac{\partial N_3}{\partial \eta} y_3 + \frac{\partial N_4}{\partial \eta} y_4 = \frac{1}{4}(\xi-1)y_1 - \frac{1}{4}(1+\xi)y_2 + \frac{1}{4}(1+\xi)y_3 + \frac{1}{4}(1-\xi)y_4$$

- x i y to współrzędne węzłów w elemencie dla którego liczymy Jakobian
- liczymy wyznacznik Jakobianu
- wyznaczamy Jakobian odwrotny
- mnożymy razy macierz pochodnych funkcji kształtu od eta i ksi
- z tego otrzymujemy pochodne cząstkowe z równania :

$$\int_V k(t) \left(\left\{ \frac{\partial \{N\}}{\partial x} \right\} \left\{ \frac{\partial \{N\}}{\partial x} \right\}^T + \left\{ \frac{\partial \{N\}}{\partial y} \right\} \left\{ \frac{\partial \{N\}}{\partial y} \right\}^T \right) dV$$

- liczymy macierz H w funkcji obliczH:
- 1 część macierzy H to

$$\int_V k(t) \left(\left\{ \frac{\partial \{N\}}{\partial x} \right\} \left\{ \frac{\partial \{N\}}{\partial x} \right\}^T + \left\{ \frac{\partial \{N\}}{\partial y} \right\} \left\{ \frac{\partial \{N\}}{\partial y} \right\}^T \right) dV$$

- przechodzimy w pętli po punktach całkowania po objętości
 - liczymy jacobian i dostajemy macierz z pochodnymi funkcji kształtu po x i y, które wykorzystujemy do obliczenia całko po objętości z macierzy H
 - mnożymy dNdX i dNdY razy ich macierze transponowane
 - mnożymy razy przewodność cieplną i wyznacznik jacobianu
- 2 część macierzy H

$$\cdot \int_S \alpha \{N\} \{N\}^T dS$$

- druga część warunku brzegowego konwekcji, zależna od {t} więc jest ona w macierzy H
- sprawdzamy warunki brzegowe dwóch sąsiednich węzłów i jeśli oba mają status równy 1 to warunek brzegowy jest spełniony – uzupełniamy tablice funkcji kształtu na powierzchni wartościami z Local_Element dla obu punktów całkowania na tej powierzchni
- do macierzy H dodaje się tyle tych całek w ilu punktach został spełniony warunek brzegowy

- przechodzimy po wszystkich punktach całkowania i dla każdego do macierzy H dodajemy iloraz macierzy N i jej transponowanej macierzy pomnożone przez współczynnik konwekcji i wyznacznik Jakobianu $\det J = B / (nB-1)$ lub $A / (nA-1)$ w zależności czy dana powierzchnia na której został spełniony warunek leży na boku A czy B

- 3 części macierzy H:

-obliczamy macierz C i dzielimy każdy jej element przez krok czasowy

- liczymy macierz P

$$\{P\} = - \int_S \alpha \{N\} t_{\infty} dS ,$$

- 1 część macierzy P

- sprawdzamy warunki brzegowe dla każdej ściany i zapisujemy odpowiednie funkcje kształtu. Do macierzy lokalnej P dodajemy tyle takich całek-macierzy w ilu punktach zostały spełnione warunki brzegowe.

$$- \left(\frac{[C]}{\Delta \tau} \right) \{t_0\}$$

- 2 część macierzy P

-obliczamy macierz P, dzielimy ją przez krok czasowy

- $\{t_0\}$ wartości węzłowe temperatury, trzeba interpolować, by otrzymać wartości temperatur w punktach całkowania (ponieważ macierz C liczymy w objętości)

- $t_{1p} = t_1 * N_1 + t_2 * N_2 + t_3 * N_3 + t_4 * N_4$, gdzie N_1-N_4 to funkcje kształtu dla 1 punktu całkowania, powtarzamy to dla każdego punktu.

- obliczamy macierz C

$$[C] = \int_V c \rho \{N\} \{N\}^T dV .$$

- macierz liczona dla każdego punktu całkowania po objętości – 4 macierze C zsumowane

Klasa GlobalData:

- zawiera dane: liczba węzłów, liczba elementów globalne macierze H i P o raz wektor końcowy temperatur

- posiada funkcję: do wczytywania danych z pliku, obliczania globalnych macierzy H i P oraz

tworzenia siatki, w której tworzę siatkę – obiekt klasy Grid i przekazuje dane odczytane z pliku, - -

- tworzę pętlę po czasie, w której dzieje się cała logika, tutaj tworzę lokalne macierze H i P, które później sumuje do globalnych macierzy oraz wywołuje metodę Gaussa, która liczy równanie:

$$[H] \{t\} + \{P\} = 0$$

- wyświetlam otrzymane macierze i temperatury.

Dane wprowadzane z pliku:

100 – initial temperature
500 – simulation time [s],
50 – simulation step time [s],
1200 – ambient temperature [C],
300 – alfa [W/m²K],
0.100 – H [m],
0.100 – B [m],
4 – N_H,
4 – N_B,
700 – specific heat [J/(kg°C)],
25 – conductivity [W/(m°C)],
7800 – density [kg/m³].

Wyniki: (pierwsze 2 iteracje)

Iteracja 0:

```
Iteracja: 0
Macierz H
36.8148 4.24074 0 0 4.24074 -4.96296 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4.24074 66.963 4.24074 0 -4.96296 5.14815 -4.96296 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 4.24074 66.963 4.24074 0 -4.96296 5.14815 -4.96296 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 4.24074 36.8148 0 0 -4.96296 4.24074 0 0 0 0 0 0
4.24074 -4.96296 0 0 0 66.963 5.14815 0 0 4.24074 -4.96296 0 0 0
0 0 5.14815 -4.96296 0 5.14815 120.593 5.14815 0 -4.96296 5.14815 -4.96296
0 -4.96296 0 5.14815 -4.96296 0 5.14815 120.593 5.14815 0 -4.96296 5.14815 -4.96296
0 0 -4.96296 0 4.24074 0 0 5.14815 66.963 0 0 -4.96296 4.24074 0
0 0 0 0 0 0 0 5.14815 66.963 0 0 -4.96296 4.24074 0
0 0 0 0 4.24074 -4.96296 0 0 66.963 5.14815 0 0 4.24074 -4.96296
0 0 0 0 -4.96296 5.14815 -4.96296 0 5.14815 120.593 5.14815 0 -4.96296
0 5.14815 -4.96296 0 -4.96296 5.14815 -4.96296 0 5.14815 120.593 5.14815 0
-4.96296 5.14815 -4.96296 0 0 -4.96296 5.14815 -4.96296 0 5.14815 120.593 5.14815 0
-4.96296 0 4.24074 0 0 0 -4.96296 4.24074 0 0 5.14815 66.963 0 0
0 0 0 0 0 0 0 4.24074 -4.96296 0 0 36.8148 4.24074
0 0 0 0 0 0 0 0 0 -4.96296 5.14815 -4.96296 0 4.24074
66.963 4.24074 0 0 0 0 0 0 0 -4.96296 5.14815 -4.96296 0
4.24074 66.963 4.24074 0 0 0 0 0 0 -4.96296 5.14815 -4.96296 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 -4.96296 4.24074 0 0
4.24074 36.8148
```

```
Macierz P
15033.3 18066.7 18066.7 15033.3 18066.7 12133.3 12133.3 18066.7 18066.7 12133.3 12133.3 18066.7 15033.3 18066.7 18066.7
15033.3
Temperatury:
Time: Temp:
50 365.815
Time: Temp:
50 249.015
Time: Temp:
50 249.015
Time: Temp:
50 365.815
Time: Temp:
50 249.015
Time: Temp:
50 110.038
Time: Temp:
50 110.038
Time: Temp:
50 249.015
Time: Temp:
50 249.015
Time: Temp:
50 110.038
Time: Temp:
50 110.038
Time: Temp:
50 249.015
Time: Temp:
50 365.815
Time: Temp:
50 249.015
Time: Temp:
50 249.015
Time: Temp:
50 365.815
```

Iteracja 1:

Iteracja: 1

Macierz H

36.8148	4.24074	0	0	4.24074	-4.96296	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.24074	66.963	4.24074	0	-4.96296	5.14815	-4.96296	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	4.24074	66.963	4.24074	0	-4.96296	5.14815	-4.96296	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	4.24074	36.8148	0	0	-4.96296	4.24074	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.24074	-4.96296	0	0	66.963	5.14815	0	0	4.24074	-4.96296	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.96296	0	5.14815	-4.96296	0	5.14815	120.593	5.14815	0	-4.96296	5.14815	-4.96296	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-4.96296	0	5.14815	-4.96296	0	5.14815	120.593	5.14815	0	-4.96296	5.14815	-4.96296	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-4.96296	0	4.24074	0	0	5.14815	66.963	0	0	-4.96296	4.24074	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	4.24074	-4.96296	0	0	66.963	5.14815	0	0	4.24074	-4.96296
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	5.14815	-4.96296	0	-4.96296	5.14815	-4.96296	0	5.14815	120.593	5.14815	0	-4.96296	0
0	0	0	0	0	-4.96296	5.14815	-4.96296	0	5.14815	120.593	5.14815	0	0
-4.96296	0	5.14815	-4.96296	0	0	-4.96296	4.24074	0	0	5.14815	66.963	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.96296	0	4.24074	0	0	0	0	0	4.24074	-4.96296	0	0	36.8148	4.24074
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66.963	4.24074	0	0	0	0	0	0	0	-4.96296	5.14815	-4.96296	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.24074	66.963	4.24074	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4.96296	4.24074	0	0	0
4.24074	36.8148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Macierz P

20659.7 25552.2 25552.2 20659.7 25552.2 18897.4 18897.4 25552.2 25552.2 18897.4 18897.4 25552.2 20659.7 25552.2 25552.2

20659.7

Temperature:

Time:	Temp:
100	502.592
Time:	Temp:
100	353.1
Time:	Temp:
100	353.1
Time:	Temp:
100	502.592
Time:	Temp:
100	353.1
Time:	Temp:
100	168.837
Time:	Temp:
100	168.837
Time:	Temp:
100	353.1
Time:	Temp:
100	353.1
Time:	Temp:
100	168.837
Time:	Temp:
100	168.837
Time:	Temp:
100	353.1
Time:	Temp:
100	502.592
Time:	Temp:
100	353.1
Time:	Temp:
100	353.1
Time:	Temp:
100	502.592

3. Projekt realizowany w oparciu o napisany program

Temat: Nieustalony transfer ciepła w płaskowniku poddawany procesowi odpuszczania

Płaskownik to pręt metalowy o przekroju prostokątnym. Płaskowniki stosuje się w konstrukcjach mechanicznych i w budownictwie.

Do mojego projektu wykorzystałam płaskownik ze stali nierdzewnej chromowe-niklowej 2H17N2 (X14CrMoS17).

Własności stali:

Gęstość – $7,70 \text{ (g*cm}^3\text{)}$

Pojemność cieplna C_p – 460 (J/kgC)

Przewodność cieplna λ – 25 (W/mC)

Odpuszczanie $550\text{-}650 \text{ }^\circ\text{C}$

Współczynnik konwekcji α – $300 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

Temperatura początkowa – 25°C

Temperatura otoczenia - 650°C

Czas – 3600 s

Krok czasowy – 100 s

Wymiary siatki $0.1 \times 0.1 \text{ m}$

Liczba węzłów na ścianach – 4

Wyniki:

Iteracja 0:

Iteracja: 0												
Macierz H												
27.7062	-0.31358	0	0	-0.31358	-7.24012	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.31358	0	48.7457	-0.31358	0	-7.24012	-3.96049	-7.24012	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-0.31358	0	48.7457	-0.31358	0	-7.24012	-3.96049	-7.24012	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-0.31358	0	27.7062	0	0	-7.24012	-0.31358	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.31358	0	-7.24012	0	0	0	48.7457	-3.96049	0	0	-0.31358	-7.24012	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-7.24012	-3.96049	-7.24012	-7.24012	0	0	-3.96049	84.158	-3.96049	0	-7.24012	0	0
-3.96049	-7.24012	-7.24012	-7.24012	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-7.24012	-3.96049	-7.24012	-7.24012	0	0	-3.96049	84.158	-3.96049	0	-7.24012	0
0	-3.96049	-7.24012	-7.24012	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-7.24012	0	-0.31358	0	0	0	-3.96049	48.7457	0	0	-7.24012
-0.31358	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-0.31358	0	-7.24012	0	0	48.7457	-3.96049	0	0
-0.31358	0	-7.24012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-3.96049	-7.24012	-7.24012	0	-3.96049	84.158	-3.96049
0	0	-7.24012	0	-7.24012	-3.96049	-7.24012	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-7.24012	-3.96049	-7.24012	-3.96049	-7.24012	0	-3.96049	84.158
-3.96049	0	0	0	-7.24012	-3.96049	-7.24012	0	0	0	-3.96049	48.7457	0
0	0	0	0	0	0	-7.24012	-0.31358	0	0	-3.96049	0	0
0	0	-7.24012	0	-0.31358	0	0	0	-0.31358	-7.24012	0	0	27.7062
-0.31358	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	-7.24012	-3.96049	-7.24012	0	0
-0.31358	0	48.7457	-0.31358	0	0	0	0	0	0	0	-7.24012	-3.96049
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7.24012	-0.31358
0	-0.31358	0	48.7457	-0.31358	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-0.31358	0	27.7062	0	0	0	0	0	0	-7.24012	-0.31358	0

```
Macierz P
6745.97 6991.94 6991.94 6745.97 6991.94 983.889 983.889 6991.94 6991.94 983.889 983.889 6991.94 6745.97 6991.94 6991.94
6745.97
Temperature:
Time: Temp:
100 276.434
Time: Temp:
100 201.389
Time: Temp:
100 201.389
Time: Temp:
100 276.434
Time: Temp:
100 201.389
Time: Temp:
100 108.652
Time: Temp:
100 108.652
Time: Temp:
100 201.389
Time: Temp:
100 201.389
Time: Temp:
100 108.652
Time: Temp:
100 108.652
Time: Temp:
100 201.389
Time: Temp:
100 201.389
Time: Temp:
100 276.434
Time: Temp:
100 201.389
Time: Temp:
100 201.389
Time: Temp:
100 276.434
```

Iteracja 35:

```
Iteracja: 35
Macierz H
27.7062 -0.31358 0 0 -0.31358 -7.24012 0 0 0 0 0 0 0
0 0 48.7457 -0.31358 0 -7.24012 -3.96049 -7.24012 0 0 0
-0.31358 0 0 0 0 0 0 -7.24012 -3.96049 -7.24012 0 0 0
0 -0.31358 48.7457 -0.31358 0 0 -7.24012 -3.96049 -7.24012 0 0
0 0 0 0 0 0 0 -7.24012 -0.31358 0 0 0
0 0 -0.31358 27.7062 0 0 -7.24012 -0.31358 0 0 0 0
-0.31358 -7.24012 0 0 0 48.7457 -3.96049 0 0 -0.31358 -7.24012
0 0 0 0 0 0 0 0 -0.31358 -7.24012
-7.24012 -3.96049 -7.24012 0 0 -3.96049 84.158 -3.96049 0 -7.24012
-3.96049 -7.24012 0 0 0 0 0 -3.96049 84.158 -3.96049 0 -7.24012
0 -7.24012 -3.96049 -7.24012 0 0 0 -3.96049 84.158 -3.96049 0 -7.24012
-3.96049 -7.24012 -0.31358 0 0 0 -3.96049 48.7457 0 0 -7.24012
-0.31358 0 0 0 -0.31358 0 -7.24012 0 0 48.7457 -3.96049 0 0
0 0 -7.24012 0 0 -7.24012 0 0 48.7457 -3.96049 0 0
-0.31358 -7.24012 0 -7.24012 -3.96049 -7.24012 0 -3.96049 84.158 -3.96049
0 0 -7.24012 -3.96049 -7.24012 -3.96049 -7.24012 0 -3.96049 84.158
-3.96049 0 -7.24012 -3.96049 -7.24012 -0.31358 0 0 -3.96049 48.7457
0 0 -7.24012 -0.31358 0 0 0 -0.31358 -7.24012 0 0 27.7062
-0.31358 0 0 0 0 0 0 0 -7.24012 -3.96049 -7.24012 0
-0.31358 48.7457 -0.31358 0 0 0 0 0 -7.24012 -3.96049 -7.24012 0
0 0 0 0 0 0 0 0 -7.24012 -3.96049 -7.24012
0 -0.31358 48.7457 -0.31358 0 0 0 0 0 -7.24012 -0.31358 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 -7.24012 -0.31358 0
0 -0.31358 27.7062
```

```
Macierz P
12894.5 19288.8 19288.8 12894.5 19288.8 25577.2 25577.2 19288.8 19288.8 25577.2 25577.2 19288.8 12894.5 19288.8 19288.8
12894.5
Temperature:
Time: Temp:
3600 649.949
Time: Temp:
3600 649.934
Time: Temp:
3600 649.934
Time: Temp:
3600 649.949
Time: Temp:
3600 649.934
Time: Temp:
3600 649.916
Time: Temp:
3600 649.916
Time: Temp:
3600 649.934
Time: Temp:
3600 649.934
Time: Temp:
3600 649.916
Time: Temp:
3600 649.916
Time: Temp:
3600 649.934
Time: Temp:
3600 649.949
Time: Temp:
3600 649.934
Time: Temp:
3600 649.934
Time: Temp:
3600 649.949
```

Wnioski:

Odpuszczanie przeprowadzone było w temperaturze 650°C. Jest to odpuszczanie wysokie, które zalecane jest dla elementów wykonanych ze stali konstrukcyjnych. Dzięki programowi symulującemu nieustalony transfer ciepła w oparciu o standardowy algorytm MES mogliśmy zbadać rozkład temperatury w danym elemencie podczas tego procesu.