

Sprawozdanie - nieustalony transfer ciepła w oparciu o standardowy algorytm MES

Struktury użyte w oprogramowaniu:

- **struct point** - punkt w układzie kartezjańskim,
- **struct node** - węzeł elementu skończonego,
- **struct element** - czworokątny element skończony,
- **struct grid** - siatka elementów skończonych.

Funkcje użyte w oprogramowaniu:

- **grid mesh(int nheight, int nlength, double height, double length)** - funkcja generująca siatkę elementów skończonych,
- **double*** f_matrix_H(int nheight, int nlength, double height, double length, grid a)** - funkcja obliczająca macierz pojemności cieplnej [H]. Wykorzystuje całkowanie numeryczne metodą Gaussa. Oblicza m.in. funkcje kształtu, pochodne funkcji kształtu względem ξ i η , macierz Jakobiego, Jakobian, pochodne funkcji kształtu względem x i y ,
- **double*** f_matrix_H_BC(int nheight, int nlength, double height, double length, grid a)** - funkcja obliczająca część macierzy [H] odpowiadającą za warunek brzegowy,
- **double*** f_matrix_C(int nheight, int nlength, double height, double length, grid a)** - funkcja obliczająca macierz magazynowania ciepła [C]. Wykorzystuje całkowanie numeryczne metodą Gaussa,
- **double** f_vector_P(int nheight, int nlength, double height, double length, grid a)** - funkcja obliczająca wektor obciążenia {P}. Znajduje i uwzględnia warunki brzegowe nałożone na krawędzie siatki elementów skończonych,
- Agregacja macierzy lokalnych do macierzy globalnych znajduje się w funkcji `main()`.

Test case

Dane początkowe:

- 100 – temperatura początkowa [C],
- 500 – czas symulacji [s]
- 50 – krok czasowy [s],
- 1200 – temperatura otoczenia [C],
- 300 – współczynnik przejmowania ciepła alfa [W/m²K],
- 0.100 – wysokość siatki [m],
- 0.100 – szerokość siatki [m],
- 4 – ilość węzłów po wysokości,
- 4 – ilość węzłów po szerokości,
- 700 – ciepło właściwe [J/(kgC)],
- 25 – współczynnik przewodności cieplnej [W/(mC)],
- 7800 – gęstość [kg/m³].

Wygenerowana siatka:

```

Wezel nr.0.Wspolrzedne wezla (0,0). Temperatura w wezle 100. Status: 1
Wezel nr.1.Wspolrzedne wezla (0,0.0333333). Temperatura w wezle 100. Status: 1
Wezel nr.2.Wspolrzedne wezla (0,0.0666667). Temperatura w wezle 100. Status: 1
Wezel nr.3.Wspolrzedne wezla (0,0.1). Temperatura w wezle 100. Status: 1
Wezel nr.4.Wspolrzedne wezla (0.0333333,0). Temperatura w wezle 100. Status: 1
Wezel nr.5.Wspolrzedne wezla (0.0333333,0.0333333). Temperatura w wezle 100. Status: 0
Wezel nr.6.Wspolrzedne wezla (0.0333333,0.0666667). Temperatura w wezle 100. Status: 0
Wezel nr.7.Wspolrzedne wezla (0.0333333,0.1). Temperatura w wezle 100. Status: 1
Wezel nr.8.Wspolrzedne wezla (0.0666667,0). Temperatura w wezle 100. Status: 1
Wezel nr.9.Wspolrzedne wezla (0.0666667,0.0333333). Temperatura w wezle 100. Status: 0
Wezel nr.10.Wspolrzedne wezla (0.0666667,0.0666667). Temperatura w wezle 100. Status: 0
Wezel nr.11.Wspolrzedne wezla (0.0666667,0.1). Temperatura w wezle 100. Status: 1
Wezel nr.12.Wspolrzedne wezla (0.1,0). Temperatura w wezle 100. Status: 1
Wezel nr.13.Wspolrzedne wezla (0.1,0.0333333). Temperatura w wezle 100. Status: 1
Wezel nr.14.Wspolrzedne wezla (0.1,0.0666667). Temperatura w wezle 100. Status: 1
Wezel nr.15.Wspolrzedne wezla (0.1,0.1). Temperatura w wezle 100. Status: 1
Element 0 sklada sie z wezlow: 0 4 5 1
Element 1 sklada sie z wezlow: 1 5 6 2
Element 2 sklada sie z wezlow: 2 6 7 3
Element 3 sklada sie z wezlow: 4 8 9 5
Element 4 sklada sie z wezlow: 5 9 10 6
Element 5 sklada sie z wezlow: 6 10 11 7
Element 6 sklada sie z wezlow: 8 12 13 9
Element 7 sklada sie z wezlow: 9 13 14 10
Element 8 sklada sie z wezlow: 10 14 15 11

```

Globalna macierz H:

[illegible]

Globalna macierz C:

674.074	337.037	0	0	337.037	168.519	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
337.037	1348.15	337.037	0	168.519	674.074	168.519	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	337.037	1348.15	337.037	0	168.519	674.074	168.519	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	337.037	674.074	0	0	168.519	337.037	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
337.037	168.519	0	0	1348.15	674.074	0	0	337.037	168.519	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168.519	674.074	168.519	0	674.074	2696.3	674.074	0	168.519	674.074	168.519	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	168.519	674.074	168.519	0	674.074	2696.3	674.074	0	168.519	674.074	168.519	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	168.519	337.037	337.037	168.519	0	674.074	1348.15	0	0	337.037	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	168.519	674.074	168.519	0	674.074	2696.3	674.074	0	168.519	674.074	168.519	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	168.519	674.074	168.519	0	674.074	2696.3	674.074	0	168.519	674.074	168.519	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	168.519	337.037	337.037	0	674.074	1348.15	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	337.037	168.519	0	0	674.074	337.037	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	168.519	674.074	168.519	0	337.037	1348.15	337.037	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	168.519	674.074	168.519	0	337.037	1348.15	337.037	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168.519	337.037	0	0	337.037	674.074	0	0	0	0

Matrix [H] = [H]+[C]/dT (taka sama w każdej iteracji):

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

Symulacja:

Iteration 1	T=50																		
<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			
Temperature	365.815	249.015	249.015	365.815	249.015	110.038	110.038	249.015	249.015	110.038	110.038	249.015	365.815	249.015	249.015	365.815			
Iteration 2	T=100																		
<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	502.592	353.1	353.1	502.592	353.1	168.837	168.837	353.1	353.1	168.837	168.837	353.1	502.592	353.1	353.1	502.592			
Iteration 3	T=150																		
<P>	24105	31323.9	31323.9	24105	31323.9	27820.8	27820.8	31323.9	31323.9	27820.8	27820.8	31323.9	24105	31323.9	31323.9	24105			
Temperature	587.373	434.597	434.597	587.373	434.597	242.801	242.801	434.597	434.597	242.801	242.801	434.597	587.373	434.597	434.597	587.373			
Iteration 4	T=200																		
<P>	26596	36163.3	36163.3	26596	36163.3	37005.4	37005.4	36163.3	36163.3	37005.4	37005.4	36163.3	26596	36163.3	36163.3	26596			
Temperature	649.387	503.472	503.472	649.387	503.472	318.615	318.615	503.472	503.472	318.615	318.615	503.472	649.387	503.472	503.472	649.387			
Iteration 5	T=250																		
<P>	28616.1	40412.4	40412.4	28616.1	40412.4	46003.8	46003.8	40412.4	40412.4	46003.8	46003.8	40412.4	28616.1	40412.4	40412.4	28616.1			
Temperature	700.068	564.171	564.171	700.068	564.171	391.256	391.256	564.171	564.171	391.256	391.256	564.171	700.068	564.171	564.171	700.068			
Iteration 6	T=300																		
<P>	30362.5	44228.5	44228.5	30362.5	44228.5	54341.1	54341.1	44228.5	44228.5	54341.1	54341.1	44228.5	30362.5	44228.5	44228.5	30362.5			
Temperature	744.063	618.775	618.775	744.063	618.775	459.037	459.037	618.775	618.775	459.037	459.037	618.775	744.063	618.775	618.775	744.063			
Iteration 7	T=350																		
<P>	31920.2	47691.7	47691.7	31920.2	47691.7	62040.9	62040.9	47691.7	47691.7	62040.9	62040.9	47691.7	31920.2	47691.7	47691.7	31920.2			
Temperature	783.383	668.364	668.364	783.383	668.364	521.586	521.586	668.364	668.364	521.586	521.586	668.364	783.383	668.364	668.364	783.383			
Iteration 8	T=400																		
<P>	33329.6	50849.3	50849.3	33329.6	50849.3	69115.1	69115.1	50849.3	50849.3	69115.1	69115.1	50849.3	33329.6	50849.3	50849.3	33329.6			
Temperature	818.992	713.593	713.593	818.992	713.593	579.034	579.034	713.593	713.593	579.034	579.034	713.593	818.992	713.593	713.593	818.992			
Iteration 9	T=450																		
<P>	34613.1	53734.2	53734.2	34613.1	53734.2	75600	75600	53734.2	53734.2	75600	75600	53734.2	34613.1	53734.2	53734.2	34613.1			
Temperature	851.431	754.921	754.921	851.431	754.921	631.689	631.689	754.921	754.921	631.689	631.689	754.921	851.431	754.921	754.921	851.431			
Iteration 10	T=500																		
<P>	35785	56372.4	56372.4	35785	56372.4	81538.9	81538.9	56372.4	56372.4	81538.9	81538.9	56372.4	35785	56372.4	56372.4	35785			
Temperature	881.058	792.717	792.717	881.058	792.717	679.908	679.908	792.717	792.717	679.908	679.908	792.717	881.058	792.717	792.717	881.058			

Najwyższa i najniższa temperatura w kolejnym kroku czasowym:

Time[s]	MinTemp [C]	MaxTemp [C]
50	110.038	365.815
100	168.837	502.592
150	242.801	587.373
200	318.615	649.387
250	391.256	700.068
300	459.037	744.063
350	521.586	783.383
400	579.034	818.992
450	631.689	851.431
500	679.908	881.058