

# Metody elementów skończonych

## Sprawozdanie

**Temat:** „Symulacja nieustalonych procesów cieplnych.”

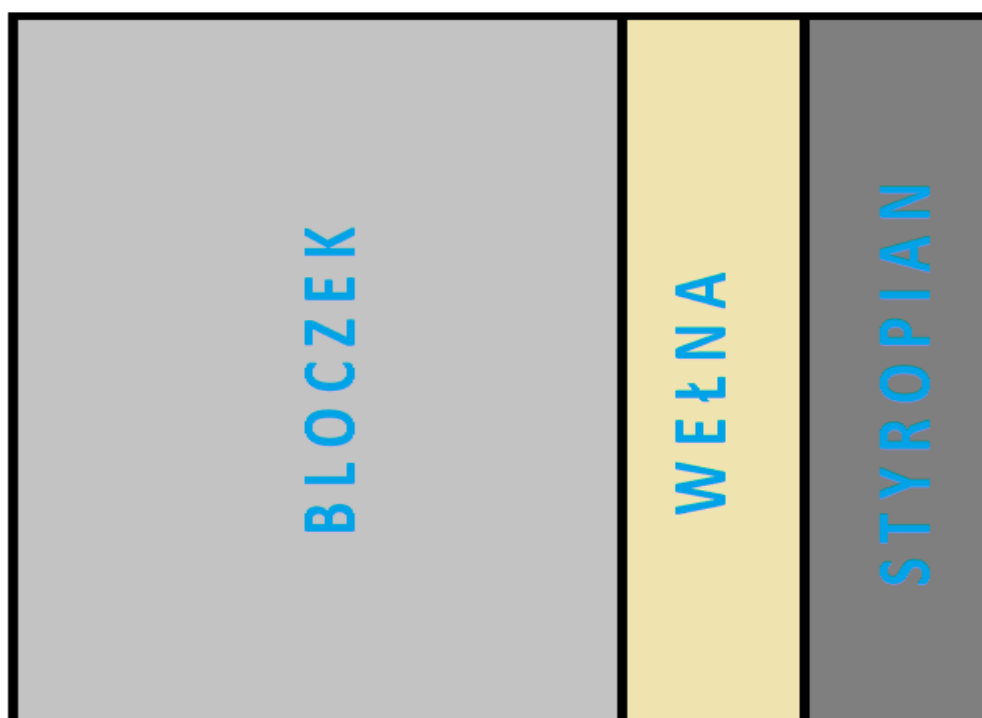
Wykonał: Kamil Wieniecki

### 1) Wstęp

Napisany przeze mnie program dla rozwiązania problemu symulacji nieustalonych procesów cieplnych wykorzystałem do przedstawienia rzeczywistej sytuacji wymiany ciepłej dla ściany w okresie zimy. Temperatura na zewnątrz to  $-25^{\circ}\text{C}$ , natomiast od wewnętrznej strony wynosi  $22^{\circ}\text{C}$ . Temperatura samej ściany to  $14^{\circ}\text{C}$ . Ściana składa się z betonu komórkowego (błoczków), kamiennej wełny mineralnej ECOSE@ Technology (bez dodatku aerożeli) oraz styropianu.

Przykładem praktycznym takiej ściany mogłaby być ocieplona ściana działowa budynku wystawiona na warunki ostrej zimy.

Schemat:



## 2) Założenia

Materiały wykorzystane w sprawozdaniu cechują się następującymi wartościami:

	Beton komórkowy	Wełna mineralna	Styropian
Współczynnik przewodzenia ciepła $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$	0,21	0,035	0,043
Ciepło właściwe $\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$	840	750	1460
Gęstość $\frac{kg}{m^3}$	600	60	20
Grubość [m]	0,1	0,025	0,025

Badany obszar ma wielkość 0,15m x 0,15m, natomiast siatka MES jest wielkości 31 x 31 węzłów (30 x 30 elementów) – gdzie każdy element to 0,005m.

Współczynniki wymiany ciepła opisane są następującymi zależnościami:

a) Powierzchnia wewnętrzna (lewa strona siatki):

$$\alpha = \varphi \sqrt[4]{t_{f1} - v_1}$$

, przy czym  $\varphi = 2,32$  dla powietrza w zamkniętym pomieszczeniu

b) Powierzchnia zewnętrzna (prawa strona siatki):

$$\alpha = 7,34^{0,656} + 3,78 \cdot e^{-1,91w}$$

, gdzie wartość dla  $w$  (prędkości wiatru) przyjmuje się jako 3 m/s

Po podstawieniu do powyższych wzorów wartości wymiany ciepła to:

$$\alpha_{\text{left}} = 3,631 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$\alpha_{\text{right}} = 3,70968 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Wartość zmiany czasu dla siatki policzyłem korzystając z materiałów zamieszczonych na stronie:

$$\Delta\tau = \frac{\left(\frac{B}{n_b}\right)^2}{\frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda}{C \cdot \rho}}$$

, gdzie

B – wielkość siatki [m]

$n_b$  – ilość węzłów na wielkości B

$\lambda$  – współczynnik przewodzenia  $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$

$\rho$  – gęstość materiału  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

C – ciepło właściwe materiału  $\left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}\right]$

Dla poszczególnych materiałów wyniosły one:

$$\Delta\tau_{\text{bloczek}} = 112,383$$

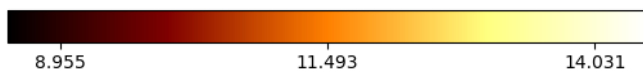
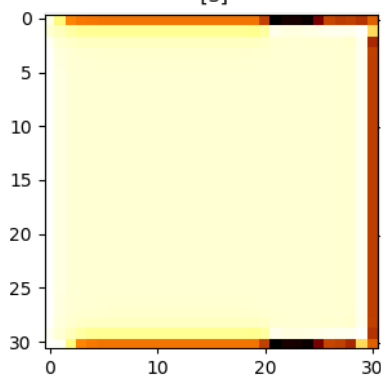
$$\Delta\tau_{\text{wełna}} = 60,205$$

$$\Delta\tau_{\text{styropian}} = 31,798$$

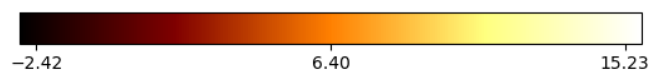
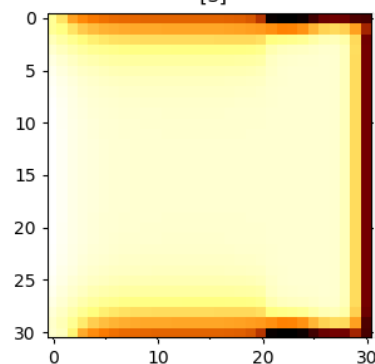
Wybrałem wartość 45 sekund, a długość całego procesu to 1h 10m.

### 3) Wyniki

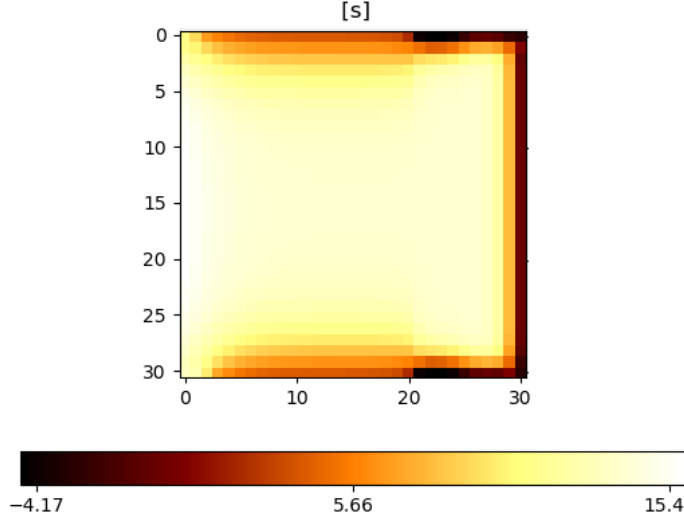
Wykres zmiany temperatury w siatce dla kroku: 45.0 [s]



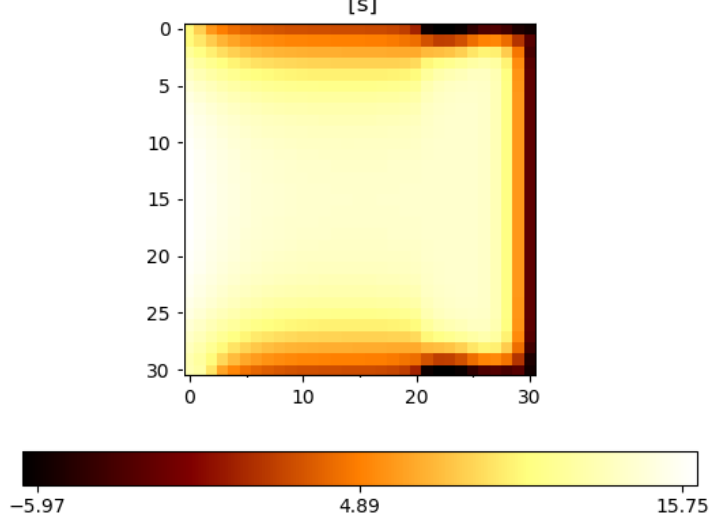
Wykres zmiany temperatury w siatce dla kroku: 450.0 [s]



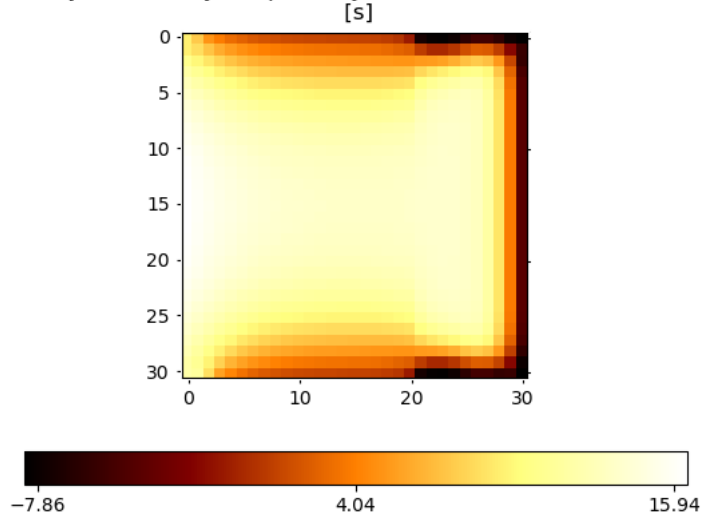
Wykres zmiany temperatury w siatce dla kroku: 630.0



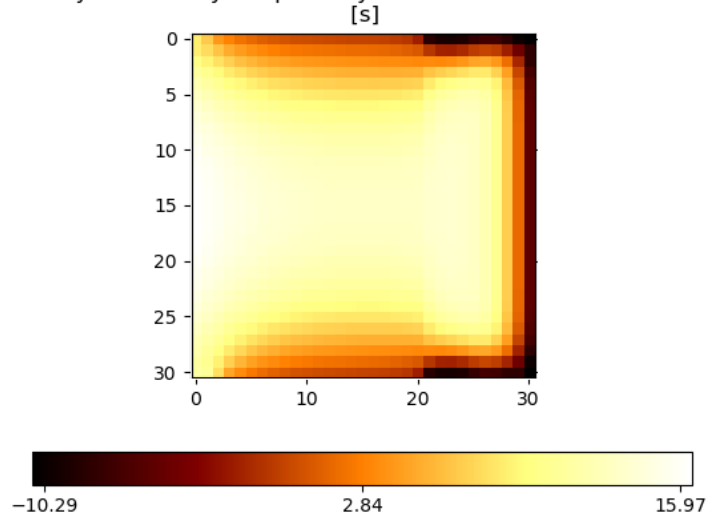
Wykres zmiany temperatury w siatce dla kroku: 900.0



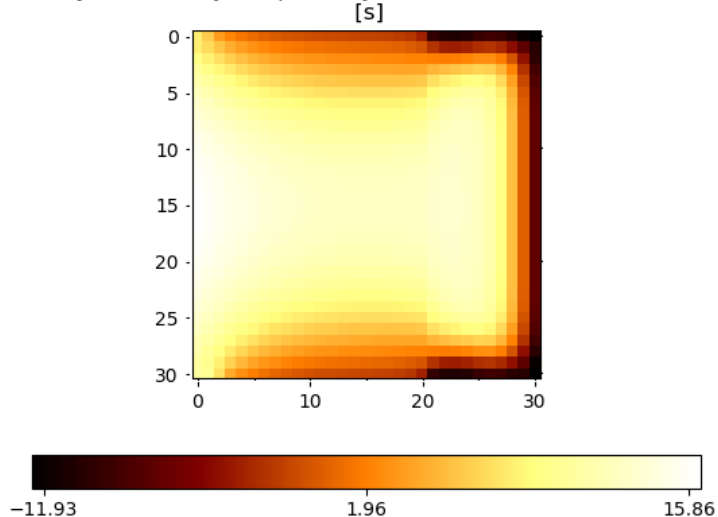
Wykres zmiany temperatury w siatce dla kroku: 1260.0



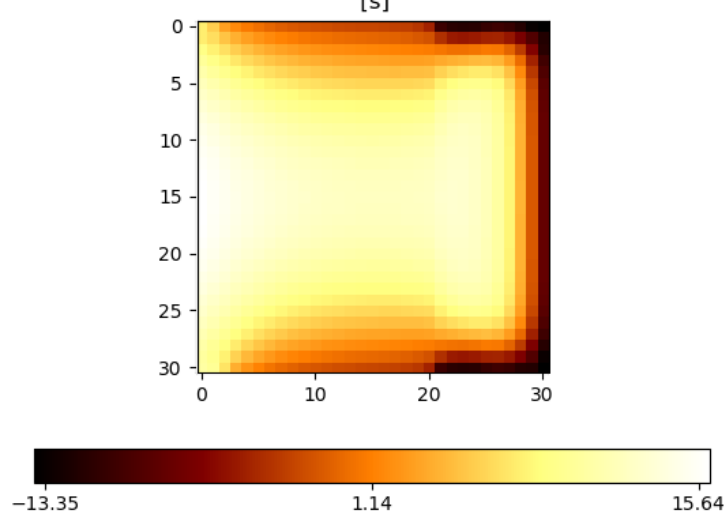
Wykres zmiany temperatury w siatce dla kroku: 1710.0



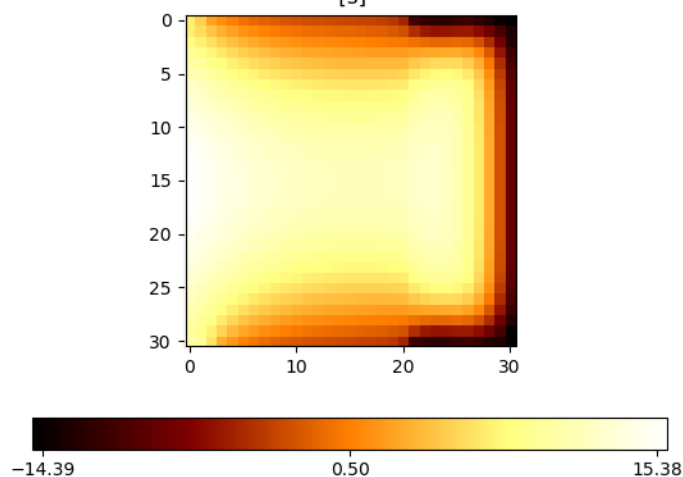
Wykres zmiany temperatury w siatce dla kroku: 2115.0



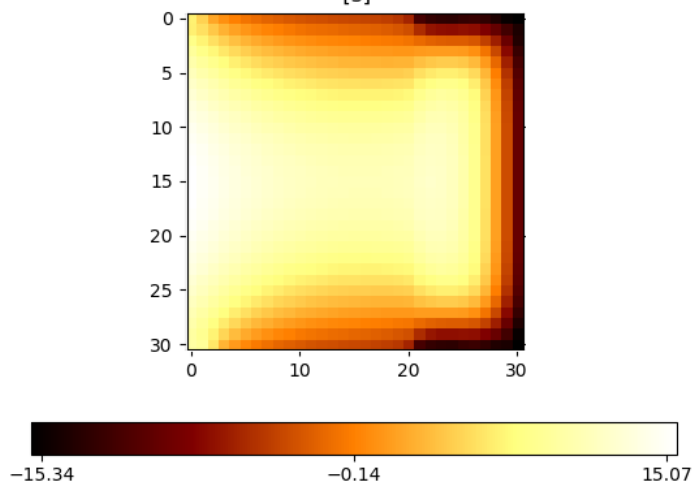
Wykres zmiany temperatury w siatce dla kroku: 2565.0



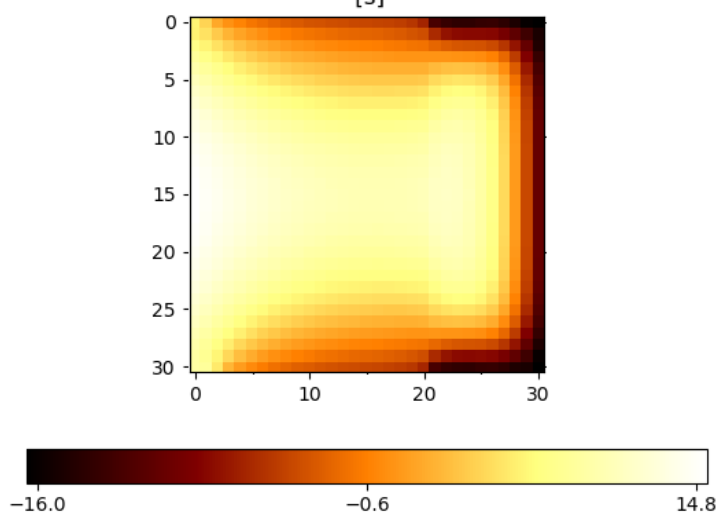
Wykres zmiany temperatury w siatce dla kroku: 2970.0 [s]



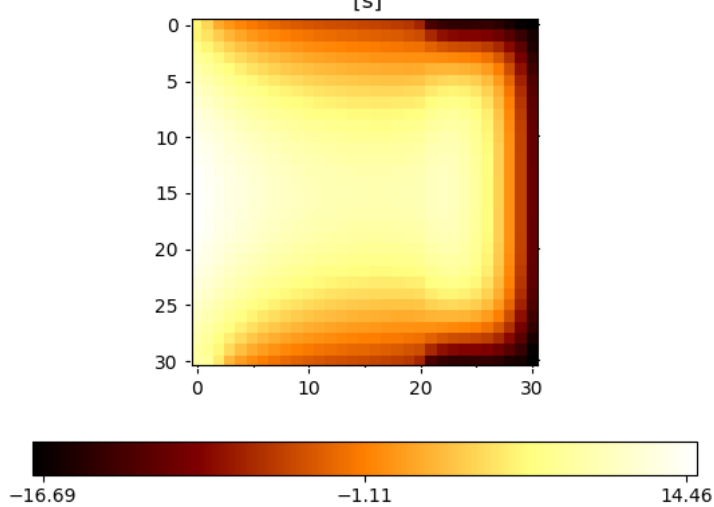
Wykres zmiany temperatury w siatce dla kroku: 3420.0 [s]



Wykres zmiany temperatury w siatce dla kroku: 3780.0 [s]



Wykres zmiany temperatury w siatce dla kroku: 4230.0 [s]



Do wygenerowania powyższych wykresów skorzystałem ze skryptu napisanego w Pythonie korzystając z biblioteki **Matplotlib**. Skrypt znajduje się w folderze „script”.

Skala dobierana była automatycznie, dzięki czemu w najmniejszym kroku 45 sekund widać już najdrobniejsze różnice temperatur w siatce MES.

Wszelkie pliki z zapisanymi danymi zostały zapisane w folderze „wyniki”.

#### 4) Analiza wyników

Zewnętrzna strona ściany zyskała temperaturę niższą od 0°C już po niespełna 8 minutach. Na wykresie zarysowane jest dokładnie położenie izolatorów (od elementu 20 po osi OX), temperatura tam rozchodzi się zupełnie inaczej niż z lewej strony siatki, gdzie znajduje się beton komórkowy. Błoczek miał nieco wyższą temperaturę jednak coraz bliżej jego centrum temperatura z każdym krokiem spadała znacznie szybciej niż w przypadku wełny czy styropianu. Wynika to z tego, że współczynnik przewodzenia betonu komórkowego jest około 7x większy niż w przypadku użytych izolatorów. Na ostatnim wykresie dokładnie widać, że większość styropianu (od elementu 25) uzyskała już niską temperaturę (najcieplejszy element miał zaledwie ok. 6°C), a od strony zewnętrznej

około  $-17^{\circ}\text{C}$ . Wełna natomiast w centrum utrzymywała temperaturę nieco wyższą niż  $10^{\circ}\text{C}$ . W najzimniejszym miejscu miała temperaturę ok.  $-14^{\circ}\text{C}$ .

Oczywiście styropian był najbardziej narażony na działanie niskiej temperatury co widać po wykresach. Najwięcej zaciemnionych punktów znajdują się właśnie dla tego materiału.

Jak widać na załączonych wyżej wykresach temperatura po 70 minutach spadła po zewnętrznej stronie z  $14^{\circ}\text{C}$  do ponad  $-16^{\circ}\text{C}$ .

W przypadku wydłużenia czasu procesu zapewne doszłoby do obniżenia temperatury izolatorów, następnie bloczku i osiągnięcia niskiej temperatury materiałów.

## 5) Wnioski

Wykorzystanie takiej ściany w praktycznym zastosowaniu mija się z celem, co widać po analizie wyników. Ściana traci swoje ciepło bardzo szybko, co powodowałoby znaczną utratę energii cieplnej i byłoby najwyczejniej nieopłacalne ekonomicznie.

Izolatory dobrze spełniają swoją rolę – przepuszczają w niewielkim stopniu temperaturę, co zabezpiecza przed nadmiernymi utratami ciepła.

Odpowiedni dobór materiałów oraz grubości ściany zapewni ochronę przed mrozem, jednakże jak widać materiały izolujące zatrzymują mróz w znacznym stopniu nie pozwalając rozchodzić się zimnu. Naturalnie te właściwości wykorzystywane są od lat w budownictwie, ponieważ niwelują straty cieplne co przekłada się na zatrzymywanie ciepła wewnątrz – więc również koszty ogrzewania maleją. Koszty materiałów oraz ich montaż są tańsze niż ogrzewanie – podczas zimy co roku należy liczyć się z ujemną temperaturą, a ogrzewanie ściany, która szybko traci ciepło - w przeciągu lat zdecydowanie przewyższy koszty montażu izolacji.

Wszelkie materiały znajdują się na moim Githubie i są dostępne pod linkiem:

<https://github.com/wienio/MES>

## 6) Źródła:

[http://bcpw.bg.pw.edu.pl/Content/3721/12jkztc\\_wymiana.pdf](http://bcpw.bg.pw.edu.pl/Content/3721/12jkztc_wymiana.pdf)  
[http://home.agh.edu.pl/~pkustra/MES/FEM\\_transient\\_2d.pdf](http://home.agh.edu.pl/~pkustra/MES/FEM_transient_2d.pdf)  
<http://home.agh.edu.pl/~pkustra/MES/Jakobian.pdf>  
[http://kurtz.zut.edu.pl/fileadmin/BE/Tablice\\_materialowe.pdf](http://kurtz.zut.edu.pl/fileadmin/BE/Tablice_materialowe.pdf)