

**ROK AKADEMICKI:** 2021/2022

**KIERUNEK:** MECHATRONIKA

**SEMESTR:** I

**PRZEDMIOT:** OBLICZENIOWA ANALIZA UKŁADÓW MECHANICZNYCH

**FORMA ZAJĘĆ:** LABORATORIUM

**AUTOR / NUMER INDEKSU:** MARCIN ADAMEK / 139726

**TEMAT:** Analiza porównawcza wymiany ciepła dwóch rodzajów radiatorów.

**DATA OPRACOWANIA:** 14.06.2022r.

## **1. Opis problemu.**

Niniejsza analiza będzie miała na celu porównanie skuteczności odprowadzania ciepła przez dwa rodzaje radiatorów. Pierwszy z nich, jest zmodyfikowanym radiatorem wykorzystywanym w minikomputerze Raspberry Pi. Drugi natomiast ma pionową konstrukcję przypominającą odwróconą piramidę i zainspirowany został projektem z platformy GrabCAD.

Jako kryteria porównawcze zostały przyjęte dwie wartości:

- Czas, po jakim temperatura najbardziej oddalonego punktu od źródła ciepła ustabilizuje się.
- Temperatura, w jakiej najbardziej oddalony punkt ustabilizuje się po określonym czasie.

W przypadku pierwszego kryterium, czym niższy czas, tym większa szybkość odprowadzenia ciepła, więc lepsza oczekiwana właściwość radiatora.

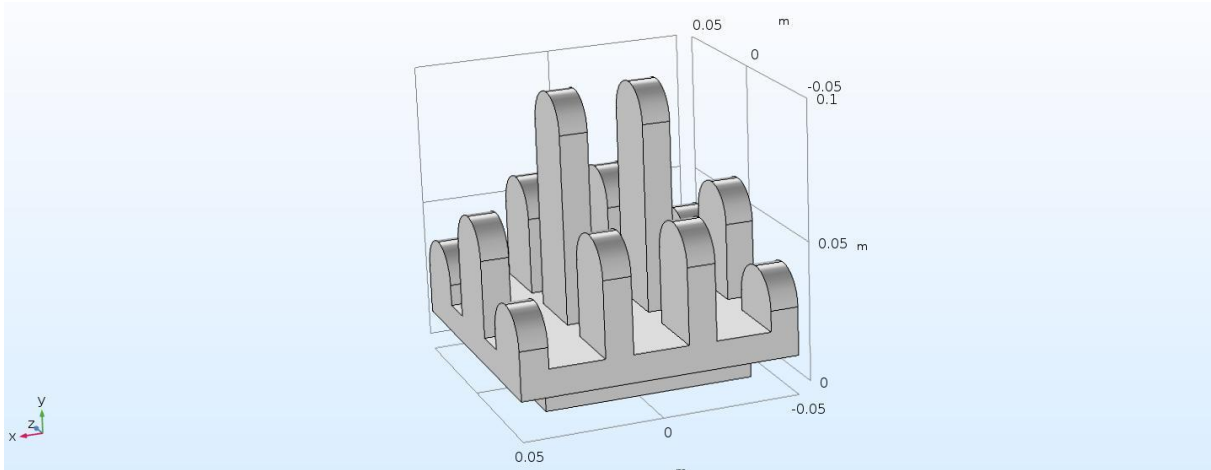
W przypadku drugiego kryterium – czym niższa temperatura danego punktu, tym większa wydajność odprowadzenia ciepła, więc jak wyżej, oczekiwana własność radiatora na wyższym poziomie.

## **2. Opis modelu – geometria, wymiary.**

### **a. Model I – zmodyfikowany radiator Raspberry Pi.**

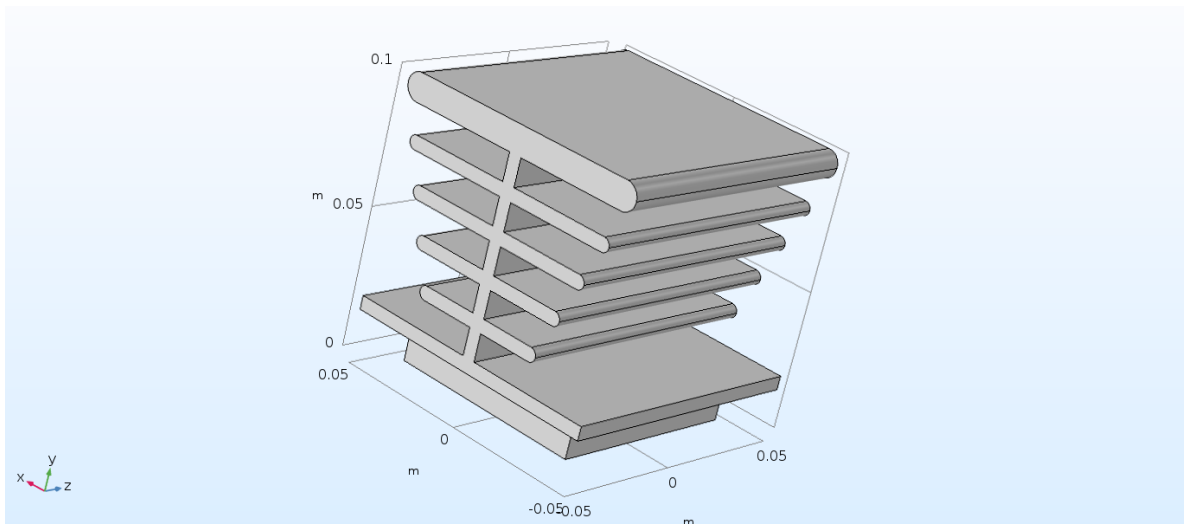
Pierwszym analizowanym radiatorem, jest konstrukcja w kształcie jednej mniejszej płyty przymocowanej do nagrzewającego się obiektu oraz drugiej o większej powierzchni, z której wystają pręty odprowadzające ciepło. W porównaniu do obiektu bazowego, zmienione zostały wysokości prętów – zamiast równej wysokości

wszystkich z nich, zostały one postopniowane na 3 różne wysokości, aby zapobiec ich wzajemnego nagrzewaniu się. Zmieniony został również kierunek zaokrąglenia w górnej części prętów. Zgodnie z założeniami projektu, radiator mieści się w kostce 100x100x100 [mm]. Obie dolne płyty mają grubość 10 [mm], płyta na której oparte są pręty jest w kształcie kwadratu o boku 100mm, zaś same pręty mają 3 różne wysokości – najwyższe w środku 80 [mm], najbardziej skrajne w narożnikach 20 [mm], natomiast pozostałe sześć 40 [mm].



#### **b. Model II – radiator w kształcie odwróconej piramidy.**

Drugi analizowany model charakteryzuje się identycznym polem podstawy dolnych płyt graniczących z nagrzewającym się elementem, co konstrukcja opisywana powyżej, różni się jednak ich grubością (5 oraz 15 [mm]) oraz kształtem górnej części odprowadzającej ciepło. W porównaniu do obiektu podstawowego, wprowadzonymi modyfikacjami były: stopniowanie prętów bocznych konstrukcji oraz zaokrąglenie ich końców. Całość została również przeskalowana, aby zgodnie z wymaganiami projektu mieściła się w gabarycie sześcianu o boku 100 [mm]. Oprócz wcześniej opisanego podstawy, na radiator składa się jego górna część w postaci słupa o wysokości 80 [mm], z którego odprowadzonych jest w równych odstępach 5 par podłużnych prętów. Para znajdująca się najwyżej ma największą objętość, co jest wynikiem jej największej grubości (10 [mm]) oraz długości. Pary poniżej, charakteryzują się równą grubością (5 [mm]) oraz coraz mniejszą długością.



### 3. Opis tworzenia modelu.

#### a. Model I – zmodyfikowany radiator Raspberry Pi.

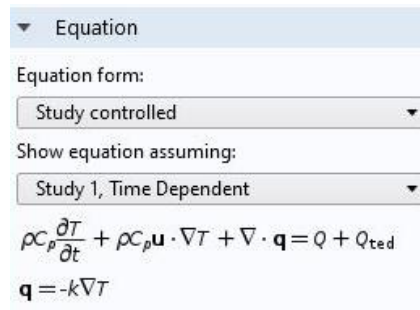
Tworzenie pierwszego modelu rozpoczęto od szkicu kwadratu stanowiącego płytę podstawy, a następnie wyciągnięciu go na odpowiednią wysokość. Podobnie postąpiono z drugą płytą podstawy stanowiącą bazę pod pręty radiatora. Następnym krokiem, było utworzenie szkicu prostokąta w jednym ze skrajnych rogów podstawy, który następnie za pomocą operacji szyku powtórzono w dwóch kierunkach na całej powierzchni radiatora, łącznie składając się na 12 powtórzeń elementu. Kolejnym działaniem, było wyciągnięcie poszczególnych prętów na wysokości wyszczególnione w punkcie powyżej. Ostatnim krokiem, było zaokrąglenie wyciągniętych prętów na ich końcach, co ukształtowało końcową konstrukcję radiatora.

#### b. Model II – radiator w kształcie odwróconej piramidy.

Początek powstawania drugiego modelu był identyczny, co w pierwszym przypadku. Jediną różnicą była grubość płyt podstawy, opisana już uprzednio w punkcie 3. Następnym krokiem, był szkic prostokąta na całej długości podstawy, który po wyciągnięciu utworzył główny słup środkowy, na którym oparte będą pozostałe pręty odprowadzające ciepło. W związku z tym, kolejnym etapem był szkic prostokątów na długości wcześniej utworzonego słupa, a następnie wyciąganie tych szkiców na coraz mniejszą długość, zaczynając od najgrubszego prostokąta na samej górze. Ostatnim etapem, podobnie jak w przypadku wcześniejszego modelu, było zaokrąglenie końców stworzonych prętów, jednak w przeciwieństwie do poprzedniego przypadku, zaokrąglona została ich dłuższa krawędź.

#### 4. Model matematyczny, wg którego zostało przeprowadzone badanie, warunku brzegowe.

Model matematyczny transferu temperatury został zdefiniowany jednakowo dla obu badań:



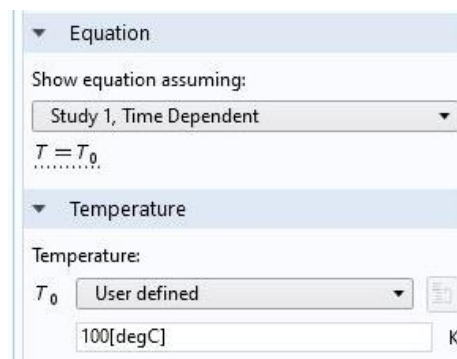
Equation form:  
Study controlled

Show equation assuming:  
Study 1, Time Dependent

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q + Q_{ted}$$
$$\mathbf{q} = -k \nabla T$$

Dodatkowo, w badaniu wykorzystano dwa moduły definiujące warunki brzegowe:

- Temperatura, przyłożona jedynie do dolnej powierzchni radiatora, która oznacza nagrzewający się przedmiot o wartości 100 [°C]:



Show equation assuming:  
Study 1, Time Dependent

$$T = T_0$$

Temperature:  
T<sub>0</sub> User defined 100[degC] K

- Strumień ciepła, przyłożony do całej powierzchni modelu, za wyjątkiem dolnej podstawy ze zdefiniowaną temperaturą otoczenia wynoszącą 20 [°C] oraz współczynnikiem przewodności temperaturowej  $h = 40 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$ :

Equation

Show equation assuming:

Study 1, Time Dependent

$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = q_0$

$q_0 = h(T_{\text{ext}} - T)$

Heat Flux

General inward heat flux

Convective heat flux

$q_0 = h \cdot (T_{\text{ext}} - T)$

Heat transfer coefficient:

User defined

Heat transfer coefficient:

$h$  40 W/(m<sup>2</sup>·K)

External temperature:

$T_{\text{ext}}$  User defined

293.15[K] K

## 5. Opis właściwości mechanicznych i termicznych materiału.

W celu wyeliminowania potencjalnych różnic, wynikających z właściwości materiałowych radiatorów, dla obu zdecydowano się na jeden wspólny materiał – stop aluminium 1050. Charakteryzuje się on bardzo dobrą odpornością na korozję atmosferyczną. Posiada wysoką przewodność cieplną i termiczną. Jest dobrze spawalny i podatny do anodowania dekoracyjnego. Nie nadaje się do obróbki skrawaniem. Jest plastyczny oraz podatny do gięcia. Poniżej zawarto tabele opisujące jego skład chemiczny oraz właściwości fizyczne.

### SKŁAD CHEMICZNY

Al	min. 99,50
Fe	max. 0,40 %
Si	max. 0,25 %
Zn	max. 0,07 %
Ti	max. 0,05 %
Mg	max. 0,05 %
Mn	max. 0,05 %
Cu	max. 0,05 %
Inne	max. 0,03 %

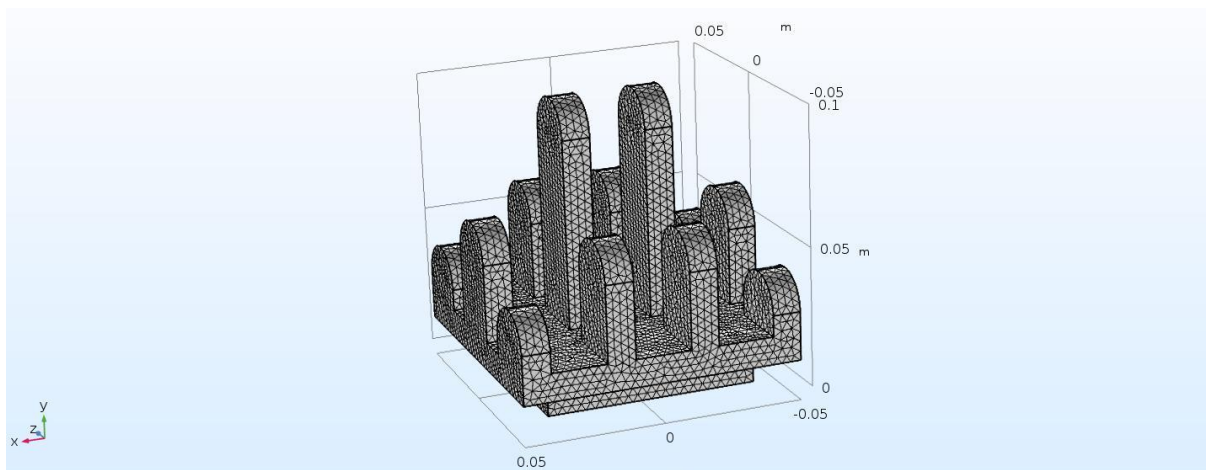
## WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE

Gęstość:	g/cm <sup>3</sup>	2,70
Moduł sprężystości E:	MPa	69000
Moduł sprężystości poprzecznej G:	MPa	25900
Liczba Poissona:		0.33
Temperatura krzepnięcia:	°C	645
Temperatura płynięcia:	°C	658
Ciepło właściwe:	J/kgK	899
Współczynnik rozszerzalności cieplnej:	µm/mK	23,5
Opór właściwy:	nΩm	29
Przewodność cieplna:	W/mK	229
Przewodność elektryczna:	%IACS	59,5

### 6. Opis metody, siatki elementów skończonych – ich liczba, rodzaj, funkcje kształtu.

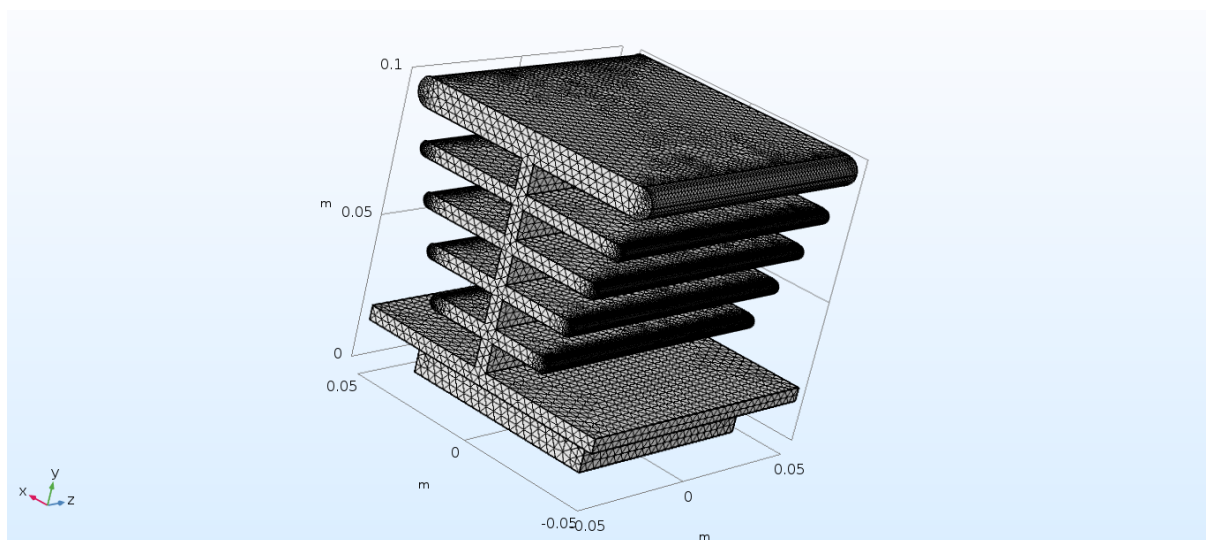
#### a. Modyfikacja radiatora Raspberry Pi.

Siatka dla pierwszego z badanych modeli, charakteryzuje się znacznie mniejszym stopniem skomplikowania niż w przypadku drugiego badanego przypadku. Przyczyną tego stanu rzeczy jest najprawdopodobniej znacznie prostsza geometria oraz większe grubości prętów, dzięki czemu nie było konieczności dodatkowego zagęszczania siatki. Podejście opisane powyżej poskutkowało znacznie mniejszą liczbą elementów skończonych wynoszącą 105116 oraz liczbą stopni swobody, dla których zostały przeprowadzone obliczenia wynoszącą 22991. Czas badania został ustalony tak jak w przypadku drugim, tj. na 15 minut z krokiem co 0,05 [s], co przełożyło się na łączny czas obliczeń wykonywanych przez komputer wynoszący 125 [s].



### **b. Radiator w kształcie odwróconej piramidy.**

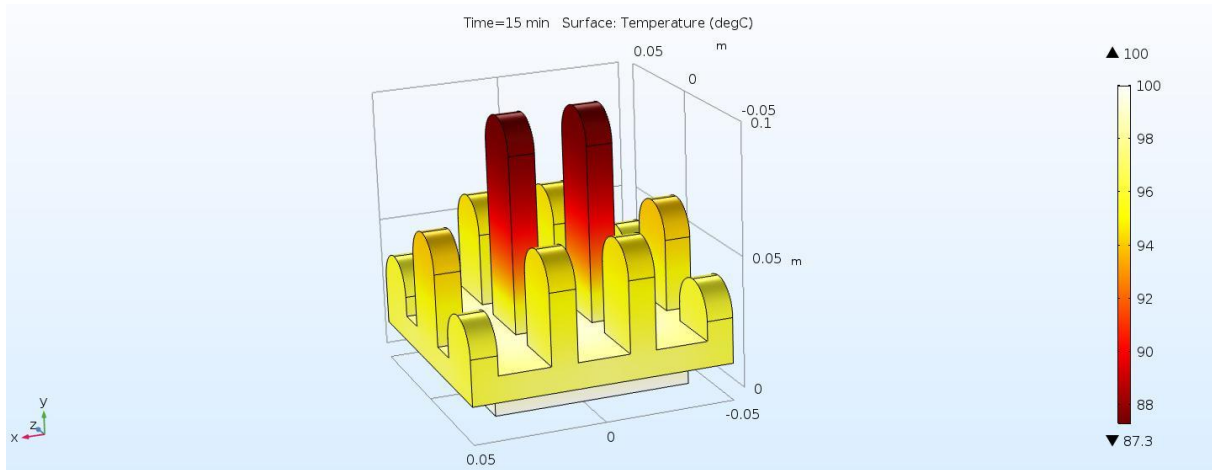
Podczas tworzenia siatki elementów skończonych dla tego radiatora, ta zaproponowana przez program nie była wystarczająco dokładna, ze względu na zbyt małą liczbę elementów skończonych na grubości prętów. Dopiero znaczne jej zagęszczenie pozwoliło na uzyskanie przynajmniej dwóch elementów na grubości pręta, co zostało uznane za wystarczającą dokładność, która jednocześnie wydłużyła czas przeprowadzania analizy do akceptowalnego stopnia. Ostatecznie ilość elementów skończonych dla tego badania wyniosła 363991, co przełożyło się na obliczenia rozwiązania dla 78116 stopni swobody układu. Jako że badania to zostało zdefiniowane jako zależne od czasu, badany okres został zdefiniowany jako 15 minut, z krokiem co 0,05 minuty (3 sekundy). Powyższe parametry, przełożyły się na czas obliczeń wynoszący 115 sekund (1 minutę 55 sekund).



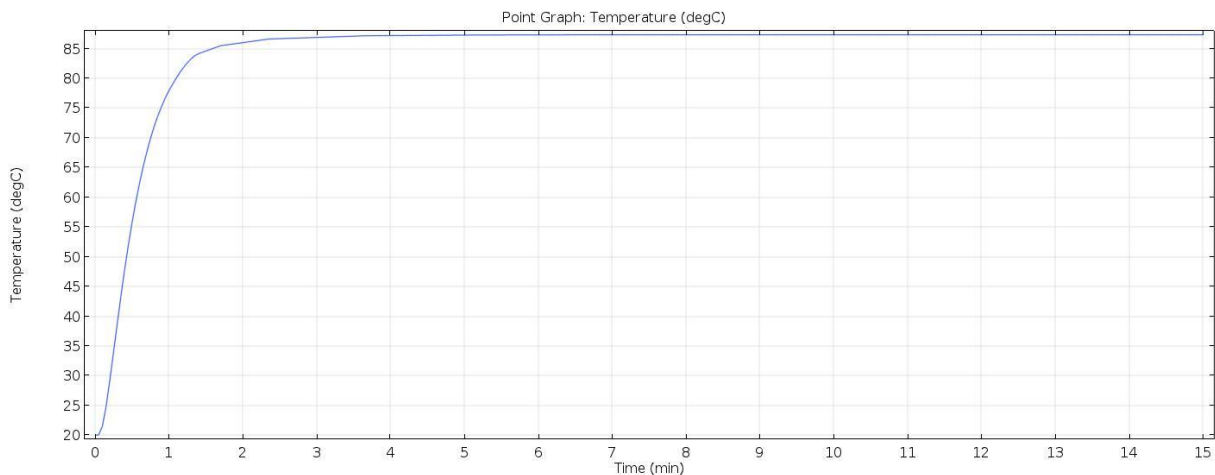
## 7. Opis otrzymanych wyników wraz z graficzną ich prezentacją.

### a. Modyfikacja radiatora Raspberry Pi.

Parametry opisane powyżej pozwoliły na uzyskanie następujących wyników:



Powyższy obraz układu, jest stanem po upływie 15 minut w zadanych warunkach. W tym przypadku, najniższą osiągniętą temperaturą było 88 [°C], co oznacza niedużą skuteczność tego typu konstrukcji w odprowadzaniu ciepła. Jak widać najbardziej wydajne okazały się w tym przypadku dwa środkowe, najwyższe pręty, co może sugerować, że zwiększenie wysokości pozostałych przyniosłoby lepsze wyniki.

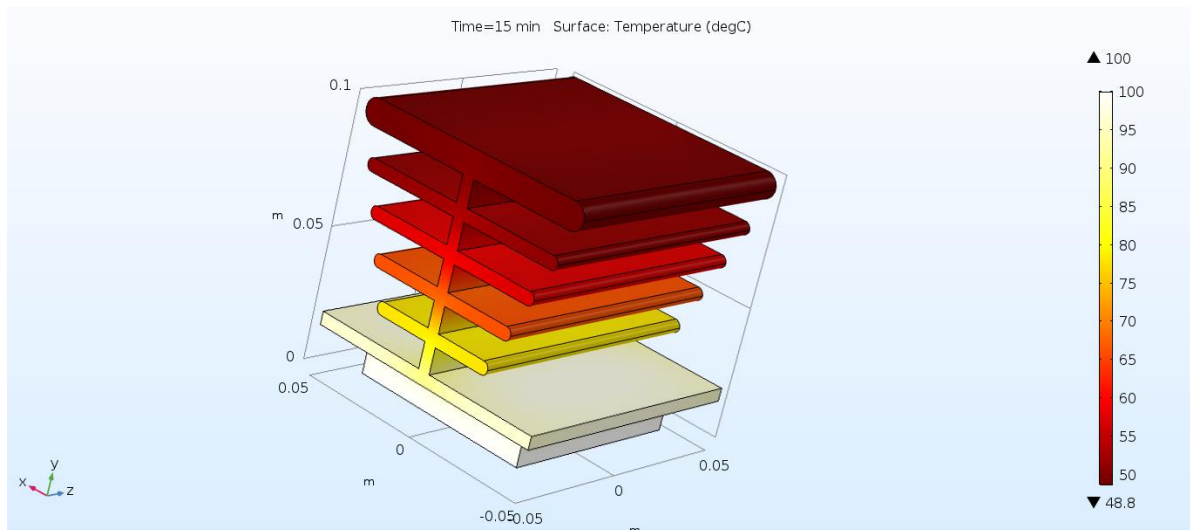


Powyższy wykres przedstawia zmianę temperatury w czasie w najwyższym punkcie konstrukcji – jak widać, temperatura ustabilizowała się już po czasie ok. 3 minut, co jest znacznie lepszym wynikiem niż konstrukcja druga, jednak jest to stabilizacja na znacznie wyższym poziomie, co potwierdza mniejszą zdolność do odprowadzania ciepła.

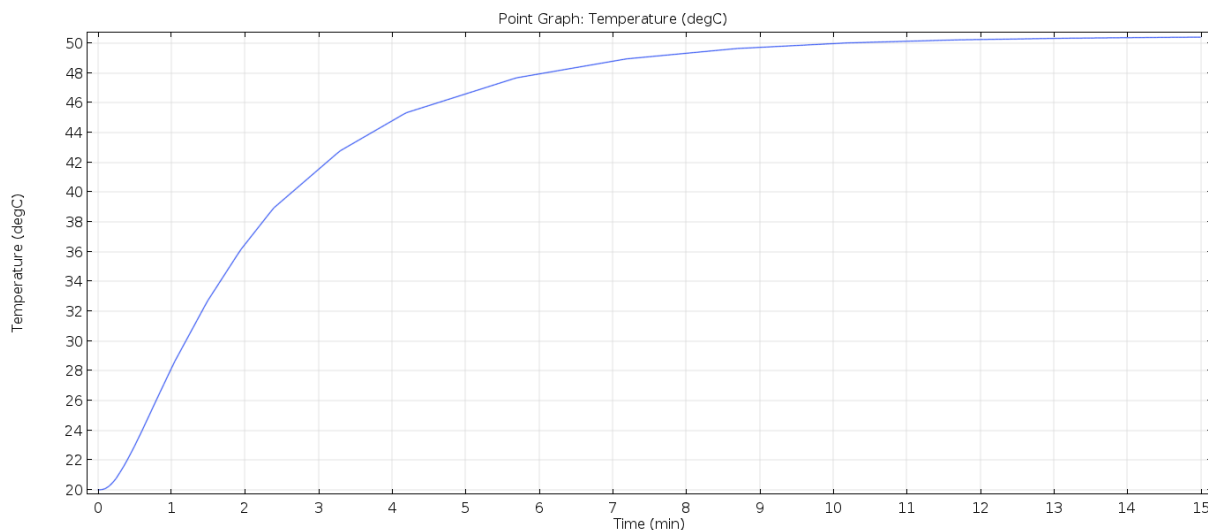


## b. Radiator w kształcie odwróconej piramidy.

Badanie opisane w powyższych punktach, przełożyła się na poniższe wyniki symulacji:



Zaprezentowany widok, jest stanem układu na końcu przeprowadzonej analizy, tj. po 15 minutach w zadanych warunkach. Jak widać, najniższą osiągniętą temperaturą osiągniętą u szczytu konstrukcji, w punkcie najdalej oddalonym od źródła ciepła jest 50 [°C]. Poniższy wykres, przedstawia zmianę temperatury tego punktu w funkcji czasu:



Na podstawie powyższej zależności możemy stwierdzić, że temperatura stabilizuje się na danym poziomie po około 10 minutach.

## **8. Badanie wpływu wybranych parametrów (np. liczby elementów skończonych) na wyniki.**

Powyższe wyniki analiz prawdziwe są jedynie dla opisanych warunków przyjętych jako charakterystyka badanego procesu. Poniższe zmiany mogą implikować następujące różnice w wynikach.

- Większa liczba elementów skończonych mogłaby zwiększyć dokładność badania na objętości konstrukcji, jednak jednocześnie doszłoby do znacznego wydłużenia czasu obliczania wyniku.
- Aby zachować taki sam czas obliczenia wyników analizy przez komputer możliwe byłoby wydłużenie zadanego czasu analizy przy jednoczesnym rozrzedzeniu kroku badania – takie podejście zwiększyłoby okres możliwy do analizy, przy jednoczesnym zmniejszeniu możliwości wyboru dowolnej chwili w trakcie analizy.
- Możliwa jest również manipulacja temperaturami zadanymi w ramach warunków brzegowych – większa temperatura otoczenia przełożyłaby się na mniejszą wydajność oddawania ciepła przez radiator oraz wyższą temperaturę w badanych punkcie, podczas gdy wyższa zadana temperatura obiektu chłodzonego przez radiator również przełożyłaby się na wyższą temperaturę w badanym punkcie.
- Zmiana materiału radiatora, a za co tym idzie – zmiana jego charakterystyk materiałowych również miała by wpływ na wyniki w zależności od wyboru nowego materiału – mogłaby wpływać tak na wydajność, jak i osiągnięte skrajne temperatury.
- Ostatnim parametrem możliwym do zmiany, byłyby wymiary gabarytowe analizowanej konstrukcji. Podobnie jak w powyższym punkcie, zmiany mogłyby obejmować maksymalną osiąganą temperaturę, lub wydajność jej odprowadzania.