

ROK AKADEMICKI: 2021/2022

KIERUNEK: Mechatronika – II stopień, stacjonarnie

SEMESTR: 1

PRZEDMIOT: Obliczeniowa analiza układów mechanicznych

FORMA ZAJĘĆ: Laboratorium

AUTOR / NUMRE INDEKSU: Piotr Baran / 139728

TEMAT: Analiza porównawcza wymiany ciepła trzech rodzajów radiatorów

DATA OPRACOWANIA: 14.06.2022

## Spis treści

1. CEL PROJEKTU/CEL ANALIZY .....	2
2. OPIS MODELI .....	3
3. WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁOWE .....	4
4. WARUNKI BRZEGOWE .....	5
5. USTAWIENIA SIATKI .....	9
6. ANALIZA TERMICZNA – PRZEBIEG BADAŃ .....	BŁĄD! NIE ZDEFINIOWANO ZAKŁADKI.
7. WYNIKI ANALIZY .....	10
8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI .....	13
BIBLIOGRAFIA .....	13

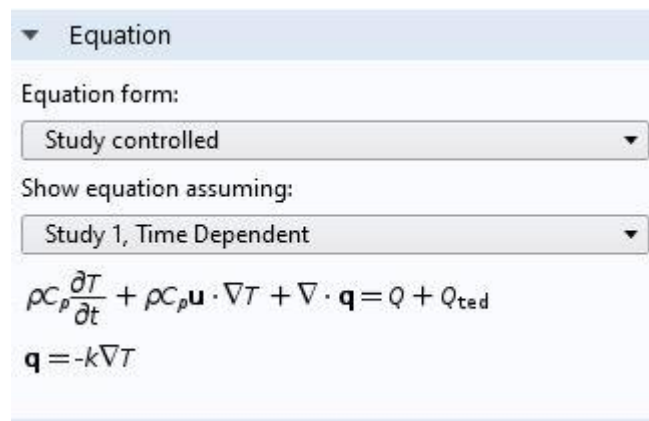
## 1. Cel projektu/Cel analizy

Celem analizy było zbadanie rozkładu temperatury w funkcji czasu dla różnego rodzaju radiatorów, czyli elementów lub zespół elementów odprowadzający ciepło z układu, z którym się styka, do otoczenia. Otrzymane rozkłady temperatury zostały ze sobą porównane, w celu znalezienia najbardziej wydajnej geometrii. Zaproponowane zostały trzy radiatory, które różnią się od siebie kształtem, ale wszystkie mieszczą się w przestrzeni 10x10x10cm oraz wszystkie mają taką samą powierzchnię przyłożenia temperatury, którą mają odprowadzać. Do analizy zastosowano program COMSOL 5.3 z modułem heat transfer.

Kryteria porównawcze, za pomocą których określono skuteczność badanej konstrukcji:

- Czas, po jakim temperatura najdalej oddalonego, od punktu przyłożenia temperatury, ustabilizuje się. (Dla tego kryterium, im niższy czas, tym radiator będzie charakteryzował się większą szybkością odprowadzenia ciepła)
- Temperatura, w jakiej najbardziej oddalony punkt ustabilizuje się po określonym czasie. (Dla tego kryterium, im niższa temperatura najdalej oddalonego punktu, tym radiator będzie charakteryzował się większą wydajnością odprowadzenia ciepła)

Do rozwiązywania poniższej analizy program COMSOL używa następującego równania:



Equation form: Study controlled

Show equation assuming: Study 1, Time Dependent

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

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q + Q_{ted}$$

gdzie:

$$\mathbf{q} = -k \nabla T$$

$\rho$  – gęstość

$C_p$  – pojemność cieplna

$t$  – czas

$k$  – tensor przewodności cieplnej

$Q$  – źródło ciepła

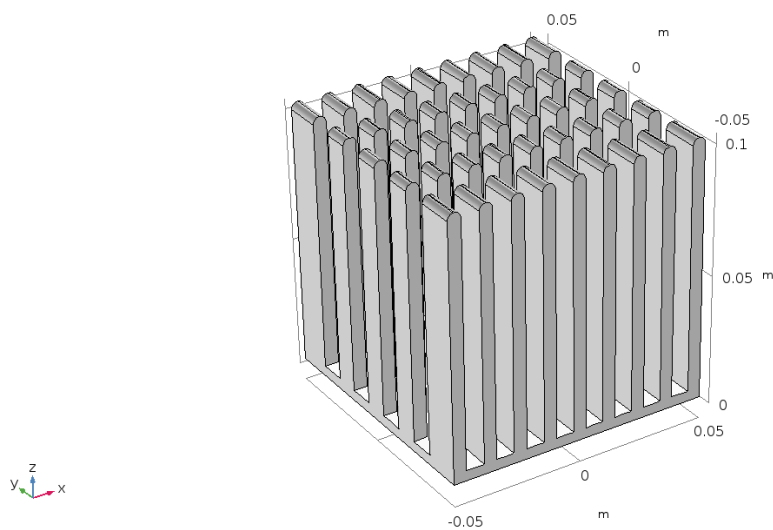
$T$  – temperatura

$\nabla$  – operator Nabla

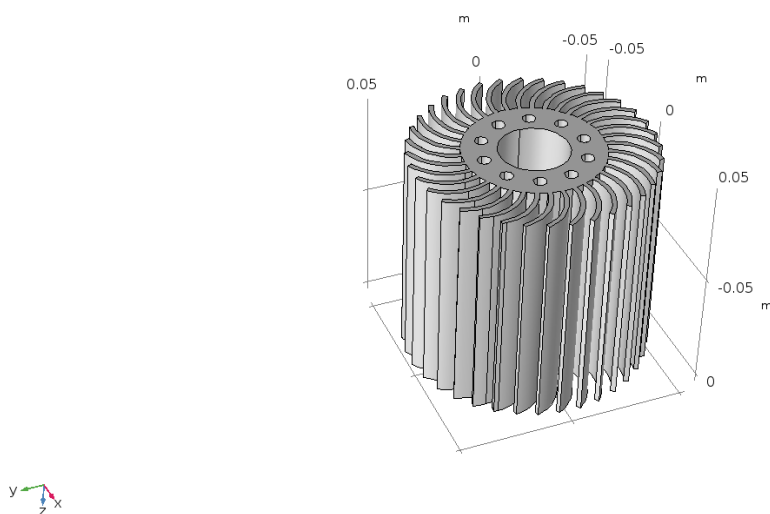
## 2. Opis modeli

Analizie zostały podane 3 różne modele radiatorów. Wszystkie z nich zostały wykonane w programie SolidWorks 2020 i wszystkie z nich mieszczą się w przestrzeni 10x10x10 [cm]. Dodatkowo miejsce przyłożenia ciepła do każdego z radiatorów jest równe dla wszystkich modeli.

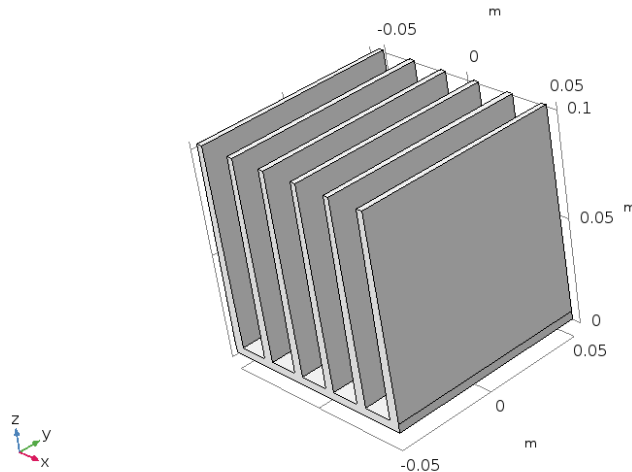
- a) Radiator I – jest to propozycja powszechnie stosowana w aktualnych układach elektronicznych, z tą różnicą, że została ona dostosowana do przestrzeni 10x10x10cm. Sam model został wykonany poprzez wyciągnięcie podstawy, a następnie narysowaniu jednego rzędu prętów i wyciągnięciu go w górę. Ostatnim etapem tworzenia poniższego radiatora powielenie prętów całą szerokość, w tym celu zastosowano szyk liniowy dla ostatniej operacji wyciągnięcia.



- b) Radiator II – jest to autorska propozycja radiatora, która została zainspirowana konstrukcją radiatorów stosowanych z wentylatorami. Została ona wykonana poprzez naszkicowanie płaszczyzny widocznej od góry, a następnie na wyciągnięciu jej na wysokość 10cm. Ostatnim etapem było wycięcie otworów w radiatorze za pomocą operacji wycięcia.



- c) Radiator III – jest to propozycja, podobnie jak radiator I, powszechnie stosowana w elektronice i także została dostosowana do przestrzeni 10x10x10cm. Kolejne etapy tworzenia tego radiatora były takie same jak dla pierwszej zaproponowanej konstrukcji.



### 3. Właściwości materiałowe

W analizie przyjęto, że każdy radiator zostały wykonane z tego samego materiału, czyli stopu aluminium 1050. Zabieg ten miał na celu wyeliminowanie wpływu właściwości materiału, na wyniki. Wybrany stop aluminium charakteryzuje się on bardzo dobrą odpornością na korozję atmosferyczną oraz posiada bardzo dobrą przewodność cieplną. Z właściwości mechanicznych, charakteryzuje się on dobrą plastycznością. W poniżej tabeli zawarto właściwości fizyczne wybranego materiału oraz jego skład chemiczny.

#### 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	546
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

### 4. Warunki brzegowe

Warunki brzegowy zostały przyjęte takie same dla każdego radiatora. Wynosiły one:

$T_{\text{zad}} = 100 \text{ °C}$  – temperatura obiektu, z którego radiator odprowadzał temperaturę.

Equation

Show equation assuming:

Study 1, Time Dependent

$T = T_0$

Temperature

Temperature:

$T_0$  User defined

100 [degC] K

Constraint Settings

Heat flux =  $40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  – współczynnik przewodności temperaturowej

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

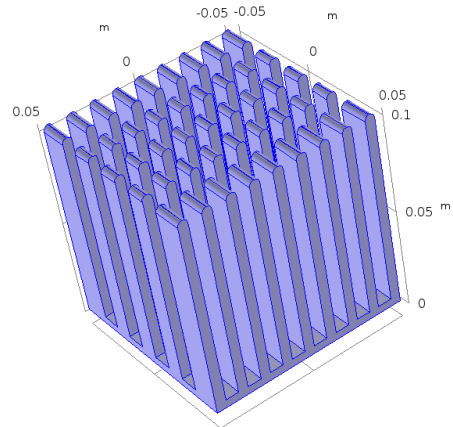
Heat rate

$q_0 = \frac{P_0}{A}$

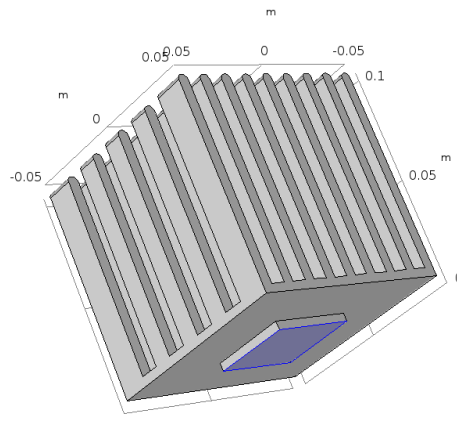
Totoczenia = 20 °C – temperatura otoczenia, w którym znajduje się radiator

a) Radiator I:

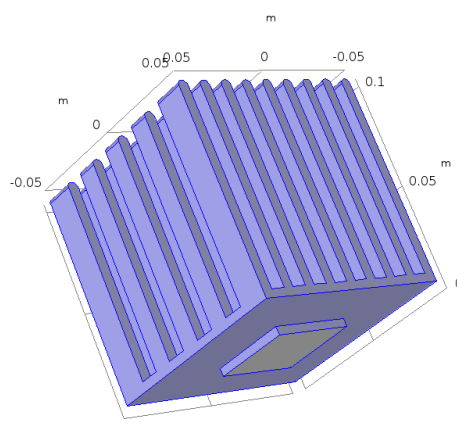
- Temperatura otoczenia



- Temperatura zadana

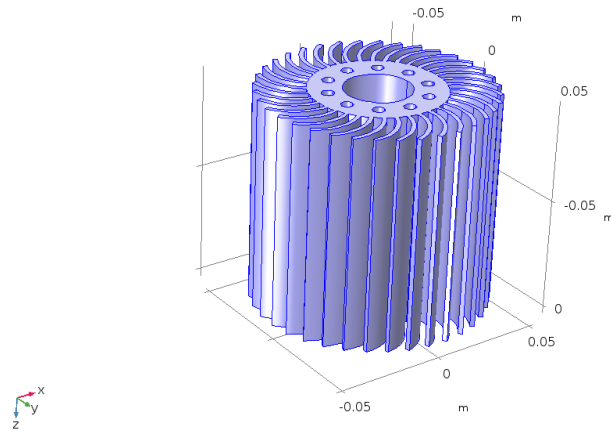


- Heat flux

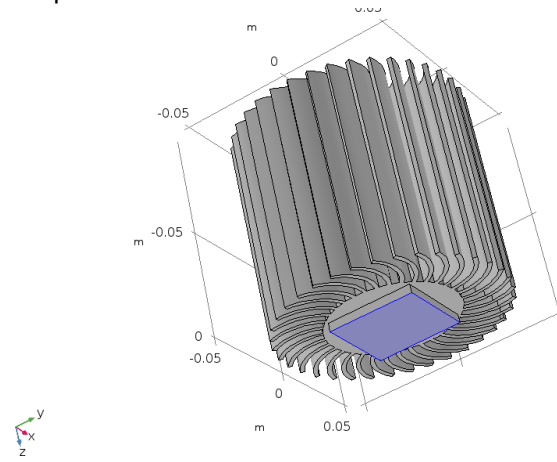


b) Radiator II:

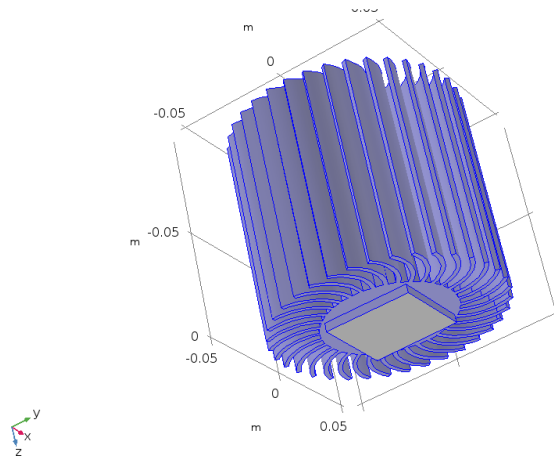
- Temperatura otoczenia



- Temperatura zadana

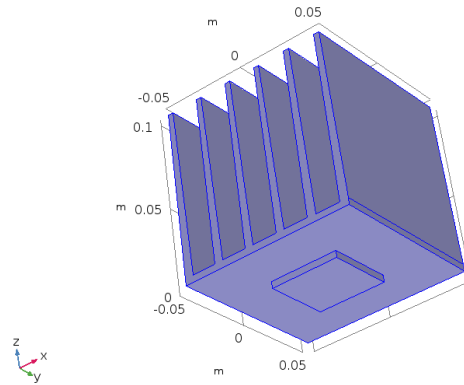


- Heat flux

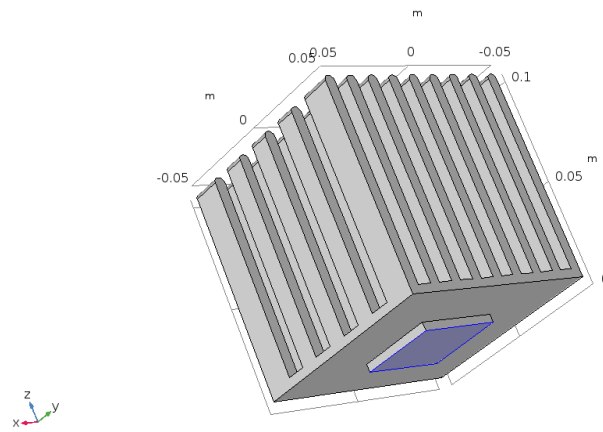


c) Radiator III:

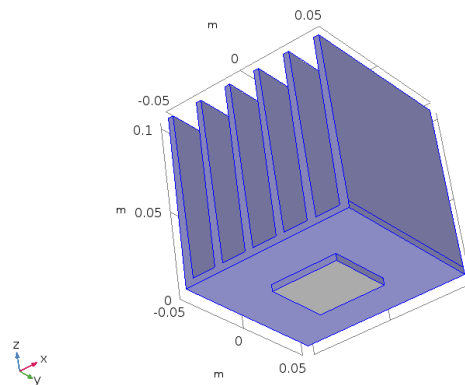
- Temperatura otoczenia



- Temperatura zadana



- Heat flux

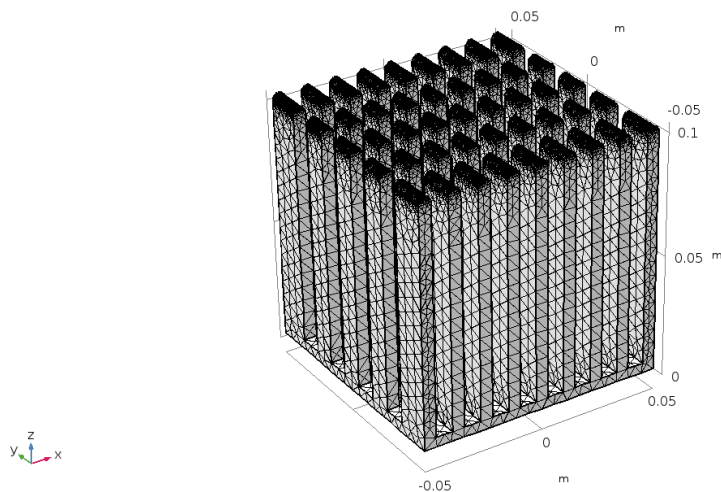




## 5. Ustawienia siatki

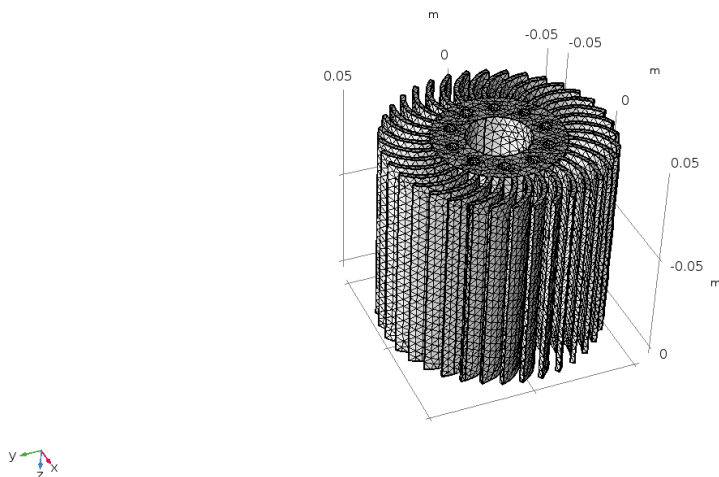
### a) Radiator I:

- Domyślna siatka proponowane przez oprogramowanie COMSOL, nie spełniała podstawowego kryterium, czyli liczba elementów skończonych na grubości prętów nie wynosiła co najmniej dwa. W tym celu dokonano zagęszczenia siatki, które pozwoliło spełnić podstawowy warunek. Ostatecznie ilość elementów wyniosła 148425 elementów skończonych.

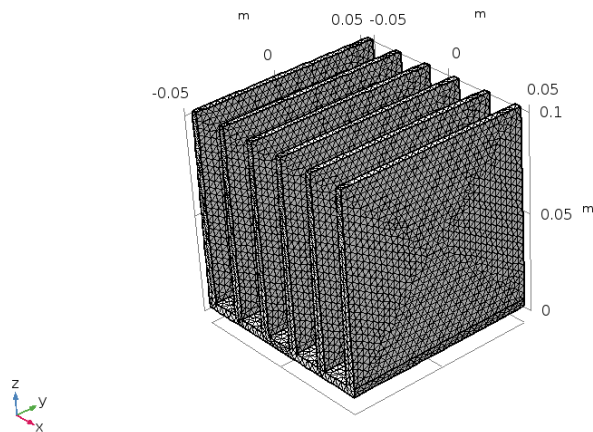


### b) Radiator II:

- Domyślną siatkę zaproponowaną przez program uznano za wystarczająco dokładną, czyli nie było potrzebny dodatkowego zagęszczenia jej. Ostatecznie ilość elementów wyniosła 138303 elementów skończonych.

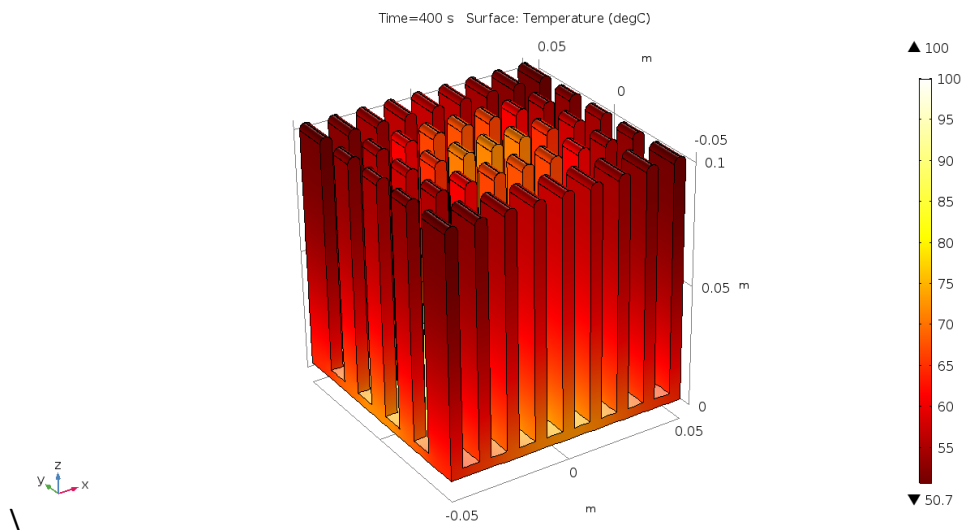


- c) Radiator III:  
- Domyślną siatkę zaproponowaną przez program uznano za wystarczająco dokładną, czyli nie było potrzebny dodatkowego zagęszczenia jej. Ostatecznie ilość elementów wyniosła 78303 elementów skończonych.

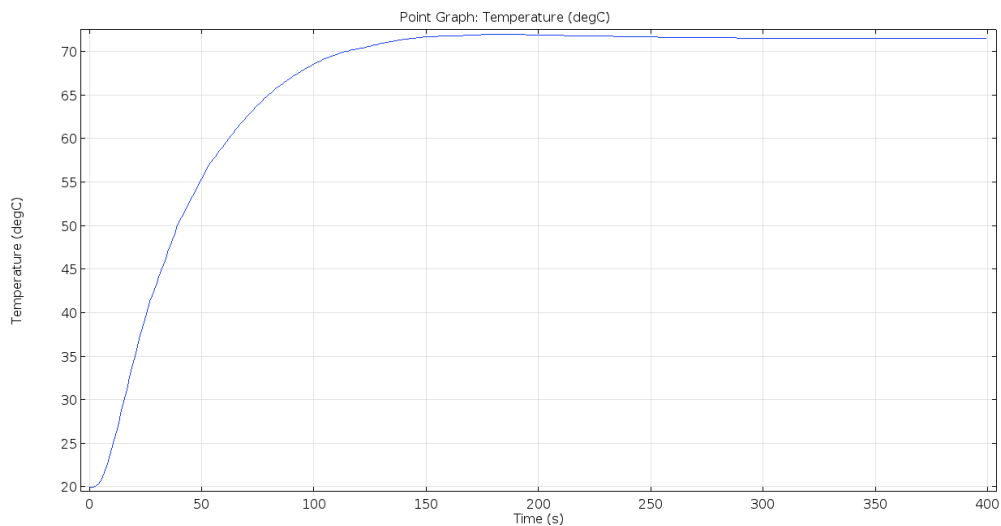


## 6. Wyniki analizy

- a) Radiator I :

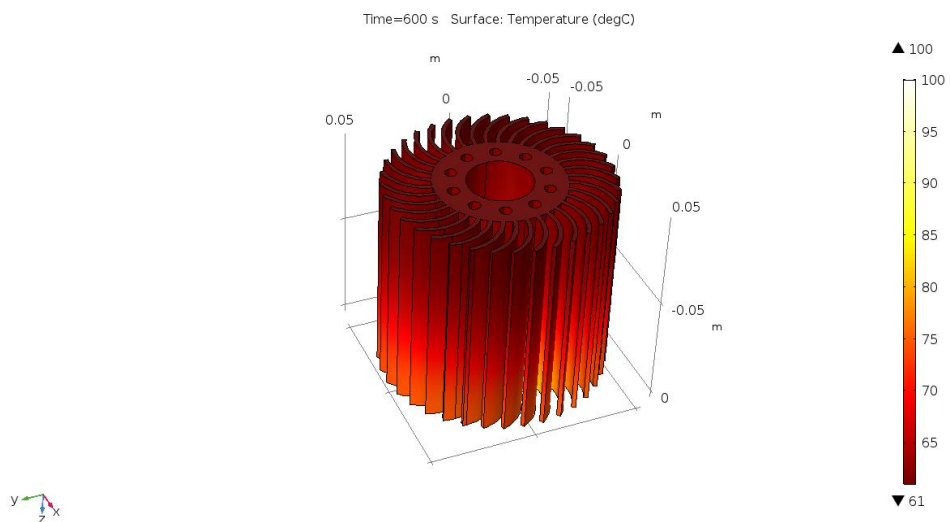


Na powyższym widoku widnieje rozkład temperatury po czasie 400s, które został otrzymany na końcu przeprowadzonej analizy. Najniższa osiągnięta temperatura u szczytu konstrukcji, w punkcie najdalej oddalonym o przyłożonej temperatury równej 100 °C, wyniosła 50,7 °C . Wykres poniżej przedstawia zmianę temperatury tego właśnie punktu w czasie.

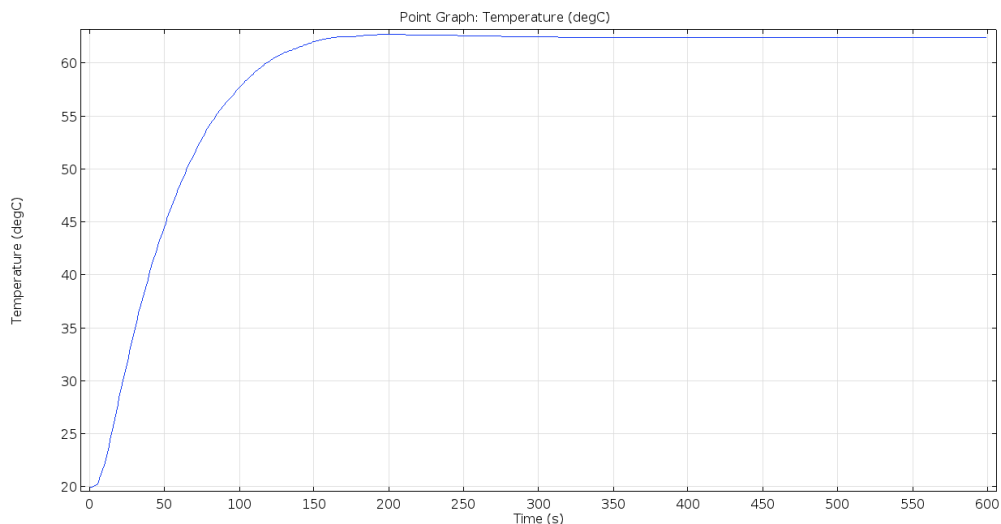


Na podstawie powyższego wykresu widać, że temperatura stabilizuje się po około 200s, więc można przyjąć, że analizę można skrócić do czasu równego około 200-250s.

b) Radiator II:

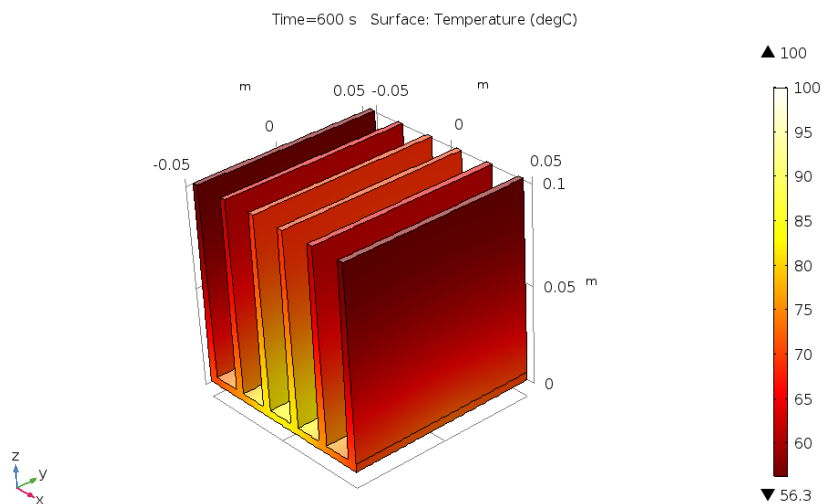


Na powyższym widoku widnieje rozkład temperatury po czasie 600s, które został otrzymany na końcu przeprowadzonej analizy. Najniższa osiągnięta temperatura u szczytu konstrukcji, w punkcie najdalej oddalonym o przyłożonej temperatury równej 100 °C, wyniosła 61 °C. Wykres poniżej przedstawia zmianę temperatury tego właśnie punktu w czasie.

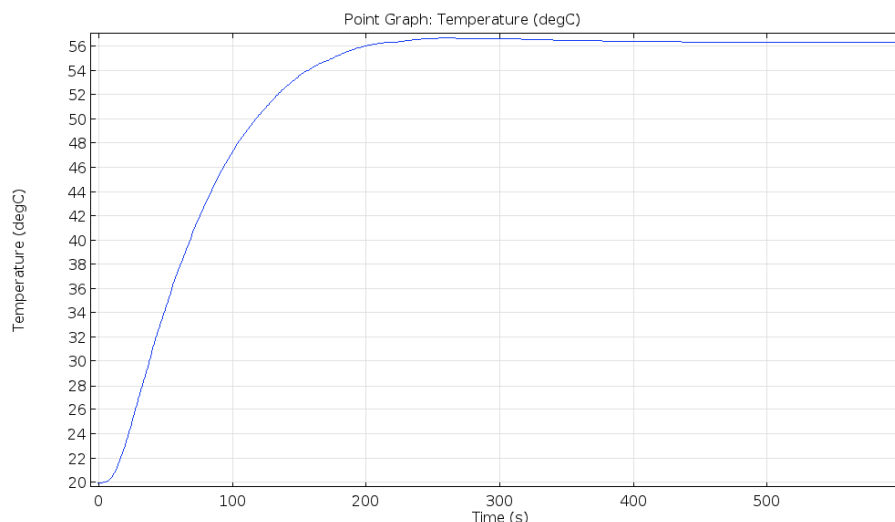


Na podstawie powyższego wykresu widać, że temperatura stabilizuje się po około 250s, więc można przyjąć, że analizę można skrócić do czasu równego około 300s.

c) Radiator III:



Na powyższym widoku widnieje rozkład temperatury po czasie 600s, które został otrzymany na końcu przeprowadzonej analizy. Najniższa osiągnięta temperatura u szczytu konstrukcji, w punkcie najdalej oddalonym o przyłożonej temperatury równej 100 °C, wyniosła 56,3 °C. Wykres poniżej przedstawia zmianę temperatury tego właśnie punktu w czasie.



Na podstawie powyższego wykresu widać, że temperatura stabilizuje się po około 300s, więc można przyjąć, że analizę można skrócić do czasu równego około 350s.

## 7. Podsumowanie i wnioski

- Zestawiając ze sobą wyniki dla wszystkich trzech radiatorów można uznać, że pod kątem rozpatrywanych kryteriów, radiator numer 1 okazał się najlepszy, natomiast radiator numer 3 najgorszy.
- Radiator numer 1 najszybciej stabilizuje swoją temperaturę i dodatkowo uzyskuje to przy najniższej temperaturze najdalej oddalonego punktu.
- Podczas prowadzonych analiz dla różnych ilości elementów skończonych dla tych samych radiatorów można było zauważyć, że zwiększała się dokładność badania, ale dodatkowo rósł także czas wykonywania obliczeń przez program.
- Parametrami, którymi była możliwość manipulowania były: materiał, zadane temperatury, współczynnikiem heat flux, ale w celu znalezienia najlepszego radiatora zastosowano jednakowe parametry.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] [Zienkiewicz1971] O.C. Zienkiewicz, Metoda elementów skończonych, Warszawa, 1972.
- [2] [Sikora2012] Jan Sikora, Numeryczne metody rozwiązywania zagadnień brzegowych. Podstawy metody elementów skończonych i metody elementów brzegowych (eBook), Politechnika Lubelska, Wydanie: 1, 2012. ISBN: 978-83-62596-85-0