

ROK AKADEMICKI: 2021/2022

KIERUNEK: MECHATRONIKA

SEMESTR: I

PRZEDMIOT: OBLICZENIOWA ANALIZA UKŁADÓW MECHANICZNYCH

FORMA ZAJĘĆ: LABORATORIUM

AUTOR: DANIEL KRUSZEWSKI – KOŚCIUSZENKO

NR ALBUMU: 141750

TEMATYKA: ANALIZA MES DOTYCZĄCA WYMIANY CIEPŁA DLA
ZAMODELOWANYCH RADIATORÓW

DATA OPRACOWANIA: 15.06.2022

1. Zaprojektowanie modeli radiatorów w programie SOLIDWORKS

• kroki tworzenia modeli

W programie SOLIDWORKS zostały zaprojektowane dwa modele radiatorów różniących się między sobą ilością żeber, a co się z tym wiąże także odstępami między nimi. Wymiary gabarytowe były określone na 100 x 100 x 20 [mm]. Geometria oraz poszczególne wymiary radiatorów zostały zamieszczone w kolejnym podpunkcie.

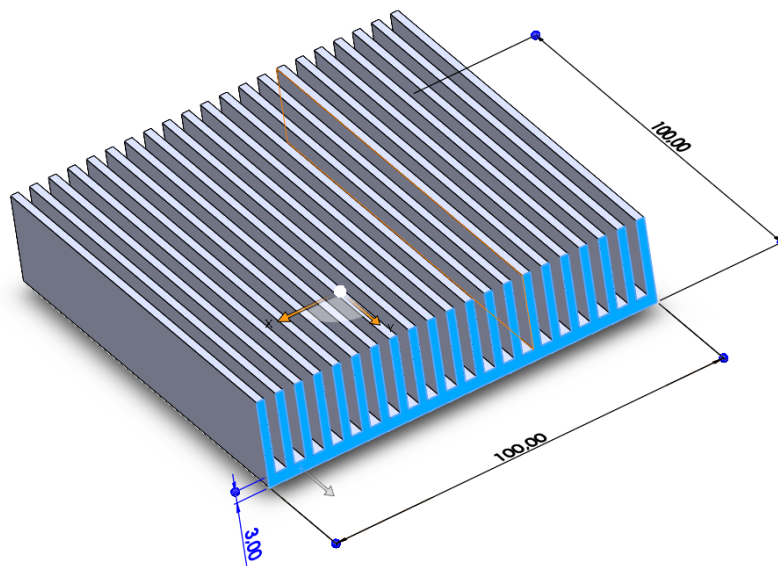
Zbudowanie modeli opierało się w kolejności na:

- zamodelowaniu prostopadłościanu będącego podstawą radiatora,
- zamodelowaniu powierzchni (bazy) pod podstawą radiatora, na którą będzie oddziaływać bezpośrednio temperatura z wybranego komponentu (np. karty graficznej, procesora, etc.),
- zamodelowaniu ścianek (żeber) radiatora.

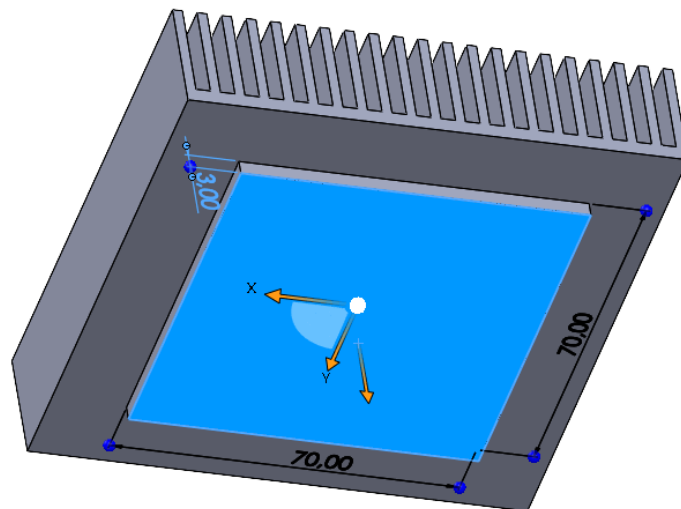
Następnie przygotowane modele zostały wyeksportowane do plików z rozszerzeniem .step, który umożliwia ich dalszy import do programu COMSOL Multiphysics.

• opis modeli (geometria, wymiary)

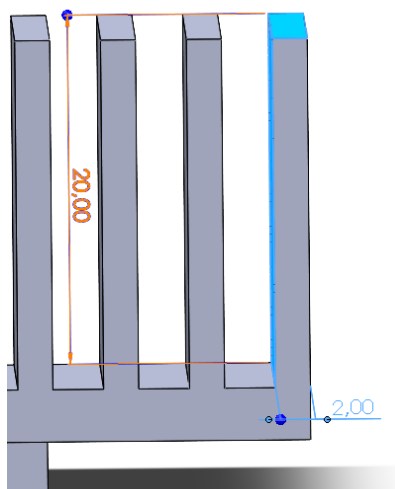
a) model I – 21 żeber, odstęp między żebrami wynoszący 2,9 [mm]



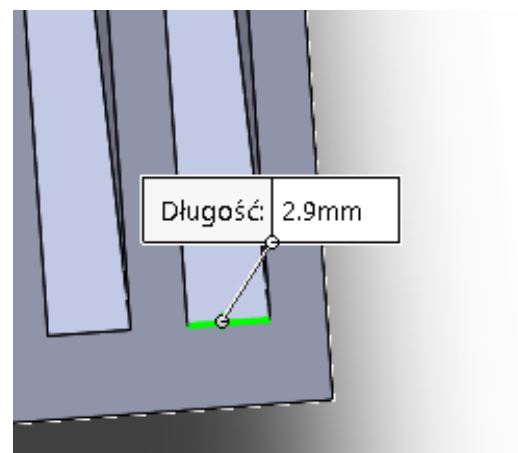
Rys.1.1 Widok modelu I radiatora wraz z wymiarami gabarytowymi.



Rys.1.2 Wymiary powierzchni bezpośredniej wymiany ciepła.

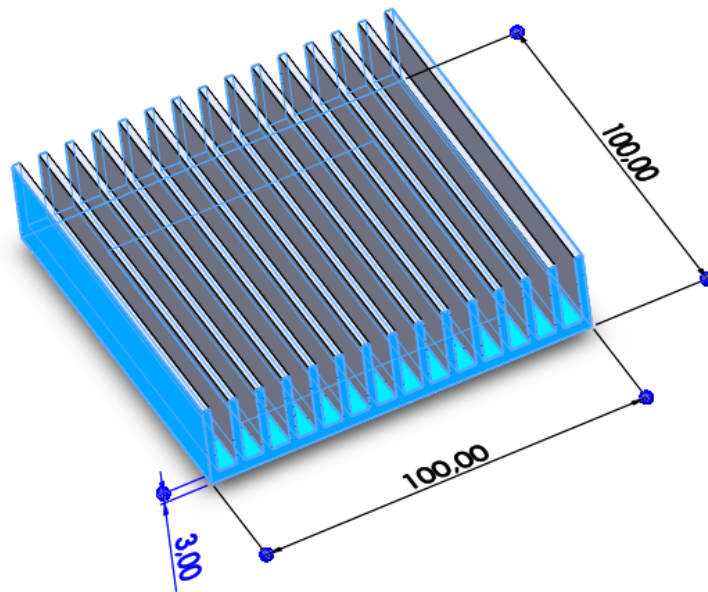


Rys.1.3 Wymiary żeber.

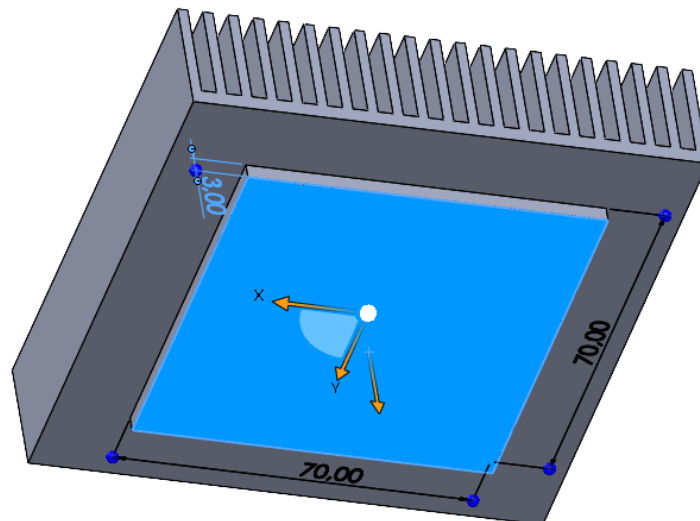


Rys.1.4 Długość odstępu między żebrami.

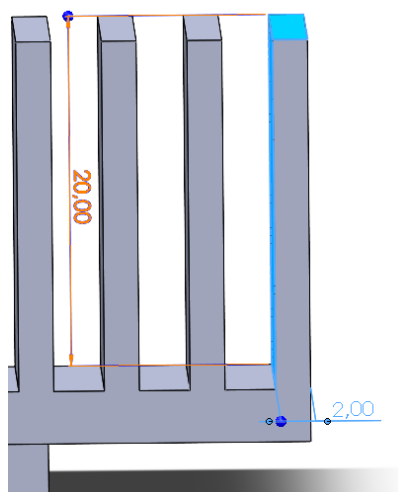
b) model II – 15 żeber, odstęp między żebrami wynoszący 5 [mm]



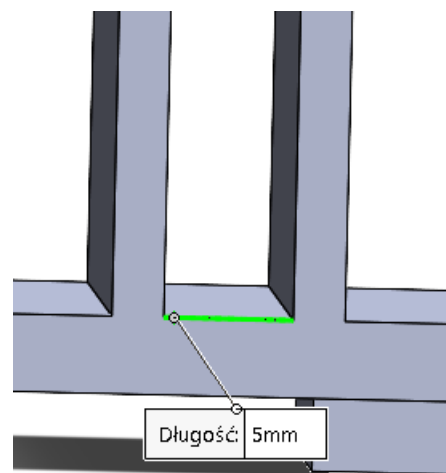
Rys. 1.5 Widok modelu II radiatora wraz z wymiarami gabarytowymi..



Rys.1.6 Wymiary powierzchni bezpośredniej wymiany ciepła.



Rys.1.7 Wymiary żeber.



Rys.1.8 Długość odstępu między żebrami.

2. Model matematyczny przeprowadzonej analizy MES w programie COMSOL Multiphysics. Równania oraz warunki brzegowe

- Ogólne równanie przewodzenia ciepła:

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + (v \cdot \nabla) T \right) + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q \quad (2.1)$$

Gdzie:

ρ – gęstość materiału w temperaturze T [$\frac{kg}{m^3}$],

C_p – ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu [$\frac{J}{kg \cdot K}$],

T – temperatura [K],

v – wektor prędkości [$\frac{m}{s}$],

Q – strumień ciepła powstającego wskutek przewodzenia, jakie powstaje w wyniku plastycznego odkształcania się metalu albo w wyniku przemian fazowych w strukturze materiału [$\frac{W}{m^3}$]

- Prawo Fouriera

$$q = -k \nabla T \quad (2.2)$$

Gdzie:

k – współczynnik przewodzenia ciepła [$\frac{W}{m \cdot K}$],

∇T – gradient temperatury

- Prawo Newtona dot. konwekcyjnego strumienia ciepła

$$q_0 = h(T_{ext} - T) \quad (2.3)$$

Gdzie:

q_0 – gęstość strumienia ciepła [$\frac{W}{m^2}$]

T_{ext} – temperatura otoczenia („temperatura daleko od modelowanej domeny”, temperatura odniesienia) [K]

h – współczynnik przejmowania ciepła [$\frac{W}{m^2 \cdot K}$]

- Równanie temperaturowe:

$$T = T_0 \quad (2.4)$$

3. Właściwości wybranego materiału do budowy radiatorów

Wybrany materiał jest *stop aluminium 1050* o następujących właściwościach:

a) 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 %

b) właściwości fizyczne

Gęstość:	g/cm ³	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

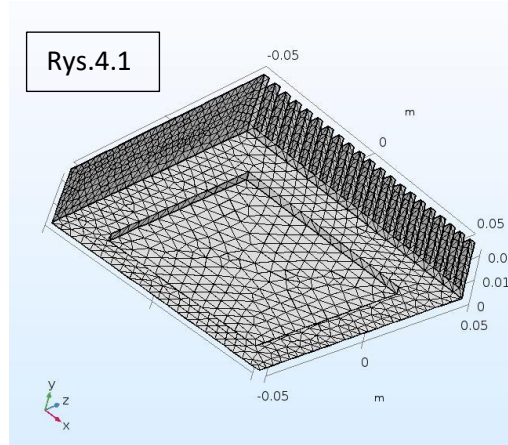
4. Wygenerowana siatka modeli

Symulacja została przeprowadzona dla obu modeli z dwoma różnymi rozmiarami elementów skończonych : *fine* oraz *finer*. We wszystkich symulacjach na modele

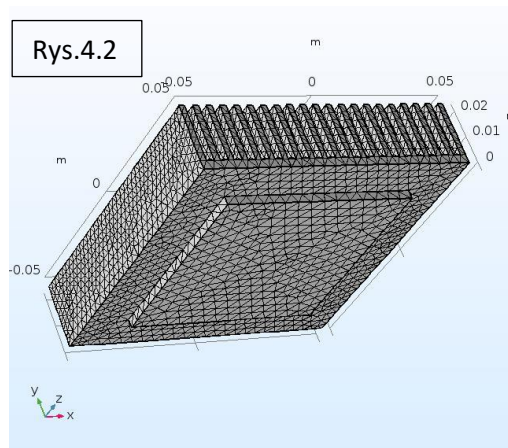
została nałożona siatka składająca się z trójkątnych elementów skończonych. Poniżej przedstawione zostały parametry dla poszczególnych wariantów symulacji:

a) model I – 21 żeber, odstęp między żebrami wynoszący 2,9 [mm]:

-Rys.4.1 Siatka fine: liczba elementów skończonych = 37097

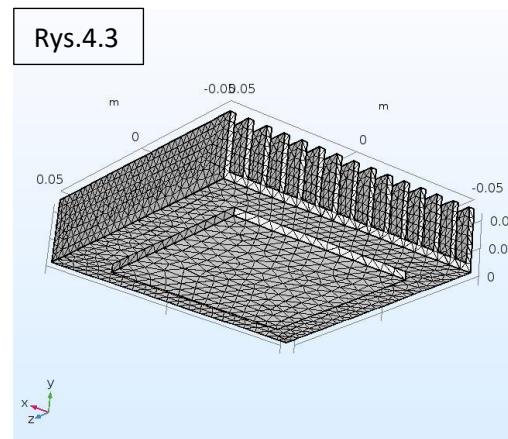


- Rys.4.2 Siatka finer: liczba elementów skończonych = 50182

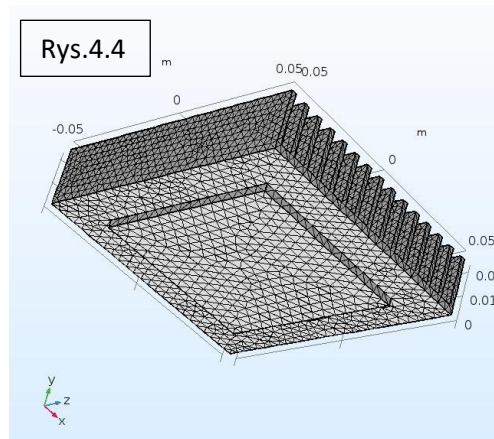


b) model II – 15 żeber, odstęp między żebrami wynoszący 5 [mm]:

- Rys.4.3 Siatka fine: liczba elementów skończonych = 27625



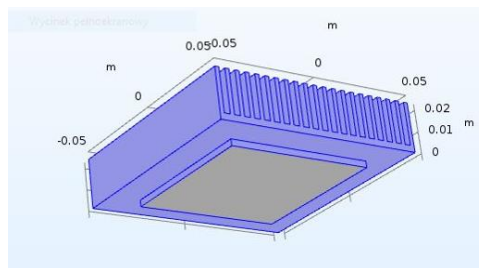
- Rys.4.4 Siatka finer: liczba elementów skończonych = 37456



5. Ustawienia przeprowadzonych symulacji

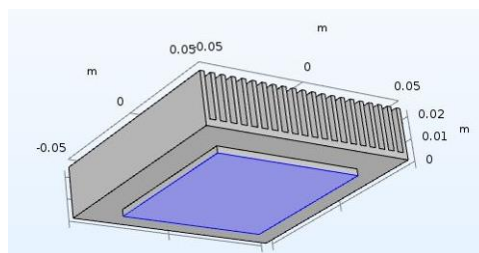
- Symulacja zależna od czasu ("time dependent simulation"),
- Czas trwania symulacji 0 – 120 [s] z krokiem co 0,1 [s]
- Konwekcyjny strumień ciepła – przyjęta wartość współczynnika przejmowania ciepła

$$h = 40 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right],$$



Rys.5.1 Powierzchnie (granice) konwekcyjnego strumienia ciepła.

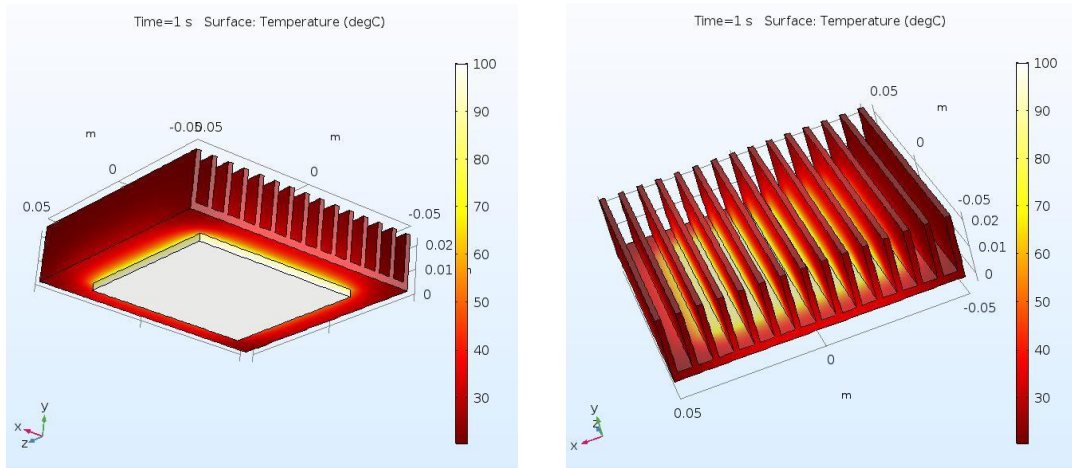
- Temperatura otoczenia $T_{ext} = 293,15 [K] = 20 [^{\circ}C]$,
- Temperatura powierzchni, która styka się z wybranym, chłodzonym komponentem $T = T_0 = 373,15 [K] = 100 [^{\circ}C]$.



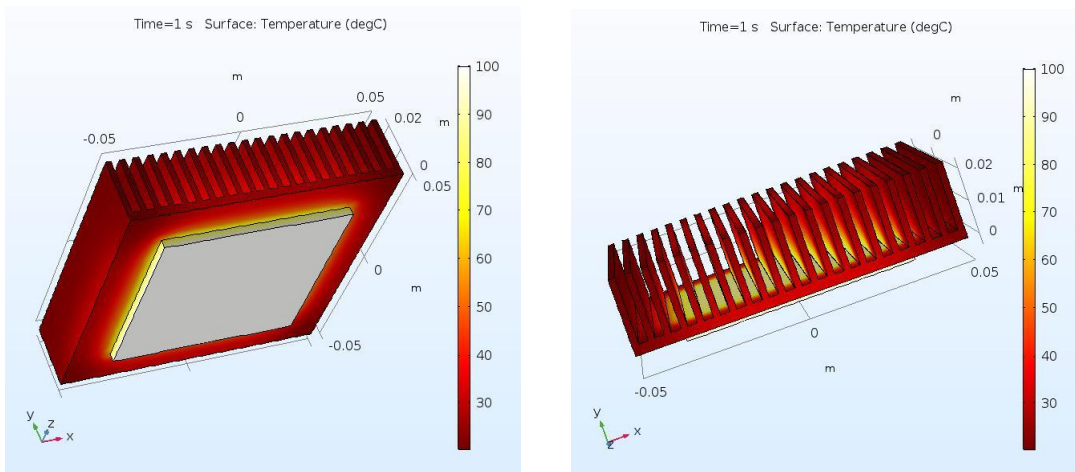
Rys.5.2 Powierzchnia na której została zdefiniowana temperatura pochodząca od zewnętrznego źródła.

6. Otrzymane wyniki analizy MES dla poszczególnych wariantów przeprowadzonych badań

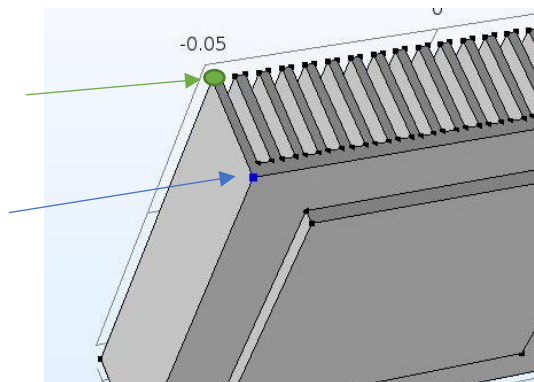
a) model I – 21 żeber, odstęp między żebrami wynoszący 2,9 [mm]:



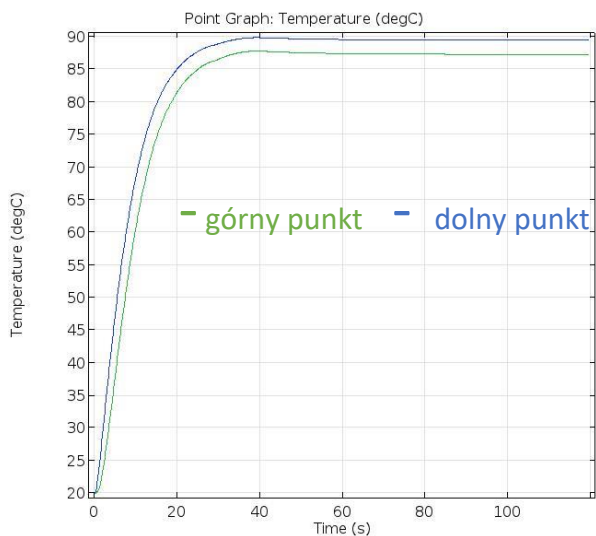
Rys.6.1 Otrzymane rozkłady temperatur dla modelu I (siatka fine) w czasie 1s.



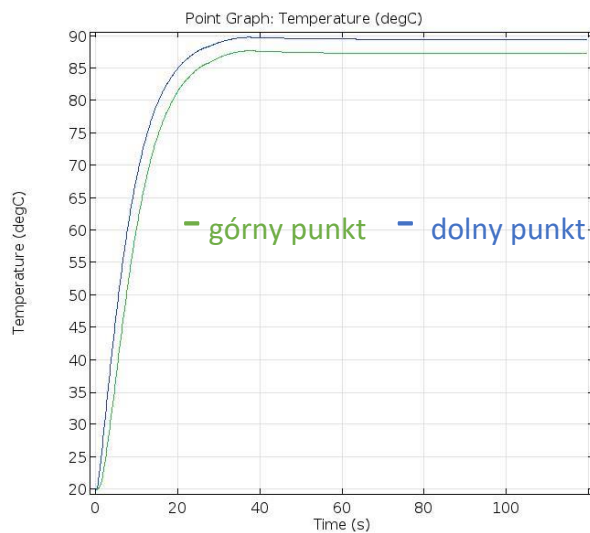
Rys.6.2 Otrzymane rozkłady temperatur dla modelu I (siatka finer) w czasie 1s.



Rys.6.3 Zaznaczone punkty dla których wykonano wykresy zależności temperatury od czasu trwania symulacji (umieszczone na następnej stronie).

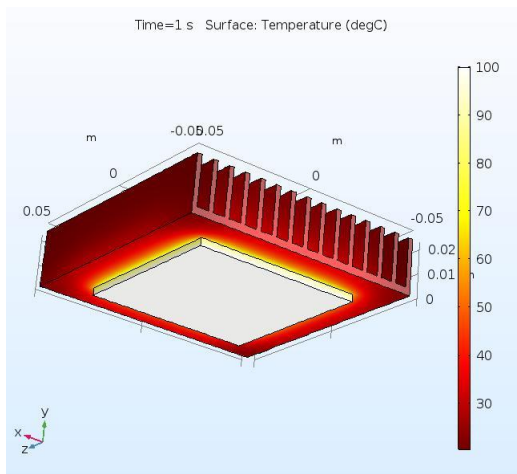


Rys.6.4 Zależność temperatury w danych punktach modelu od czasu trwania symulacji dla modelu I (siatka fine).

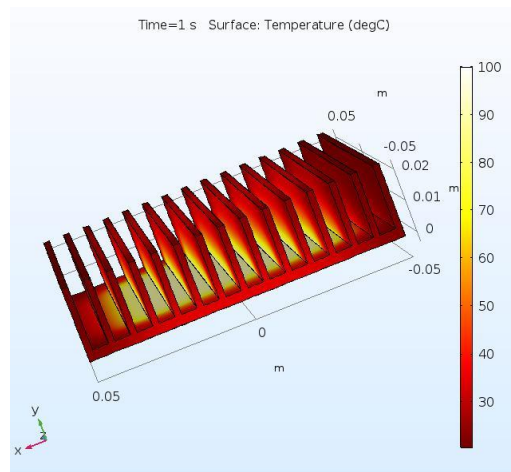
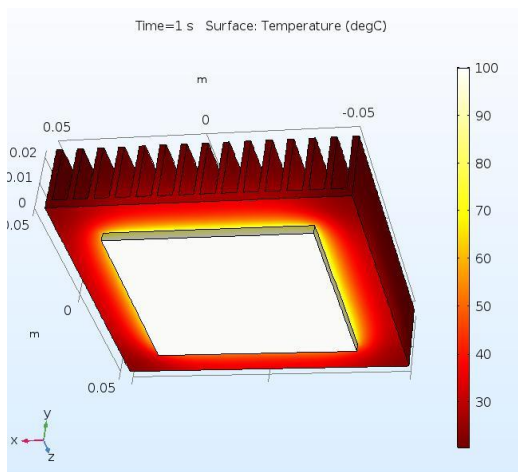
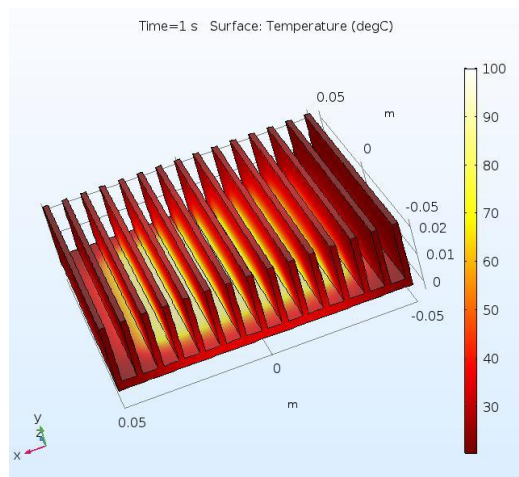


Rys.6.5 Zależność temperatury w danych punktach modelu od czasu trwania symulacji dla modelu I (siatka finer).

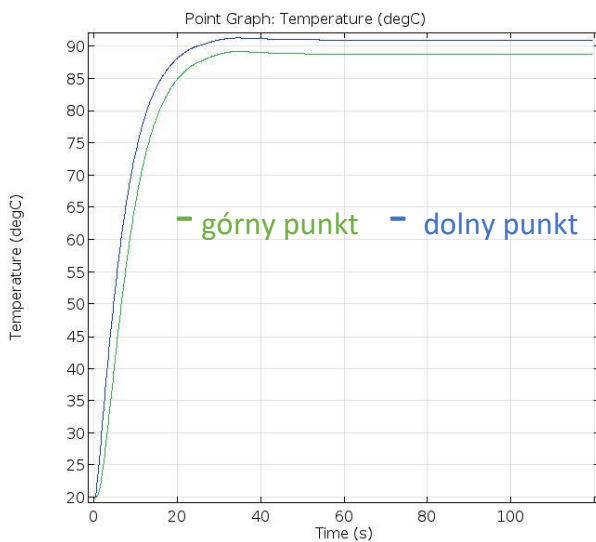
b) model II – 15 żeber, odstęp między żebrami wynoszący 5 [mm]:



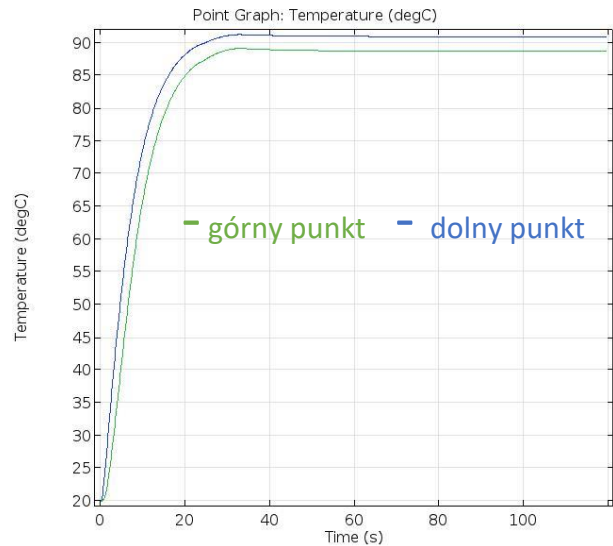
Rys.6.6 Otrzymane rozkłady temperatur dla modelu II (siatka fine) w czasie 1s.



Rys.6.7 Otrzymane rozkłady temperatur dla modelu II (siatka finer) w czasie 1s.



Rys.6.8 Zależność temperatury w danych punktach modelu od czasu trwania symulacji dla modelu II (siatka fine).



Rys.6.9 Zależność temperatury w danych punktach modelu od czasu trwania symulacji dla modelu II (siatka finer).

7. Podsumowanie, spostrzeżenia, wnioski

1. Symulacje z różnymi rozmiarami elementów w wygenerowanych siatkach zostały przeprowadzone w celu zbadania ich wpływu na otrzymane wyniki. Po analizie otrzymanych zależności można wnioskować, iż różnice są nieznaczne. W niektórych fragmentach uzyskanych charakterystyk po dokładnej analizie w programie COMSOL widać różnice o maksymalnie 0,2 [°C] w części, gdzie stabilizuje się temperatura dla badanych punktów. Zatem, dla przeprowadzonych doświadczeń nie było konieczności zastosowania gęstszej siatki, bowiem obciążyło to zauważalnie procesor komputera i wydłużyło czas obliczeniowy.
2. Po dokładnym przeanalizowaniu otrzymanych zależności temperatur w danych punktach modeli zauważono:
 - dla modelu I (z większą ilością żeber i mniejszym odstępem między nimi) zaobserwowano niższą końcową temperaturę osiąganą dla badanych punktów o około 3 - 4 [°C] względem modelu II (z mniejszą liczbą żeber i większym odstępem między nimi)
 - czas osiągnięcia końcowej temperatury (tj. 92 [°C] dla modelu II oraz 89 [°C] dla modelu I) był o ok. 5 sekund dłuższy dla modelu I

3. Podsumowując powyższe punkty można stwierdzić, iż na podstawie przeprowadzonych symulacji lepszymi parametrami geometrycznymi wpływającymi na wymianę ciepła (chłodzenie danego komponentu np. komputera) charakteryzuje się model I.
4. Po przeanalizowaniu różnic w temperaturach osiągniętych w zaznaczonych punktach radiatora nasuwa się pomysł, iż warto byłoby zmodyfikować (zwiększyć) wysokość żeber w rozpatrywanych radiatorach i dokonać wówczas dalszych badań symulacyjnych.
5. Cykl ćwiczeń laboratoryjnych z Obliczeniowej analizy układów mechanicznych stanowił bardzo dobre powtórzenie, usystematyzowanie oraz rozszerzenie wiedzy z Metody Elementów Skończonych, którą poznaliśmy podczas studiów I-wszego stopnia.