



Politechnika Poznańska

Wydział Inżynierii Mechanicznej

INŻYNIERSKA PRACA DYPLOMOWA

**Modelowanie i analiza zmian rozkładu temperatury
w wymienniku ciepła**

Mateusz Konstanciak

Promotor:
dr hab. Tomasz Stręk, prof. uczelni

Poznań 2023

Spis treści

1. Wstęp.....	3
1.1 Wprowadzenie	3
1.2 Cel i teza	3
1.3 Zawartość pracy	3
2. Wymiana ciepła	5
2.1 Ciepło	5
2.2 Mechanizmy wymiany ciepła.....	5
2.2.1 Przewodzenie ciepła	5
2.2.2 Konwekcja	6
2.2.3 Promieniowanie.....	6
2.3 Równanie wymiany ciepła.....	7
2.4 Warunki brzegowe	8
3. Wymienniki ciepła	9
3.1 Rodzaje wymienników	9
3.2 Zasada działania	9
3.3 Zastosowanie	10
3.4 Radiatory	10
4. CAD.....	12
4.1 Solidworks	13
5. Metoda elementów skończonych w analizie wymienników ciepła.....	15
6. Oprogramowanie Ansys	17
7. Przygotowanie do analizy	19
7.1 Warunki i opis analizy	19
7.2 Przygotowanie modeli w Solidworks	19
7.3 Przygotowanie modeli w ANSYS	20
8. Wyniki obliczeń.....	25
9. Podsumowanie i wnioski.....	52
10. Bibliografia	53
Streszczenie / Abstract.....	54

1. Wstęp

1.1 Wprowadzenie

Tematem niniejszej pracy jest „Modelowanie i analiza zmian rozkładu temperatury w wymienniku ciepła”. W pracy poza częścią praktyczną polegającą na zaprojektowaniu wymienników oraz dokonaniu analizy wymiany ciepła istotną rzeczą jest zebranie i przedstawienie informacji związanych z tą tematyką. W części teoretycznej ważne jest zebranie informacji dotyczących pojęcia wymiany ciepła, wymiennika ciepła, czy modelowania i analizy wyników.

Na początku pracy poruszono i wyjaśniono podstawowe zagadnienia związane z ciepłem oraz mechanizmami wymiany ciepła czyli transportu ciepła. W ogólnym uproszczeniu ciepło jest sposobem przekazywania energii transmitowanej pomiędzy dwoma układami pozostającymi w kontakcie termicznym. Nieodzowną częścią związaną z pojęciem ciepła jest proces wymiany ciepła polegający na transferze ciepła pomiędzy ciałem o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej. Proces ten odbywa się na trzy sposoby, poprzez przewodzenie (bezpośredni kontakt dwóch ciał), promieniowanie (emitowane w wyniku cieplnego ruchu cząsteczek), oraz konwekcje (unoszenie ciepła poprzez zmianę objętości płynu).

Kolejnym zagadnieniem przedstawionym w pracy jest pokazanie czym jest wymiennik ciepła oraz przedstawienie przykładów takich urządzeń. W poprzednim akapicie zostały omówione pojęcia ciepła oraz wymiany ciepła, natomiast teraz zostaje omówiony przedmiot/urządzenie przeznaczone do wykonania transferu ciepła. Wymiennik ciepła stosuje się w układzie w celu odprowadzania ciepła. Układ taki posiada dwa obwody, dzięki czemu może odzyskiwać ciepło z jednego obwodu przenosząc je na drugi. Urządzenie zawsze działa poprzez pobieranie energii z układu o wyższej temperaturze i przekazuje ją układowi o niższej temperaturze. Biorąc pod uwagę różnorodne role oraz kryteria można wyróżnić kilka typów wymienników.

Dzieląc je ze względu na:

- sposób działania - rekuperatory i regeneratory,
- procesy przekazywania ciepła - bezpośrednie i pośrednie,
- geometrie konstrukcji - rurowe i płytowe,
- mechanizmy przekazywania ciepła – konwekcja, promieniowanie, przewodzenie,
- układ przepływu - współprądowe, przeciwprądowe i krzyżowe.

Do powszechnie stosowanych wymienników możemy zaliczyć różnego rodzaju rekuperatory, radiatory (używane w komputerach), parowniki (w klimatyzacjach lub chłodziarkach), bądź stosowane wszędzie grzejniki, systemy ogrzewania podłogowego, pompy ciepła itp.

1.2 Cel i teza

Celem pracy jest zbadanie rozkładu temperatur w wymienniku ciepła. Za przykład wymiennika ciepła posłuży radiator. Do przeprowadzenia analizy wykorzystano kilka modeli radiatorów różniących się geometrią, wymiarami oraz materiałem, tak aby zbadać ich wpływ na predyspozycje radiatora. Porównanie wyników z analizy pozwoli sprawdzić jak różne parametry radiatora wpływają na jego funkcjonalność.

1.3 Zawartość pracy

Praca na początku zawiera opisy pojęć związanych z analizą rozkładu temperatur w radiatorze. W pierwszych punktach opisane są zagadnienia z dziedziny termodynamiki takie jak ciepło,

wymiana ciepła, lub mechanizmy transportu ciepła. Po wprowadzeniu w tajniki procesu rozkładu temperatur, w trzecim punkcie opisane zostały wymienniki ciepła, wraz z ich zastosowaniem oraz rodzajami. Za przykład wymiennika ciepła stosowanego w analizie posłużą radiatory. W dalszej części pracy przedstawiono oprogramowania typu CAD (ang. Computer Aided Design) oraz MES (Metoda Elementów Skończonych ang. Finite-Element Method w skrócie FEM) wraz z przykładowymi programami komputerowymi wykorzystującymi te narzędzia. W pracy dużą wagę zwrócono na programy Solidwroks oraz Ansys ze względu na ich ważny udział podczas dokonywania analiz. W programie Solidworks zostały stworzone modele do badania, a w programie Ansys przygotowano modele do analizy oraz ją przeprowadzono. Po wygenerowaniu obliczeń w programie, zostały one przedstawione, podsumowane, a następnie na ich podstawie wyciągnięto wnioski.

2. Wymiana ciepła

Wymiana ciepła jest to zjawisko powszechne w przyrodzie oraz w technice. Zjawisko to zachodzi wszędzie tam gdzie istnieją różnice temperatur. Z wymianą ciepła wiąże się pojęcie ciepła czyli cieplnego przepływu energii. Ciepło to sposób przekazywania pomiędzy układami energii wewnętrznej składającej się z sumy energii potencjalnej oraz kinetycznej cząsteczek ciała. Proces ten zachodzi bez użycia pracy makroskopowej co oznacza, że nie zachodzą tutaj siły zewnętrzne. Cieplny przepływ energii będzie trwał tak długo aż oba ciała będą posiadać taką samą temperaturę - osiągną stan równowagi termicznej. Przepływ energii czyli wymiana ciepła zawsze zachodzi w kierunku od temperatury wyższej do temperatury niższej. W praktyce oznacza to, że aby osiągnąć stan równowagi termicznej ciało o temperaturze wyższej musi przekazać swoją energię wewnętrzną do ciała o temperaturze niższej. Wymiana ciepła realizowana jest na trzy różne pod względem fizycznym sposoby transportu: przewodzenie ciepła, konwekcja oraz promieniowanie.

2.1 Ciepło

W fizyce ciepło określane jest na dwa sposoby, jako sposób przekazywania energii wewnętrznej w układach termodynamicznych lub jako forma energii, która przenoszona jest między ciałami lub systemami. Istotne jest, że transport ciepła zachodzi tylko w przypadku gdy obiekty nie znajdują się w równowadze termicznej czyli posiadają różne temperatury a transfer ciepła zachodzi z ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej. Poza transferem ciepła między dwoma ciałami, równie częstym zjawiskiem jest przekazywanie ciepła z układu do otoczenia lub na odwrót. Proces wymiany ciepła, czyli transferu cieplnego jest realizowany do momentu osiągnięcia równowagi termicznej, w wyniku działania trzech mechanizmów wymiany ciepła (konwekcja, promieniowanie, przewodzenie). Ciepło jako forma energii wyrażana jest w jednostce kJ (kilodżul) lub W (watt) i związana jest z innymi wielkościami takimi jak temperatura lub praca. Ciepło jest wielkością fizyczną niezbędną dla wielu procesów, zjawisko to występuje wszędzie tam gdzie istnieje różnica temperatur czyli podczas ogrzewania lub chłodzenia pomieszczeń, produkcji energii elektrycznej lub mechanicznej, podczas pracy maszyn, aktywności fizycznej człowieka i wielu innych aspektach w których zachodzi wzrost lub obniżenie temperatury w układzie.

2.2 Mechanizmy wymiany ciepła

2.2.1 Przewodzenie ciepła

Przewodzenie ciepła jest to przenoszenie energii w jednym ośrodku materialnym lub z jednego ośrodka do drugiego w wyniku bezpośredniego kontaktu obiektów. Proces ten polega na przepływie energii wewnętrznej w wyniku oddziaływania cząsteczek ciał w układzie. Istotne jest, że poszczególne cząsteczki materii nie wykazują większych zmian położenia. Tak jak we wszystkich procesach wymiany ciepła przenoszenie energii zachodzi z miejsc o temperaturze wyższej do miejsc o temperaturze niższej. W zależności od rodzaju układu, przenoszenie energii odbywa się za pomocą fal sprężystych w cieczach i ciałach stałych słabo przewodzących prąd, poprzez dyfuzję atomów i cząsteczek w gazach lub za pomocą dyfuzji luźnych elektronów w ciałach stałych przewodzących prąd. Wpływ na prędkość przepływu ciepła ma różnica temperatur, im jest ona wyższa tym szybszy będzie przepływ ciepła między ciałami.

Przewodzenie ciepła zostało zdefiniowane zgodnie z prawem Fouriera [1,3], które głosi, że gęstość przewodzonego strumienia ciepła q , czyli ilość energii przepływającej w postaci ciepła w jednostce czasu przez jednostkową powierzchnię prostopadłą do kierunku przepływu energii jest wprost proporcjonalna do gradientu temperatury. Zależność ta została opisana wzorem

$$\mathbf{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T, \quad (2.1)$$

gdzie: \mathbf{q} to gęstość strumienia ciepła, λ – współczynnik przewodzenia ciepła, $\text{grad } T$ – gradient temperatury, zmiana temperatury zachodząca w kierunku przecinającym powierzchnie.

2.2.2 Konwekcja

Konwekcja, inaczej unoszenie, to proces przekazywania ciepła poprzez makroskopowy ruch materii w cieczy lub gazie [1]. Zgodnie z prawem Archimedesesa na ciało częściowo lub całkowicie zanurzone w płynie, cieczy, gazie lub plazmie działa pionowa siła skierowana ku górze nazywana siłą wyporu, której wartość jest równa ciężarowi płynu wypartego przez to ciało. W zjawisku konwekcji wykorzystywane jest prawo Archimedesesa. Związek dotyczy wyporu cząstek lżejszy do góry a cząstek cięższy opadaniu. Proces ten zachodzi na bazie różnicy w gęstości cząstek. Dla przykładu, zjawisko konwekcji dotyczy cyrkulacji powietrza w pomieszczeniu. Powietrze ciepłe ma mniejszą gęstość dlatego unosi się do góry pomieszczenia, a jego miejsce na dole zajmuje powietrze zimne mające większą gęstość od ciepłego. Zimne powietrze ponownie zostaje podgrzane zmniejszając swoją gęstość w wyniku działania kaloryfera bądź ogrzewania podłogowego i unosi się w górę pomieszczenia. W konwekcji mamy wymianę ciepła opartą na ruchu dużej ilości cząsteczek w odróżnieniu od przewodzenia gdzie ruch ten był niewielki i dotyczył pojedynczych cząsteczek. Bazując na różnicy gęstości cząsteczki wprawiane są w ruch, im wyższe temperatury tym mniejsza gęstość co skutkuje szybszym ruchem cząsteczek. Proces ten nie dotyczy jednak ciał stałych, gdyż cząsteczki i atomy w ciałach stałych nie są zdolne do wykonywania przemieszczeń na większe odległości. W fizyce wyróżniamy dwa rodzaje konwekcji naturalną powstającą bez udziału maszyn lub urządzeń oraz konwekcje sztuczną/wymuszoną która zachodzi poprzez wpływ czynnika zewnętrznego w postaci wentylatora lub pompy. [1,3]

Ogólny wzór opisujący konwekcje cieplną można przedstawić przy pomocy poniższego wzoru

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \text{ [W]} \quad (2.2)$$

gdzie: Q to wartość ciepła przeniesionego, h – współczynnik konwekcji cieplnej, A – powierzchnia przenoszenia ciepła, ΔT – różnica temperatur (wyrażana w kelwinach).

Współczynnik konwekcji cieplnej jest wartością zależną od właściwości materiału, przez który przenosi się ciepło. Wpływ na jego wartość mają cechy tego materiału takie jak współczynnik przewodzenia ciepła, gęstość czy lepkość. Dodatkowym aspektem wpływającym na wartość współczynnika konwekcji są właściwości cieczy lub gazu (takie jak temperatura, ciśnienie, czy gęstość), w którym zachodzi zjawisko konwekcji. W zależności od rodzaju środowiska rozchodzenia się ciepła stosujemy inny współczynnik konwekcji cieplnej.

W przypadku konwekcji naturalnej na wartość współczynnika konwekcji cieplnej wpływają warunki atmosferyczne, nasłonecznienie, wysokość nad poziom morza itp. W celu określenia jego wartości stosuje się modele matematyczne lub tabele przedstawiające wartości w konkretnych przypadkach. W przypadku konwekcji sztucznej stosowane są metody doświadczalne gdzie eksperymenty przeprowadza się w laboratoriach lub stosuje się analizy przy pomocy specjalnych programów MES lub CFD wykorzystujące równania matematyczne.

2.2.3 Promieniowanie

Promieniowanie cieplne inaczej zwane też termicznym jest to przekazywanie energii wewnętrznej w postaci ciepła przy pomocy fali elektromagnetycznej lub fotonów. Promieniowanie cieplne dotyczy wszystkich przypadków ciał, które posiadają temperaturę wyższą od zera bezwzględnego. Ilość wypromieniowanej energii zależy od dwóch aspektów, rodzaju powierzchni oraz jej temperatury. Powierzchnia ma istotny wpływ, ponieważ promieniowanie cieplne jest inne dla ciał z powierzchnią gładką, a inne dla ciał z powierzchnią

chropowatą. W przypadku temperatury, promieniowanie cieplne rośnie wraz z jej wzrostem, oznacza to, że w przypadku ciał z większą temperaturą emisja ciepła w postaci promieniowania będzie również większa. Proces ten działa na zasadzie ruchu termicznego materii cząstek naładowanych elektrycznie. Według mechaniki atomy lub cząstki wzajemnie oddziałują na siebie zmieniając energię w wyniku przyspieszeń lub dipolowej oscylacji ładunków. W celu zmierzenia promieniowania cieplnego korzystamy z urządzeń pomiarowych takich jak termopary lub termometry podczerwieni.

Ogólny wzór opisujący promieniowanie cieplne to wzór Stefana Boltzmann

$$P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4, \quad (2.3)$$

gdzie: P – wartość mocy promieniowania cieplnego [W], ε – współczynnik emisyjności, opisujący zdolność ciała do emitowania promieniowania ciepła, σ – stała Stefana Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right]$, T – temperatura ciała ([K]).

Wzór ten stosowany jest do obliczeń mocy promieniowania cieplnego przez ciała o różnych temperaturach oraz w różnych warunkach. Współczynnik emisyjności jest wielkością zmienną zależną od materiału z jakiego jest wykonane ciało oraz jaką posiada temperaturę.

2.3 Równanie wymiany ciepła

Prawa fizyki opisywane są językiem matematyki. W celu zobrazowania zachowania pewnych wielkości fizycznych takich jak zachowanie energii, masy, lub pędu posługujemy się językiem matematyki. Do wyrażenia wielkości zmiennych takich jak prędkość, potencjał elektryczny, czy temperatura używamy równań różniczkowych. Równanie różniczkowe jest równaniem matematycznym opisującym zmiany jakiejś wielkości zmiennej względem czasu lub przestrzeni. Równanie wymiany ciepła jest matematycznym modelem służącym do opisania przepływu ciepła przez materiał. Równanie to bazuje na pierwszej zasadzie termodynamiki dotyczącej równoważności ciepła i pracy oraz stałości energii układu izolowanego [9].

Równanie wymiany ciepła bazuje na wzorze:

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} = g(T, t), \quad (2.4)$$

gdzie: ρ – gęstość, C_p – ciepło właściwe w stałej temperaturze, T – temperatura, t – czas, $g(T, t)$ – funkcja opisująca źródło ciepła zależne od temperatury i czasu.

Równanie powyżej opisuje zależność mówiącą, że zmiana temperatury w czasie jest równoważna przez źródło energii (ciepła). Na podstawie tej zależności stworzone jest ogólne równanie wymiany ciepła opisane przez wzór poniżej

$$\rho C_p \left(\frac{dT}{dt} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) T \right) + \nabla \cdot \mathbf{q} = g(T, t) \quad (2.5)$$

gdzie: ρ – gęstość, C_p – ilość ciepła, T – temperatura, t – czas, \mathbf{v} – wektor prędkości, \mathbf{q} – strumień ciepła, $g(T, t)$ – funkcja opisująca źródło ciepła zależne od temperatury i czasu.

W równaniu wymiany ciepła przedstawionego wyżej wykorzystywane jest również prawo przewodzenia ciepła Fouriera (2.1, 2.6) mówiące o tym, że „strumień ciepła jest proporcjonalny do gradientu temperatury, a przewodność cieplna jest stałą proporcjonalności”.

$$\mathbf{q} = -k \nabla T, \quad (2.6)$$

gdzie: k to przewodność cieplna materiału.

Istotnym aspektem jest jeszcze wielkość prędkości, ponieważ w przypadku gdy jest ona

równa zero to równanie wymiany ciepła przez przewodzenie opisywane jest poprzez poniższy wzór:

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} + \nabla \cdot (-k \nabla T) = g(T, t). \quad (2.7)$$

Równanie to zostało użyte do opisu modelu zagadnień wymiany ciepła w radiatorach.

2.4 Warunki brzegowe

W celu prawidłowego przeprowadzenia analizy wymiany ciepła metodą elementów skończonych konieczne jest określenie warunków brzegowych. Warunki brzegowe to sposób na ograniczenie modelu. Warunki te są stałe i niezmiennie, a także muszą być spełnione podczas uzyskiwania rozwiązań. Podaje się je aby ograniczyć model i jego rozwiązania. Służą one do opisanego stanu danego systemu. Mogą one również być stosowane do określania parametrów problemu lub jego rozwiązania na granicy. W mechanice warunki brzegowe są stosowane do analizy dynamicznej lub statycznej konstrukcji. Określa założenia np. jeśli chodzi o przemieszczenie lub utwierdzenie konstrukcji, wiąże się to z ruchem ciała gdzie utwierdzamy element aby określić jego położenie w czasie $t=0$ czyli w momencie początkowym. Pozwala to na odwzorowanie np. przymocowanej belki, która następnie pod wpływem obciążenia odkształca się. Warunki brzegowe stosowane są nie tylko w mechanice, ale także w innych dziedzinach fizyki, takich jak hydrodynamika gdzie stosowane są do określenia chociażby warunku stałego ciśnienia lub stałego przepływu, czy w elektrodynamice do określania warunku izolacji lub warunku Faraday'a.

W przypadku wymiany ciepła również stosowane są warunki brzegowe do opisanego modelu, nadania mu pewnych założeń, które pozwolą na rzeczywiste odwzorowanie warunków pracy, a dzięki temu uzyskaniu wiarygodnych rozwiązań. Warunki brzegowe w tym aspekcie służą głównie do określenia warunków wymiany ciepła na powierzchni zewnętrznej badanego modelu.

Warunek brzegowy I rodzaju zwany warunkiem Dirichleta określa rozkład temperatur we wszystkich punktach danego fragmentu brzegu.

Warunek brzegowy II rodzaju zwany warunkiem Neumanna określa rozkład gęstości strumienia ciepła q we wszystkich punktach brzegu.

Warunek brzegowy III rodzaju zwany warunkiem mieszanym lub Robin'a określa współczynnik przejmowania ciepła oraz temperaturę płynu (cieczy lub gazu) otaczającego model analizowany. W tym przypadku warunek odzwierciedla efekt chłodzenia lub ogrzewania powierzchni zewnętrznej ciała.

Warunek brzegowy IV rodzaju określa warunki podczas idealnego styku powierzchni dwóch ciał. Jest to pojęcie względne, ponieważ w fizyce nie występują takie przypadki gdzie mamy do czynienia z idealnym stykiem dwóch ciał. Ze względu na swoją chropowatość powierzchni jest to niemożliwe do zrealizowania [1,3].

3. Wymienniki ciepła

Wymiennikami ciepła nazywamy urządzenia, których zadaniem jest przekazywanie energii w postaci ciepła pomiędzy dwoma układami. Na rynku jest ogromna ilość rodzajów wymienników ciepła, które są dobierane w zależności od ich przeznaczenia, możliwości, parametrów, rozmiarów, kształtów, itd. Możliwość doboru wymiennika ciepła jest niemal nieskończona, a wynika to z możliwości jakie wymienniki ciepła zapewniają. Przykładem wymiennika ciepła może być chociażby kaloryfer w pokoju. Mamy ogromną ilość kształtów oraz wymiarów takich elementów, a w zależności od jego rozmiaru uzyskujemy różne efekty. Wymiennik w postaci kaloryfera, aby spełnić swoją funkcję, czyli ogrzanie pomieszczenia korzysta z zjawiska promieniowania oraz konwekcji. Dostarczone ciepła do kaloryfera w następnym kroku promieniuje, emitując ciepło. Efekt tego możemy odczuć zbliżając rękę coraz bliżej urządzenia. Następnie w wyniku promieniowania i ogrzewania się powietrza blisko wymiennika następuje zjawisko konwekcji czyli unoszenia. Ogrzane powietrze staje się lżejsze i w efekcie tego zaczyna się unosić ku górze pomieszczenia zastępując zimne, które będąc lżejszym opada na dół. Chłodne powietrze znowu jest ogrzewane i unoszone identycznie jak poprzednio. W wyniku takiego zabiegu następuje cyrkulacja powietrza. Inne wymienniki ciepła mogą pracować w różny sposób lecz ich cel jest wciąż taki sam. Celem wymiennika ciepła jest zapewnić największy współczynnik przenikania ciepła pomiędzy ośrodkami. W celu zapewnienia optymalnych rezultatów stosuje się różne metody takie jak powiększenie powierzchni wymiany ciepła, zmianę kształtu wymiennika, lub zwiększenie ruchu medium.

3.1 Rodzaje wymienników

W punkcie powyżej powiedziano trochę o rodzajach wymienników ciepła, oraz przedstawiono jeden konkretny przykład w postaci grzejnika wraz z jego uproszczoną metodą działania. W tym punkcie zostanie poruszone i rozwinięte zagadnienie dotyczące rodzajów wymienników ciepła, ich podział wraz z kilkoma bazowymi przykładami.

Jednym z najpopularniejszych podziałów wymienników ciepła jest ich podział ze względu na sposób przenoszenia ciepła, dzielimy je na wymienniki ciepła:

- Przewodzące polegające na przenoszeniu ciepła poprzez bezpośredni kontakt metalu z oboma medium. Takiego rodzaju urządzeniami są kotły lub grzejniki.
- Konwekcyjne polegające na przenoszeniu ciepła poprzez ruch cieczy lub gazu. Takiego rodzaju urządzeniami są chłodnice i klimatyzatory.
- Promieniujące polegające na przenoszeniu ciepła poprzez promieniowanie elektromagnetyczne. Takiego rodzaju urządzeniami są kolektory słoneczne lub promienniki podczerwieni.
- Parowo-kondensacyjne polegające na przenoszeniu ciepła parowanie i kondensowanie pary wodnej. Takiego rodzaju urządzeniami są parowo-kondensacyjne kotły gazowe lub chłodnice.

Istnieje jednak o wiele więcej podziałów wymienników ciepła. Możemy je klasyfikować ze względu na sposób przepływu medium (przepływowe lub nieprzepływowe), ze względu na rodzaj czynnika (ciecz-ciecz, ciecz-gaz, ciecz-ciało stałe itd.), lub chociażby ze względu na budowę (rurowe, płytowe, spiralne itd.). Jak widać, wymienniki ciepła można klasyfikować w oparciu o niemal każdy aspekt [2].

3.2 Zasada działania

Ogólna zasada działania wymiennika ciepła polega na przenoszeniu energii w postaci ciepła z jednego ośrodka do drugiego bez wykonania pracy makroskopowej. W celu zrealizowania procesu wymiany ciepła przy użyciu wymiennika ciepła konieczny jest ośrodek z medium mającym na celu ogrzanie wymiennika, oraz ośrodek z medium chłodzącym urządzenie. Ciepło

jest rodzajem energii, które zawsze kierowane jest z ośrodka o temperaturze wyższej do ośrodka o temperaturze niższej. Istnieje jednak kilka rodzajów przenoszenia ciepła. Transport może odbywać się poprzez przewodzenie, konwekcje, promieniowanie lub parowo-kondensacyjną metodę. Bez względu jakiego wymiennika ciepła użyjemy każdy z nich będzie działał na zasadzie transportu ciepła poprzez jedną z tych czterech metod. Za przykład opisujący zasadę działania wymiennika może posłużyć wcześniej wspomniany i opisany grzejnik, który wykorzystuje zjawisko parowania i konwekcji. Podobnie funkcjonują inne urządzenia dobrym przykładem przedstawiającym zasadę działania wymienników ciepła jest parownik. Parownik to urządzenie stosowane przy lodówkach lub ladach sklepowych zwanych chłodniami. Zasada działania parownika polega na przepływie chłodnego medium przez rurki urządzenia, następnie zachodzi transport ciepła z ośrodka cieplejszego do ośrodka chłodniejszego czyli medium w rurkach urządzenia. W ten sposób ciepło zostaje transportowane z pomieszczenia do rurek, a następnie odprowadzane poza układem. Podsumowując ogólne zasady działania wymienników ciepła możemy powiedzieć, że wykorzystują one różnicę temperatur oraz zjawiska z nimi związane [2].

3.3 Zastosowanie

Wymienniki ciepła mają szeroki zakres zastosowań w wielu gałęziach przemysłu i życiu codziennym. Przy wyborze wymiennika ciepła korzystamy z aspektów takich jak przeznaczenie, rozmiar, kształt, rodzaj medium itd. Dobieranie wymiennika jest zależne od miejsca jego użycia lub parametrów w jakich będzie wykorzystywany. Wymienniki ciepła używane są do odprowadzania ciepła z układu lub wręcz przeciwnie, aby energię która jest dostarczana do urządzenia oddać do układu, w którym to ciepło jest pożądane. W ten sposób wymienniki ciepła mają szeroki zakres zastosowań. Urządzenia te stosowane są bardzo często w chłodnictwie stosowane do schładzania płynów, a także do utrzymania odpowiedniej temperatury w chłodniach, lodówkach lub całych pomieszczeniach. Drugim przykładem zastosowań wymienników cieplnych są systemy grzewcze i klimatyzacje budynków gdzie odpowiadają za przenoszenie ciepła z gorącego ośrodka do zimnego w celu ogrzania lub ochłodzenia pomieszczenia. Korzystając z środków transportu również mamy kontakt z wymiennikami ciepła. W przemyśle samochodowym lub lotniczym wymienniki ciepła stosowane są do chłodzenia silników oraz do ogrzewania kabiny pasażerskiej. Bardzo często nie zdajemy sobie sprawy jak bardzo niezbędne do życia są wymienniki ciepła. Znajdują się one niemal wszędzie wokół nas, w systemach grzewczych np. kaloryfery, ogrzewanie podłogowe czy piece i kotły, w środkach transportu, w lodówkach lub piekarnikach, a nawet w komputerach gdzie stosowane są wymienniki ciepła zwane radiatorami komputerowymi, których zadaniem jest chłodzenie procesora i innych elementów elektronicznych.

3.4 Radiatory

Radiator nazywamy rodzaj wymiennika ciepła, które przeznaczony jest do odprowadzania ciepła z układu. Wymiennik ten jest elementem lub zespołem elementów, który ze względu na swoje właściwości materiału zapewnia optymalne odprowadzanie ciepła. Zazwyczaj radiator jest bryłą metalu lub jego stopów, do najpopularniejszych materiałów stosowanych zalicza się materiały gwarantujące dobrą przewodność cieplną takie jak aluminium lub miedź. W wyniku styku z płynami o różnej temperaturze zachodzą procesy wymiany ciepła. Do powierzchni lub ośrodka generującego ciepło dociska się radiator, następnie w wyniku przewodzenia oraz konwekcji urządzenie przejmuje ciepło wygenerowane, aby w dalszym kroku rozproszyć ciepło do otoczenia. W celu optymalizacji całego procesu wymiany ciepła stosuje się dodatkowo różnego rodzaju wentylatory lub rurki z chłodziwem.

Kształt radiatora może być dowolny, istotne jest aby zapewnić jak najlepsze możliwe rezultaty odprowadzania ciepła. Jedynymi ograniczeniami kształtów radiatora jest

powierzchnia i wielkość miejsca pracy, ponieważ ze względu na chociażby ciasne i małe powierzchnie wewnątrz komputerów jesteśmy ograniczani co do wielkości i kształtów urządzenia. Istotne wtedy jest dobrać lub stworzyć możliwie jak najmniejszy radiator gwarantujący odpowiednio wysokie odprowadzanie ciepła z układu komputera. Sam kształt radiatora ogranicza tylko i wyłącznie nasza wyobraźnia przy ich tworzeniu. Posiadają one różne kształty jednak najczęściej spotykamy zwykłe proste radiatory płaskie z wystającymi żebrami przez całą długość blachy. Ich parametry różnią się w zależności od ich wysokości, zagęszczenia żeber, czy wielkości powierzchni styku z gorącym ośrodkiem. Na podstawie miejsca stosowania dobierane są radiatory tak aby gwarantować jak najlepsze rezultaty przy jak najmniejszych wymiarach oraz masie.

Najczęściej spotykanymi radiatorami są radiatory komputerowe stosowane do chłodzenia procesorów, kart graficznych oraz innych elektronicznych podzespołów w urządzeniach elektronicznych. Wymienniki te występują we wszystkich komputerach oraz laptopach, a także przy różnego typu konsolach do gier czy wzmacniaczach. Radiatory poza tym stosowane są również w pojazdach do chłodzenia silników i innych podzespołów, w urządzeniach i maszynach przemysłowych lub w klimatyzacjach. Wymienniki ciepła takie jak radiatory mogą być wykorzystywane wszędzie tam gdzie zachodzą zmiany temperaturowe i konieczna jest wymiana ciepła pomiędzy dwoma ośrodkami. Ze względu na swoje zalety takie jak wysoka skuteczność w przenoszeniu ciepła, dużą trwałość lub niskie koszty eksploatacji radiatory są powszechnie wykorzystywane w wielu dziedzinach.

4. CAD

CAD (Computer-Aided Design) czyli projektowanie wspomagane komputerowo. Pojęcie to w ogólnym znaczeniu odnosi się do wszelkiego rodzaju narzędzi oraz technik wykorzystywanych do tworzenia, modyfikowania, analizowania i wizualizowania projektów przy pomocy komputerów. CAD stał się nieodzowną częścią pracy w takich dziedzinach jak inżynieria, przemysł samochodowy lub maszynowy, przemysł elektryczny czy budownictwo lub architektura. W dobie dzisiejszych możliwości projekty maszyn, modeli lub poszczególnych części konstruowane są najpierw przy pomocy systemów CAD, a dopiero później następuje proces ich wytwarzania, podobnie jest w innych dziedzinach, dzisiaj ciężko jest sobie wyobrazić, że projekt domu lub biurowca jest tworzony odręcznie na kartce papieru, ponieważ szybciej dokona się tego przy pomocy specjalnych programów CAD, które dodatkowo gwarantują nam szybką modyfikację wszelkich aspektów takich jak wymiary, kształty itd.

Programy CAD również dzielą się na szeroką gamę rodzajów ponieważ innych programów używamy do tworzenia modeli 3D części maszyn lub innych elementów, innych do tworzenia rysunków architektoniczno-budowlanych, a jeszcze innego programu użyjemy do poważnych symulacji analiz termicznych lub związanych z symulacją statyczną np. obciążenia siłą lub momentem obrotowym. W zależności od rozwiązywanych zagadnień i problemów dobieramy odpowiedni program, który będzie spełniał oczekiwania konsumenta. W przypadku inżynierii budowy maszyn CAD stosowany jest aby umożliwić projektowanie modeli i rysunków części maszyn oraz wykonania analizy elementów i systemów maszyn, w architekturze CAD stosowany jest do rysunków technicznych i modeli 3D budynków, a w przypadku przemysłu samochodowego do projektowania i wizualizacji elementów samochodów takich jak silniki układy napędowe, karoserie itp. Niezmiennie każdy program CAD zapewnia szeroki zakres narzędzi i funkcji, który gwarantuje nam rozwiązanie zagadnień. Do powszechnie znanych i bardzo często stosowanych na całym rynku programów CAD zaliczamy programy firmy Autodesk takie jak AutoCAD, Inventor czy Fusion 360. AutoCAD jest narzędziem głównie stosowanym do tworzenia rysunków technicznych oraz modeli 2D, Inventor głównie stosowany do tworzenia modeli 3D, ale także dokumentacji technicznej gdzie możemy skorzystać z możliwości tworzenia ich na podstawie stworzonych wcześniej projektów trójwymiarowych, dodatkowo Inventor umożliwia tworzenie animacji i symulacji ruchu. Program Fusion 360 jest programem posiadającym wiele narzędzi umożliwiającym tworzenie projektów, w swoim oprogramowaniu łączy funkcje CAD 3D, CAM oraz MES. Najczęściej stosowanym narzędziem w tym oprogramowaniu jest MES, które pozwala przeprowadzić analizy modeli 3D z dziedziny mechaniki statycznej, zagadnień termicznych itd. Poza produktami firmy Autodesk w zagadnieniach inżynierii mechanicznej bardzo często stosowane są takie programy jak Solidworks do tworzenia modeli 3D, dokumentacji czy przeprowadzania analiz i symulacji różnych aspektów projektów, podobne przeznaczenie ma program CATIA, który zdecydowanie częściej stosowany jest w przemyśle lotniczym lub samochodowym ze względu na bardzo rozbudowane narzędzia do tworzenia złożonych modeli 3D.

Wszystkie programy CAD są wartościowe i powszechnie używane na rynku, do różnych zagadnień stosowane są różne programy ze względu na swoje właściwości czy przeznaczenie. Do głównych zalet wszystkich programów CAD możemy zaliczyć precyzję oraz dokładność, oszczędność czasu oraz kosztów, a także możliwość tworzenia symulacji, animacji czy wizualizacji. w realizacji zagadnień, oraz do przeprowadzenia analizy w tej pracy zostały użyty program Solidworks do stworzenia modeli 3D, które następnie zostały poddane analizom w programie Ansys, o którym więcej będzie powiedziane w dalszej części pracy.

4.1 Solidworks

Program Solidworks jest oprogramowaniem przeznaczonym do projektowania części oraz modeli 3D. Jest to jeden z najczęściej stosowanych programów w przemyśle i inżynierii do tego rodzaju działań. Funkcje projektowania modeli 3D są intuicyjne i łatwe do opanowania, co daje możliwość tworzenia wszelkiego rodzaju elementów w sposób efektywny zajmujący niewielkie ilości czasu. Możliwość szybkiego tworzenia modeli 3D wpływa pozytywnie na aspekty tworzenia i wprowadzania do rzeczywistości produktów finalnych. Wygenerowanie pożądanego produktu w formie 3D pozwala stworzyć i modyfikować koncepcje, ułatwiać komunikację między pracownikami, zmniejszyć koszty oraz poprawić jakość i efektywność działań na każdym płaszczynach tworzenia produktów. Do wielkich zalet programu Solidworks i funkcji 3D CAD należy zaliczyć możliwość łączenia wykonanych modeli w jeden projekt, a także korzystanie z gotowych elementów wgranych w bibliotekę oprogramowania jak klasyczne rodzaje śrub, czopów itp.

Poza tworzeniem modeli trójwymiarowych program Solidworks posiada również szereg rozwiązań z dziedziny symulacji. Łatwe w użyciu narzędzia do analiz pozwalają sprawdzić funkcjonalność produktu bez konieczności jego produkowania oraz poddawania doświadczeniom w laboratorium. Stosowanie analiz w postaci symulacji pozwala zaoszczędzić czas oraz pieniądze, w przypadku niepożądanych wyników możemy modyfikować model bez konieczności jego fizycznego istnienia. Program Solidworks umożliwia nam przeprowadzenie analiz zagadnień z kilku rodzajów symulacji takich jak:

- symulacje strukturalne dotyczące analizy części i zespołów w jaki sposób się zachowują pod obciążeniami mechanicznymi takimi jak siły, momenty czy ciśnienie,
- symulacje termiczne, które stosowane są do analizy rozkładu temperatur, zagadnień związanych z procesami cieplnymi jak wymiana ciepła,
- symulacje przepływu płynów stosowane do analizy zachowania płynów w postaci cieczy lub gazów przepływających przez lub wokół części lub zespołów,
- symulacje ruchu do przeprowadzenia analizy ruchu części lub zespołów w tym ich dynamikę lub kinematykę.

Poprzez dokonywanie tych analiz przy pomocy oprogramowania, możemy zrozumieć funkcjonalne zachowanie naszego modelu, sprawdzić jego właściwości fizyczne w określonych warunkach, oraz zidentyfikować i wykluczyć błędy lub problemy jeszcze przed stworzeniem fizycznego produktu.

Do kolejnych zalet programu Solidworks należy zaliczyć możliwość tworzenia rysunków i całych dokumentacji w formacie 2D z wykorzystaniem modeli 3D. Stworzony model lub cały projekt w prosty sposób można przedstawić w postaci rysunków technicznych z zachowaniem wszelkich wymiarów i szczegółów stworzonych w modelu 3D. Poza możliwością stworzenia rysunku technicznego w różnych skalach istnieje możliwość opisywania ich przy pomocy różnych symboli i oznaczeń dodatkowo jeśli to konieczne oprogramowanie umożliwia nam tworzenie rysunków złożań, widoków rzutów przekrojów i wielu innych. Tworzenie dokumentacji 2D jest istotnym aspektem na etapie wytwarzania, konstruowania czy produkcji oraz obsługi maszyn więc konieczne jest posiadanie narzędzi, które to tworzenie dokumentacji ułatwia, sprawia że jest intuicyjne i szybkie, a przy tym gwarantuje niezawodność.

Kolejnym narzędziem stosowanym w oprogramowaniu Solidworks jest narzędzie do tworzenia programów obróbkowych na podstawie modeli 3D. Solidworks CAM pozwala na automatyzację procesu tworzenia programów obróbki skrawaniem dla wszelkiego rodzaju maszyn CNC takich jak frezarki, tokarki, spawarki itp. Narzędzie to pozwala stworzyć program do obróbki takich procesów jak frezowanie toczenie, wiercenie itd. Ponadto posiada możliwość wizualizacji procesów obróbki skrawaniem na podstawie modelu 3D oraz maszyny. Takie działania umożliwiają zaplanowanie procesu obróbki oraz wykluczenie błędów lub problemów przed przystąpieniem do realizacji projektu i tworzenia produktu. Solidworks CAM jest często

stosowane w przemyśle głównie obróbki metali, a le także drewna czy tworzyw sztucznych. Narzędzie to ułatwia i przyspiesza projektowanie procesów obróbkowych poprzez możliwość stworzenia w szybki i dokładny sposób programów obróbki skrawaniem.

Podsumowując zalety oprogramowania Solidworks możemy powiedzieć, że jest narzędziem:

- umożliwiającym tworzenie modeli 3D, rysunków technicznych oraz plików CAM do obróbki skrawaniem,
- przyspieszającym prace na etapie konstrukcyjnym, projektowym oraz produkcji,
- intuicyjnym oraz łatwym w obsłudze,
- szeroko stosowanym w wielu dziedzinach takich jak inżynieria mechaniczna, elektryczna, budowlana czy inne.

5. Metoda elementów skończonych w analizie wymienników ciepła

Metoda elementów skończonych (w skrócie MES, z ang. Finite-Element Method, w skrócie FEM) jest metodą rozwiązywania zagadnień z wielu dziedzin nauki z zakresu fizyki, mechaniki, termodynamiki itd. Metoda ta polega na rozwiązywaniu zagadnień przy pomocy równań numerycznych, równań różniczkowych. Równania te są w stanie przybliżyć nam rzeczywiste rozwiązania bez konieczności wykonywania statycznych analiz na obiektach rzeczywistych. Jak sama nazwa wskazuje metoda ta powiązana jest z elementami skończonymi. Elementami skończonymi nazywamy siatkę połączonych ze sobą elementów, jest to obszar, na którym rozwiązujemy zagadnienia. Każdy element skończony opisany jest przez kilka swobodnych węzłów, w których następnie wyznaczane są rozwiązania w każdym z tych węzłów. Do otrzymania całościowego rezultatu konieczne jest wzięcie pod uwagę wszystkich rozwiązań obliczonych w węzłach. Wszystkie węzły razem tworzą na modelu analizowanym siatkę (ang. mesh), która pozwala nam opisać obszar poddawany obliczeniom numerycznym. Siatka tworzona jest po to aby zapewnić nam odpowiednie opisanie kształtu oraz odpowiednio zwiększyć lub zmniejszyć liczbę węzłów poprzez zagęszczenie siatki. Siatka przybiera różne kształty figur płaskich takich jak trójkąt, czworokąt lub figur przestrzennych takich jak czworościan czy sześcián. Odpowiedni kształt oraz zagęszczenie siatki będzie skutkowało uzyskaniem wiarygodnych wyników. Jeżeli wygenerowana siatka będzie posiadała zaburzoną strukturę, będzie zniekształcona może to skutkować przekłamaniami rezultatów wyliczonych przez oprogramowanie i mogą być niezgodne z rzeczywistym zachowaniem analizowanego modelu. Zbyt mała liczba elementów może prowadzić do niedokładnych i nieprecyzyjnych wyników. Im trudniejsze i bardziej złożone jest zagadnienie tym więcej elementów skończonych potrzebujemy do jego rozwiązania. Tworzenie siatki jest na ogół zagadnieniem wymagającym dużego doświadczenia oraz umiejętności przewidywania rezultatów. Doświadczona osoba jest w stanie przewidzieć gdzie mogą wystąpić największe komplikacje i problemy, a na tej podstawie umiejętnie stworzyć optymalną strukturę siatki i prawidłowo przeprowadzić analizę zgodną z założeniami.

Metoda elementów skończonych jako powszechna metoda rozwiązywania zagadnień techniką numeryczną jest cennym narzędziem w wielu dziedzinach nauki. Metoda elementów skończonych stosowana jest w mechanice do obliczania wszelkiego rodzaju naprężeń lub odkształceń, a także analizy obciążeń i wytrzymałości w elementach konstrukcyjnych. Możliwość przeprowadzenia takich obliczeń pozwala na optymalizację produktów poprzez zmianę jego kształtu na gwarantujący lepsze wyniki wytrzymałości, zastosowanie innego materiału będącego wytrzymalszym na rozciąganie itd. Bardzo dużą zaletą metody elementów skończonych jest możliwość rozwiązywania zagadnień z zakresu termodynamiki. MES pozwala przeprowadzić analizę rozkładu temperatury w ciele stałym, symulację wymiany ciepła z otoczeniem w zadanych warunkach, czy przeanalizować zmiany wynikające z przepływu ciepła, a także inne zagadnienia związane z transferem ciepła lub jego rozkładem.

Metoda elementów skończonych jest narzędziem często stosowanym do modelowania różnych układów termodynamicznych czyli np. analizy wymienników ciepła. Jak już wcześniej w pracy zostało wspomniane, wymienniki ciepła są urządzeniami stosowanymi do wymiany ciepła pomiędzy układami. W celu określenia funkcjonalności oraz zbadania możliwości wymienników stosuje się właśnie metodę elementów skończonych. Do prawidłowego stworzenia analizy wymiennika ciepła konieczne jest jego uprzednie zdefiniowanie. W pierwszym kroku należy określić zachowanie termodynamiczne wymiennika, jego zakres pracy, a także warunki brzegowe oraz początkowe. Jeżeli chcemy otrzymać rezultaty zgodne z rzeczywistymi musi stworzyć model zgodny z rzeczywistym oraz warunki zgodne z rzeczywistymi warunkami pracy. Konieczne jest stworzenie odpowiedniego kształtu, nadanie odpowiedniego materiału, oraz odtworzenie odpowiednich warunków w jakich urządzenie

funkcjonuje podając temperaturę początkową, czynnik chłodzący, czy mechanizm transportu ciepła. Jest wiele możliwości tworzenia analizy wymiennika ciepła, a prawidłowe stworzenie symulacji wymaga wiedzy oraz umiejętności. Po wykonaniu analizy oprogramowanie jest w stanie metodą elementów skończonych obliczyć np. rozkład temperatury, czy przepływ ciepła i wyznaczyć właściwości wymiennika ciepła.

6. Oprogramowanie Ansys

ANSYS jest jednym z najpopularniejszych na świecie oprogramowaniem symulacyjnym do przeprowadzania analiz i rozwiązań wielu problemów inżynierskich. Stosowany w wielu dziedzinach nauki takich jak inżynieria mechaniczna, budowa maszyn, materiałoznawstwo, elektronika, elektrotechnika oraz wiele innych. Poprzez dokonywanie analiz w programie ANSYS jesteśmy w stanie rozwiązać wiele zagadnień z tematyki inżynierskiej takie jak zagadnienia termiczne, rozkład naprężeń, zagadnienia strukturalne, dynamika i kinematyka ciał stałych lub płynów oraz o wiele więcej.

ANSYS Workbench jest platformą oprogramowania ANSYS, która pozwala na tworzenie projektów nawet tych bardzo złożonych. W środowisku Workbench możliwe jest przeprowadzanie analiz oraz symulacji przy wykorzystaniu wszystkich dostępnych narzędzi oprogramowania. W skład tych narzędzi wchodzi:

- ANSYS Mechanical jako jeden z modułów umożliwia rozwiązywanie problemów inżynierskich z zakresu mechaniki. Wykorzystanie tej funkcji pozwala tworzyć nam modele oraz przeprowadzać analizy różnych zjawisk mechanicznych takich jak odkształcenia, naprężenia lub drgania. Dzięki swoim możliwościom w łatwy i prosty sposób jesteśmy w stanie dokonać analiz statycznych lub dynamicznych, a także rozwiązać problemy natury cieplnej lub termo-mechanicznej.
- ANSYS Fluent pozwala na zaprojektowanie analiz zjawisk związanych z płynami w postaci cieczy lub gazów. Do zalet tego narzędzia możemy zaliczyć tworzenie analiz związanych z ruchem turbulentnym lub laminarnym wszelkiego rodzaju płynów. Dodatkowo ANSYS Fluent pozwala na dokonywanie analiz statycznych lub dynamicznych związanych z zjawiskami cieczy lub gazów. Narzędzie to dysponuje wielkimi możliwościami pozwalając nam na tworzenie złożonych układów
- ANSYS CFX jest to narzędzie stworzone do badania wszelkich zagadnień związanych z przepływem. Pozwala ono dokonywać analiz przepływu cieczy lub gazu w różnych układach
- ANSYS HFSS jest to moduł przeznaczony do projektowania i analizowania zjawisk związanych z falami elektromagnetycznymi. HFSS pozwala analizować nam takie procesy jak przewodzenie dyfrakcja rozpraszanie, polaryzacja i wiele innych. Oprogramowanie to umożliwia dokonywanie analiz statycznych i dynamicznych, a także dla częstotliwości skończonych lub ciągłych.
- Ansys Transient Thermal jest to moduł jeden z wielu przeznaczony do projektowania i analizowania problemów termicznych. Pozwala dokonywać analiz termicznych związanych z przepływem ciepła rozkładem temperatur lub procesami wymiany ciepła. Specyfiką tego narzędzia jest możliwość analizowania wyżej wymienionych procesów termicznych w sposób dynamiczny, czyli takich, które zmieniają się w czasie. Jest to duży atut tego modułu, ponieważ jesteśmy w stanie zaprojektować przypadek w którym zmianie będzie podlegała temperatura lub warunki brzegowe.

ANSYS Workbench posiada o wiele więcej narzędzi i modułów niż tylko te wymienione wyżej. Środowisko to jest proste w opanowaniu i nie wymaga specjalistycznej wiedzy z zakresu programowania. Jedną z największych zalet tego oprogramowania jest możliwość tworzenia zarówno prostych jak i tych bardzo złożonych projektów, przez co oprogramowanie ANSYS jest szeroko stosowane w przemyśle i nauce.

Przechodząc do szczegółów pracy oprogramowania ANSYS, tworzenie analiz możemy podzielić na trzy etapy. Pierwszy z nich dotyczy generowania modelu. Model może być wykonany przy pomocy narzędzi dostępnych w ANSYS lub istnieje możliwość wgrania pliku z modelem 3D wykonanym w innym programie CAD. Następnie określa się materiał przedmiotu oraz konieczne jest wygenerowanie siatki elementów skończonych. Drugim etapem

jest generowanie rozwiązań. W tym punkcie określane są założenia dotyczące analizy takie jak warunki początkowe lub warunki brzegowe. Istotne jest aby nakreślić właściwe parametry analizy tak aby odzwierciedlały one rzeczywistą sytuację. Ostatni etap jest to uzyskanie wyników. W tym punkcie określamy czego szukamy, a następnie sprawdzamy wyniki. Istotne jest aby w programie podać informacje dotyczącą czego oczekujemy od oprogramowania. W skrócie co oprogramowanie ma policzyć. Następnie po wygenerowaniu wyników konieczne jest ich zweryfikowanie i ewentualne skorygowanie założeń jeśli jest to konieczne. Dodatkowo na tym etapie możemy sporządzić wykresy zależności, które dodatkowo pozwalają zobrazować wyniki analizy. Przedstawienie wyników w oprogramowaniu ANSYS odbywa się na wiele sposobów w zależności od potrzeb i preferencji użytkownika. Wyniki mogą być przedstawiane poprzez różnego typu wykresów, map cieplnych, animacji lub raportów. Możliwość generowania wyników w różnej postaci pozwala lepiej zinterpretować wyniki oraz się do nich odnieść przystępując do wniosków. Ze względu na swoje duże możliwości oprogramowanie ANSYS znalazło szerokie zastosowanie w wielu branżach i dziedzinach nauki. Jest powszechnie stosowanym narzędziem w przemyśle samochodowym, lotniczym, budowlanym, a także energetycznym i elektronicznym. Pozwala rozwiązywać wiele zagadnień co w efekcie przekłada się na wydajniejszą pracę wielu zakładów. Możliwość generowania analiz obiektów bez konieczności tworzenia ich w rzeczywistości pozwala ograniczyć koszty produkcji, oraz zaoszczędzić czas pracy. Jest nieocenionym narzędziem pozwalającym zoptymalizować wiele aspektów jak proces konstrukcji lub produkcji elementów [4,5,8].

7. Przygotowanie do analizy

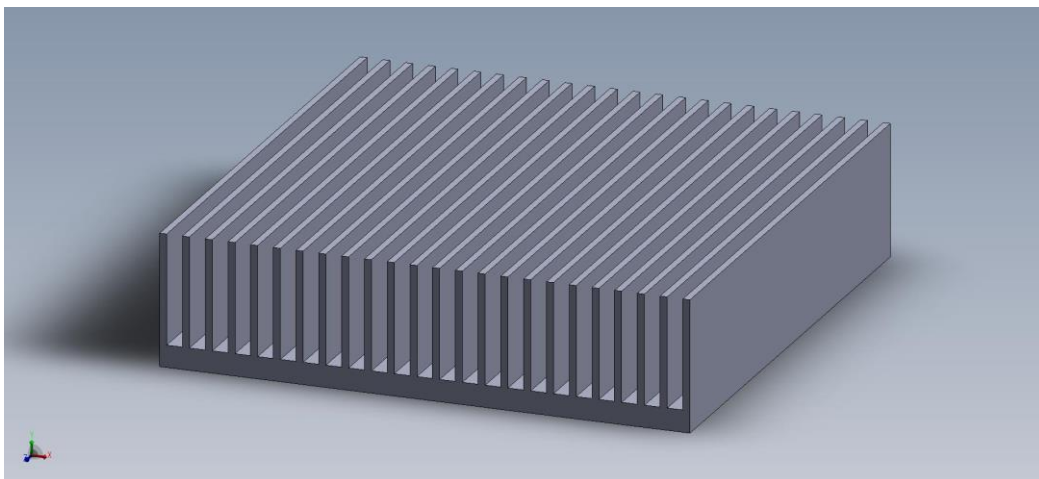
7.1 Warunki i opis analizy

Do wykonania analizy rozkładu temperatur w wymienniki ciepła konieczne jest wykonanie kilku kroków poprzedzających. W pierwszym kroku konieczne jest stworzenie modeli do wykonania analizy. W celu wysunięcia wniosków w jaki sposób zmienia się rozkład temperatury w wymienniku ciepła potrzebne jest stworzenie kilku modeli, aby móc zestawić wyniki uzyskane dla różnych przykładów. Zastosowanie kilku przykładów geometrii radiatora pozwoli wysunąć wnioski w jaki sposób zmienia się rozkład temperatur podczas pracy urządzenia i jakie aspekty są znaczące w poprawie wydajności. Kolejnym krokiem jest określenie pewnych założeń odnośnie analizy dokonywanej w programie ANSYS. Do symulacji zostaną wykorzystane dwie analizy „transient thermal” oraz „steady-state thermal”. W przypadku „transient thermal” rozpatrujemy sytuacje zmienną w czasie, czyli celem jest określenie jak ciepło przepływa przez radiator w czasie. Analiza ta pozwoli nam sprawdzić w jaki sposób zmienia się temperatura w urządzeniu i po jakim czasie się ona stabilizuje. W przypadku analizy „steady-state thermal” rozpatrujemy przypadki w stanie równowagi gdzie zamiany w czasie nie są analizowane. Rozwiązanie tego zagadnienia pozwoli nam porównać wyniki z analizą zmienną w czasie, gdzie wyniki powinny być bardzo zbliżone do siebie. Do wykonania tych analiz konieczne jest określenie pewnych założeń które będą pozwalało zestawić ze sobą wyniki. Na początku określamy dwa materiały, które pozwolą nam porównać jego wpływ na efekty pracy. Czas w jakim radiator będzie przyjmował ciepło jest zależny od kilku czynników takich jak kształt, materiał, czy sposób chłodzenia więc będzie to zagadnienie zmienne dla każdego przypadku. Konieczne jest jednak określenie kilku innych warunków, jak temperatura początkowa, temperatura przyłożona na podstawę radiatora lub konwekcja mająca na celu wychładzanie pracującego urządzenia. Temperatura początkowa jak i temperatura przyłożona do podstawy będą jednakowe dla wszystkich przypadków analizowanych w programie. Zmienne natomiast będzie zjawisko konwekcji, które będzie rozpatrywane w dwóch przypadkach. Dzięki takim wytycznym będziemy mogli porównać wyniki jakie uzyskamy podczas analiz.

7.2 Przygotowanie modeli w Solidworks

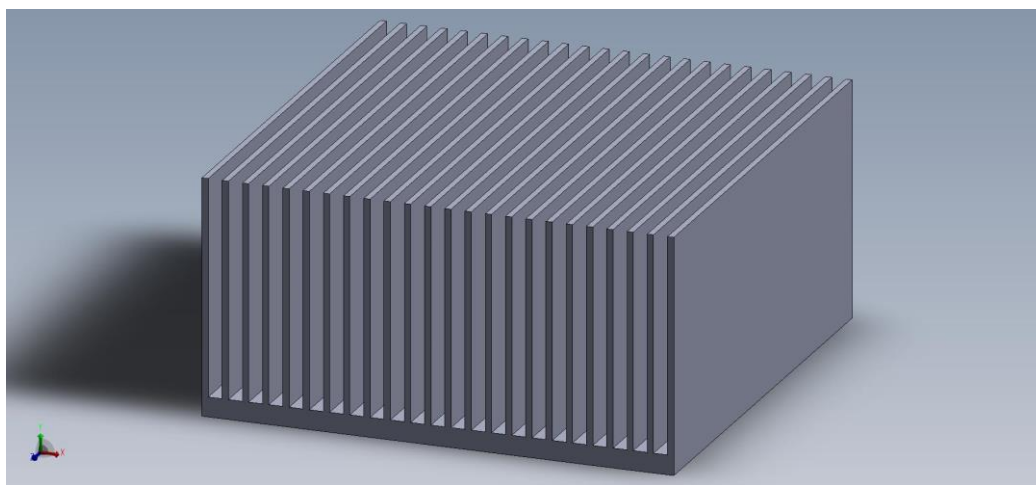
Do stworzenia modeli wykorzystano oprogramowanie Solidworks. Do analizy wykorzystane zostały trzy modele wszystkie wykonane przy pomocy narzędzi dostępnych w programie Solidworks.

Pierwszy model ma wymiary 120x120x30mm, składa się on z podstawy 120x120x5mm oraz 24 żeber o wysokości 25mm szerokości 1,6mm oraz długości 120mm.



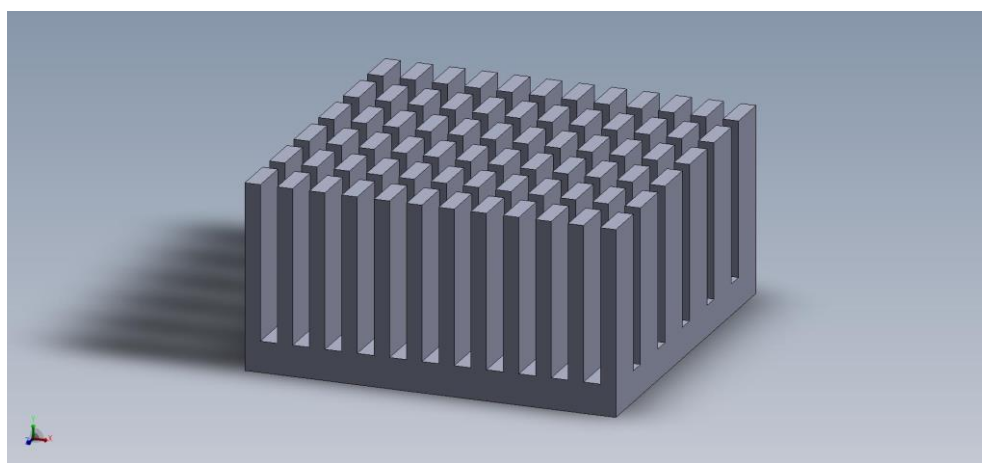
Rysunek 7.1. Model 3D radiatora 1.

Drugi model ma wymiary 120x120x60mm, składa się on z podstawy 120x120x5mm oraz 24 żeber o wysokości 55mm szerokości 1,6mm oraz długości 120mm.



Rysunek 7.2. Model 3D radiatora 2.

Trzeci model ma wymiary 120x120x60mm, składa się on z podstawy 120x120x10mm oraz 72 prostopadłościów o wysokości 55mm szerokości 5mm oraz długości 15mm rozmieszczonych na podstawie w odstępnie poziomym co 5,45mm, a pionowym 6mm.



Rysunek 7.3. Model 3D radiatora 3.

7.3 Przygotowanie modeli w ANSYS

Do wykonania analizy rozkładu temperatur wykorzystane zostało oprogramowanie ANSYS. Tak jak wcześniej w pracy było wspomniane, aby dokonać analizy zagadnień związanych z wymianą ciepła i rozkładem temperatur konieczne jest prawidłowe przygotowanie w programie symulacji warunków pracy. W pierwszym kroku konieczne jest określenie materiału użytego do analizy. W tym przypadku użyjemy dwóch rodzajów, aluminium oraz miedź. Do obliczeń potrzebnych w analizie konieczne jest podanie pewnych właściwości materiału takich jak gęstość, współczynnik przewodzenia oraz ciepło właściwe. W tabeli 7.1. są przedstawione te wartości dla danego materiału.

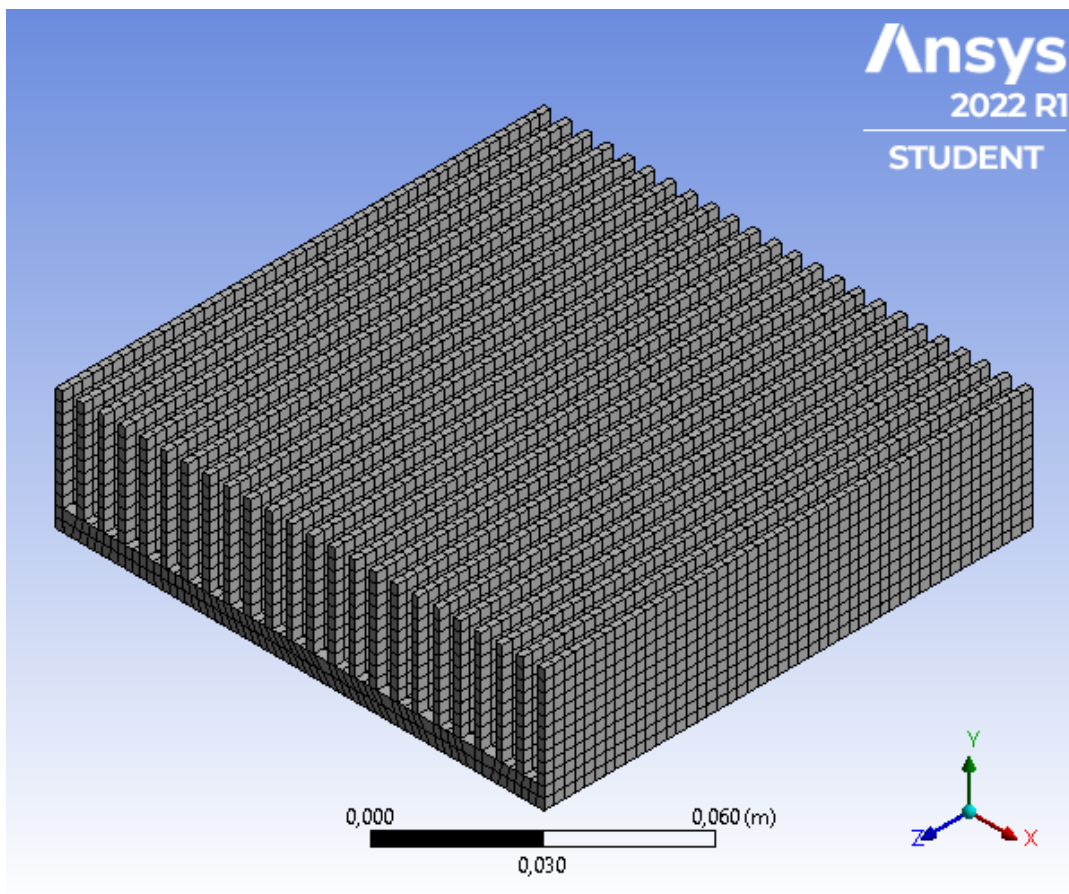
Tabela 7.1. Właściwości termiczne aluminium oraz miedzi.

Stałe materiałowe	aluminium	miedź
Gęstość $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	2700	8960
Współczynnik wymiany ciepła $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}\right]$	200	380
Ciepło właściwe $C_p \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right]$	900	390

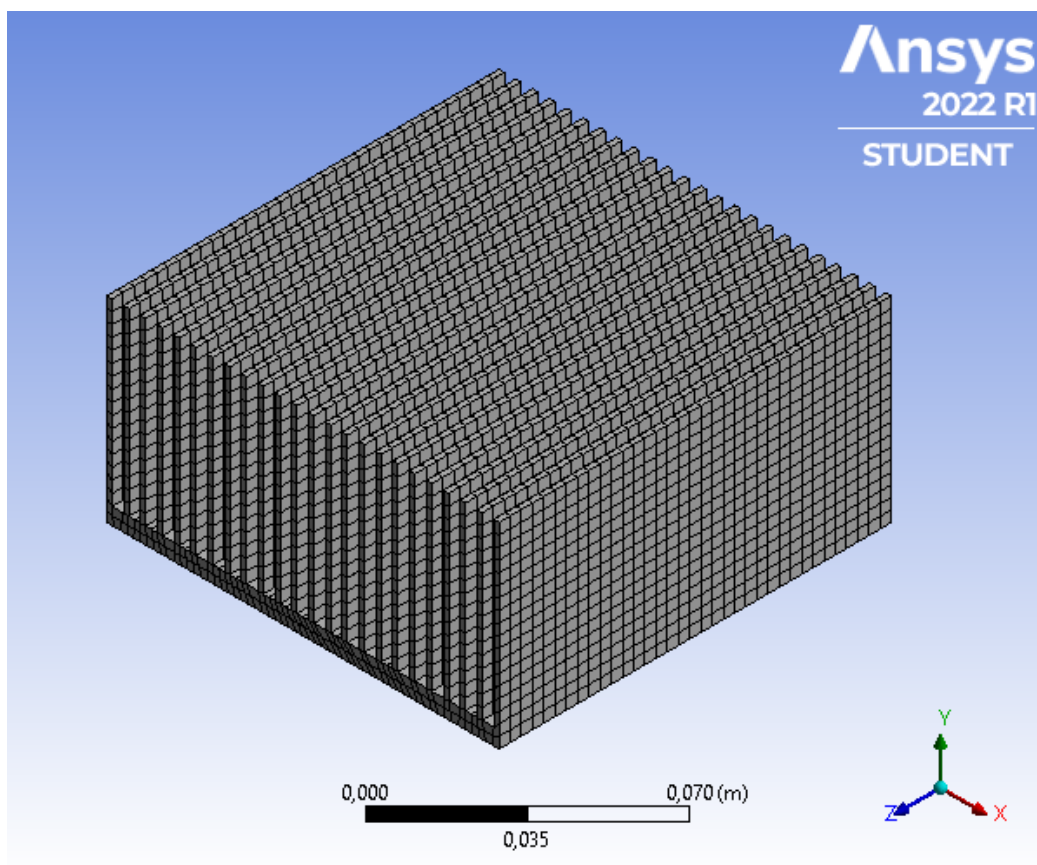
W celu uzyskania wyników konieczne jest zagęszczenie siatki węzłów elementów skończonych. W przypadku modeli i zagadnień rozwiązywanych w tej pracy zagęszczenie siatki nie wpływa w znaczący sposób na wyniki analizy, dlatego nie jest istotne aby ją mocno zagęszczać, ponieważ wyniki uzyskane są bardzo zbliżone. W tabeli 7.2. przedstawione są wartości zagęszczenia siatki dla poszczególnych modeli wykorzystanych w analizach.

Tabela 7.2. Zagęszczenie siatki elementów skończonych w poszczególnych radiatorach.

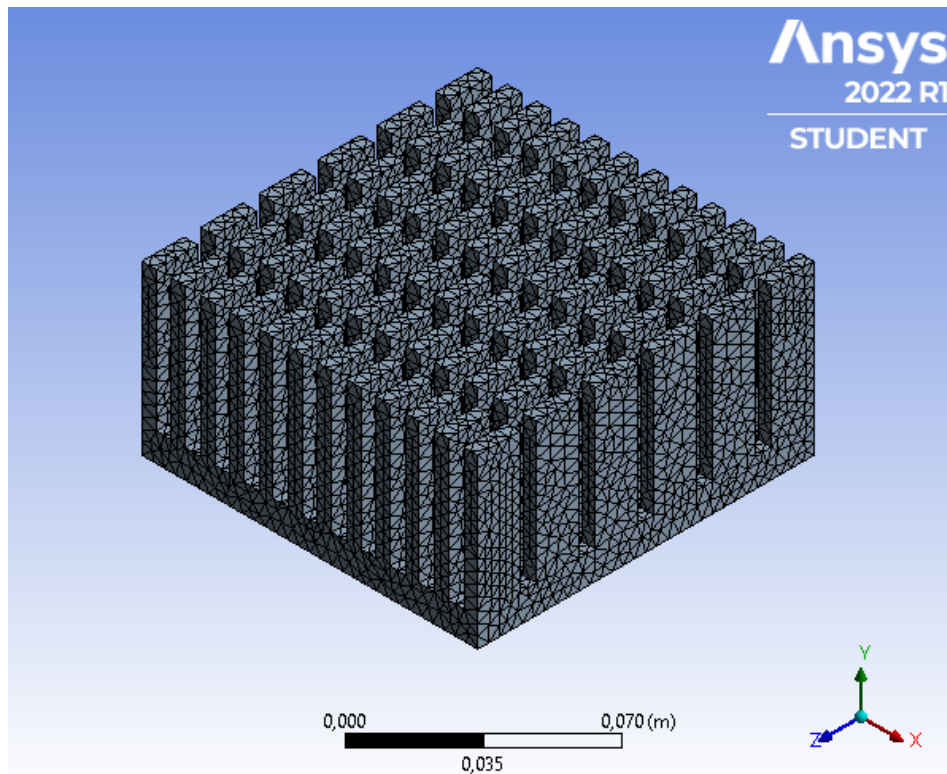
Model	Zagęszczenie siatki	Ilość węzłów	Ilość elementów
Radiator 1	0,0025	116533	17664
Radiator 2	0,003	119079	17500
Radiator 3	0,004	121716	68770



Rysunek 7.4 Zagęszczenie siatki radiatora 1.



Rysunek 7.5 Zagęszczenie siatki radiatora 2.



Rysunek 7.6. Zagęszczenie siatki radiatora 3.

Pierwsze analizy są przeprowadzone przy pomocy modułu transient thermal w celu znalezienia czasu, w którym następuję ustabilizowanie się temperatury przyjmowanej przez radiator. Następnie przy pomocy modułu steady-state thermal sprawdzamy temperaturę w zagadnieniu statycznym. Uzyskane wyniki porównujemy ze sobą.

W analizie konieczne jest zadanie pewnych warunków takich jak zjawisko konwekcji mające na celu ochłodzenie nagrzewającego radiatora. Na rysunku 7.7 przedstawione jest jedno z warunków termicznych radiatora 1. Rysunek przedstawia zjawisko konwekcji, którego celem jest wychładzanie urządzenia podczas przejmowania ciepła. Wartość współczynnika konwekcji wynosi $30 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right]$ w jednym przypadku oraz $15 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right]$ w drugim przypadku. Zjawisko konwekcji powiązane jest z prawem chłodzenia Newtona mówiące: „Szybkość z jaką układ stygnie jest proporcjonalna do różnicy temperatur pomiędzy układem a otoczeniem” [7]. W oparciu o to prawo sformułowano wzór (7.1.)

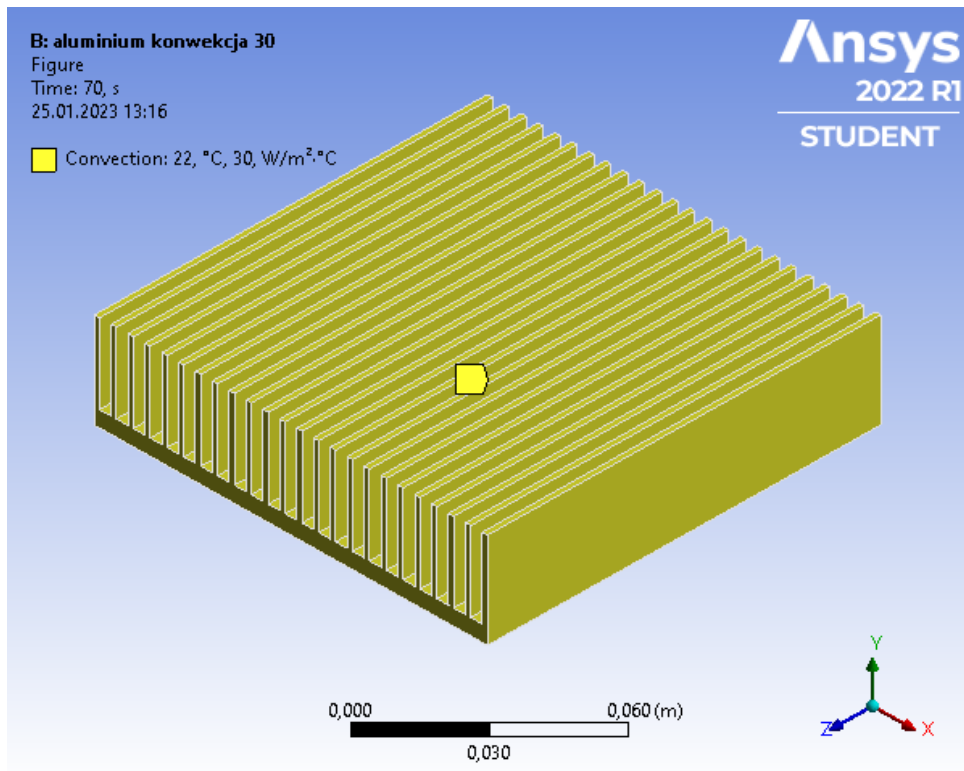
$$\mathbf{q} = hA\Delta T = hA(T - T_p) \quad (7.1.)$$

gdzie: \mathbf{q} – strumień ciepła w wymianie konwekcyjnej na powierzchni, h – konwekcyjny współczynnik wymiany ciepła, A – powierzchnia, ΔT – różnica temperatur pomiędzy temperaturą powierzchni a temperaturą płynu (otoczenia) T_p .

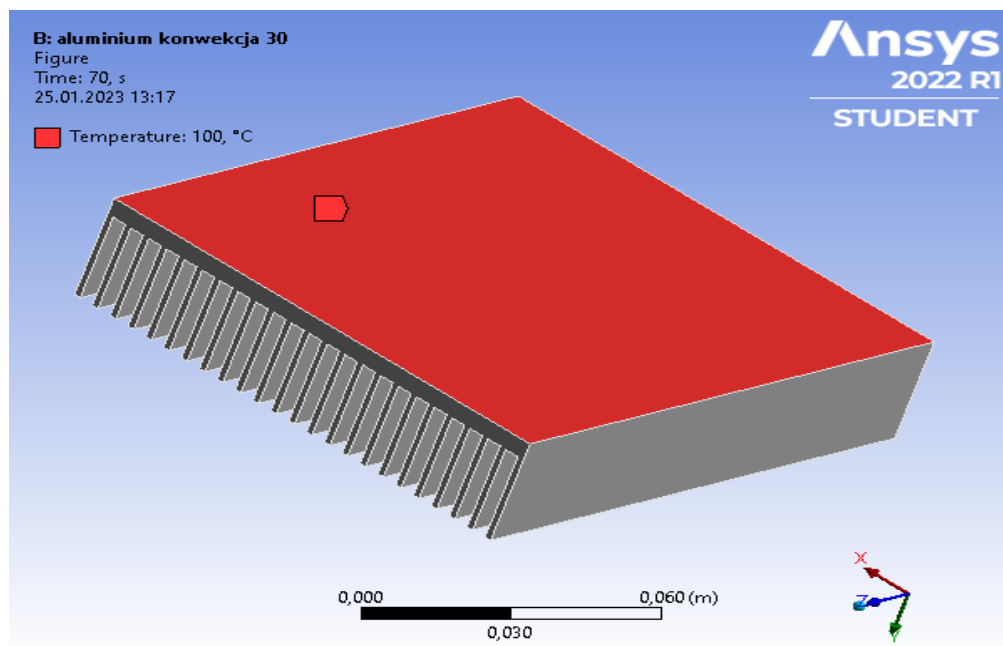
Poza wartością współczynnika konwekcji została również ustawiona jednakowa temperatura otoczenia dla każdego przypadku równa $T_p = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Dodatkowo na radiator działa stała temperatura powierzchni, jest ona przyłożona na podstawę radiatora. Wartość przyłożonej temperatury wynosi 100°C , warunek został przedstawiony na rysunku 7.8.

Kolejnym warunkiem stałym jest temperatura początkowa wymiennika ciepła wynosząca $T(0)=22^\circ\text{C}$.



Rysunek 7.7. Warunek konwekcji radiatora 1 aluminiowego z konwekcją 30 $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right]$.



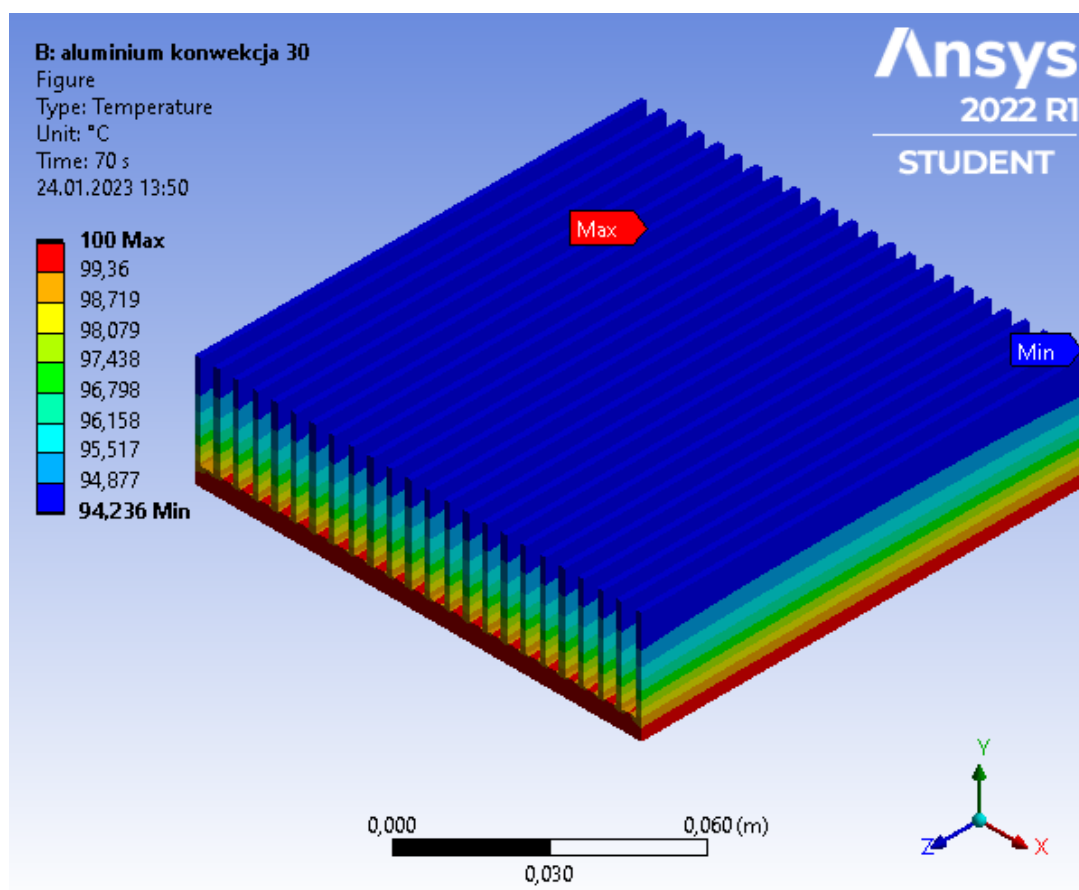
Rysunek 7.8. Warunek temperatury radiatora 1 aluminiowego z konwekcją 30 $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right]$.

8. Wyniki obliczeń

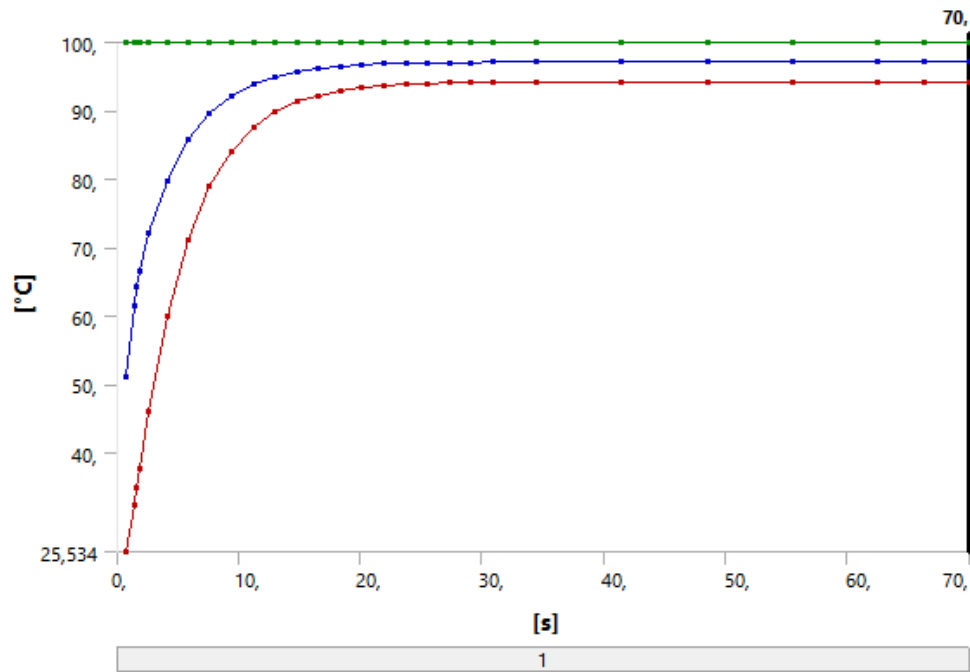
Wyniki obliczeń dla modelu Radiatora 1.

Radiator został poddany analizie transient thermal w czterech przypadkach. Każdy przypadek został rozwiązany i przedstawiony przy pomocy rysunku rozkładu temperatur, tabeli wartości temperatur w czasie oraz wykresu pokazującego zmianę wartości temperatury w czasie.

Radiator 1 aluminiowy z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $30 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right]$.



Rysunek 8.1. Rozkład temperatur radiatora 1 aluminiowego z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $30 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right]$. Rozkład w chwili ustabilizowania temperatury.



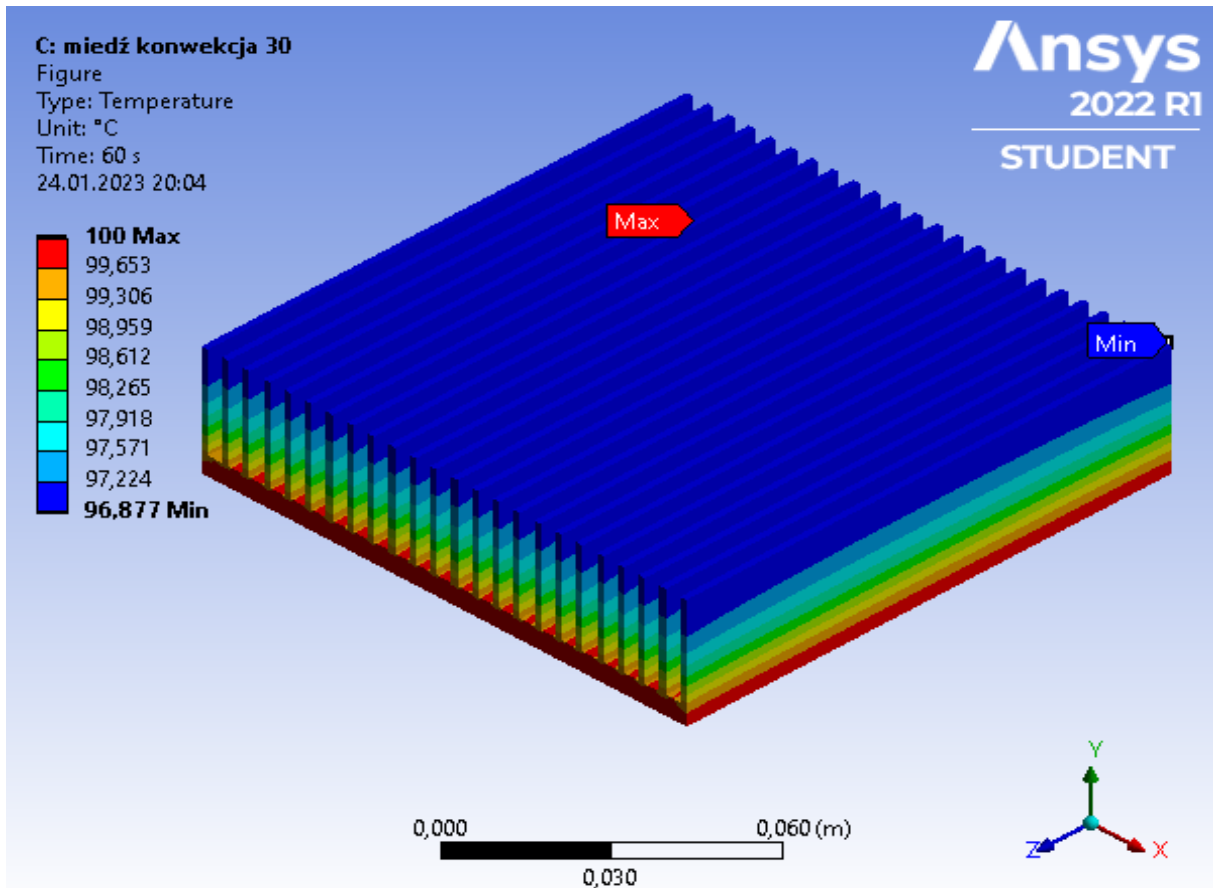
Wykres 8.1. Wykres temperatur na podstawie tabeli 8.1. Na wykresie kolor czerwony oznacza temperaturę minimalną, kolor zielony temperaturę maksymalną, a kolor niebieski temperaturę średnią.

Tabela 8.1. Wyniki temperatur radiatora 1 aluminiowego z konwekcją 30 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$.

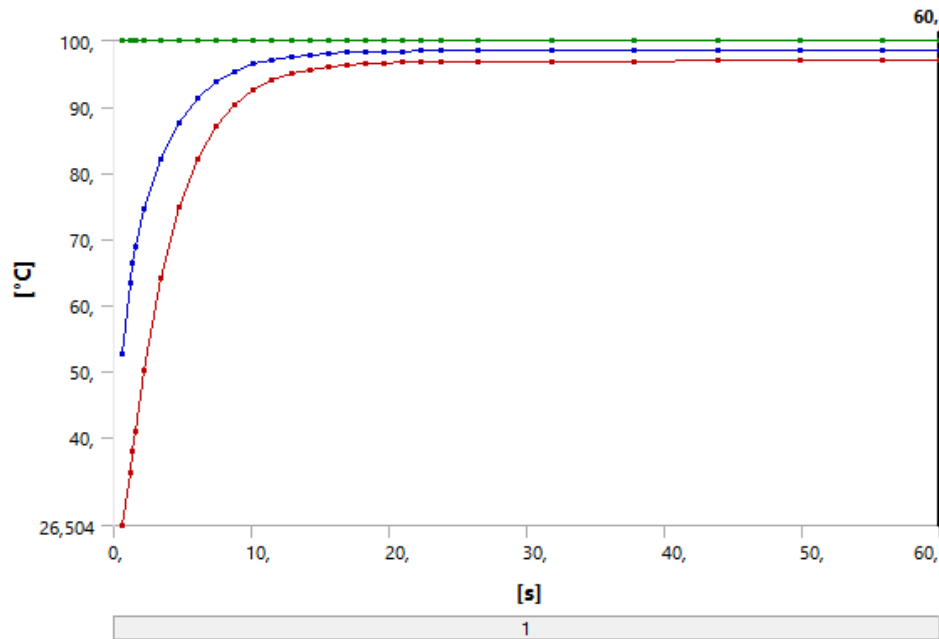
Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]	
0,7	25,534	100,	51,03	
1,4	32,32		61,423	
1,6333	34,881		64,206	
1,8667	37,647		66,593	
2,5667	45,991		72,053	
4,0569	59,882		79,805	
5,8127	71,2		85,744	
7,599	78,926		89,684	
9,3882	84,076		92,261	
11,178	87,497		93,946	
12,968	89,767		95,048	
14,758	91,273		95,769	
16,548	92,272		96,239	
18,339	92,934		96,547	
20,13	93,373		96,749	
21,921	93,665		96,88	
23,712	93,858		96,966	
25,504	93,985		97,023	
27,295	94,07		97,059	
29,086	94,126		97,083	
30,878	94,163		97,099	
34,46	94,2		97,114	
41,46	94,224		97,124	
48,46	94,232		97,127	
55,46	94,235		97,128	
62,46	94,236			97,129
66,23				
70,				

W pierwszym przypadku czas całej symulacji wyniósł 70 sekund, po to aby uwzględnić zmiany zachodzące w radiatorze. Na podstawie tego możemy zobaczyć, w jakim czasie następuje ustabilizowanie temperatury w radiatorze. Temperatura stabilizuje się w okolicach 62 sekundy na temperaturze $94,236^{\circ}\text{C}$.

Radiator 1 miedziany z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $30 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \right]$.



Rysunek 8.2. Rozkład temperatur radiatora 1 miedzianego z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $30 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \right]$. Rozkład w chwili ustabilizowania temperatury.



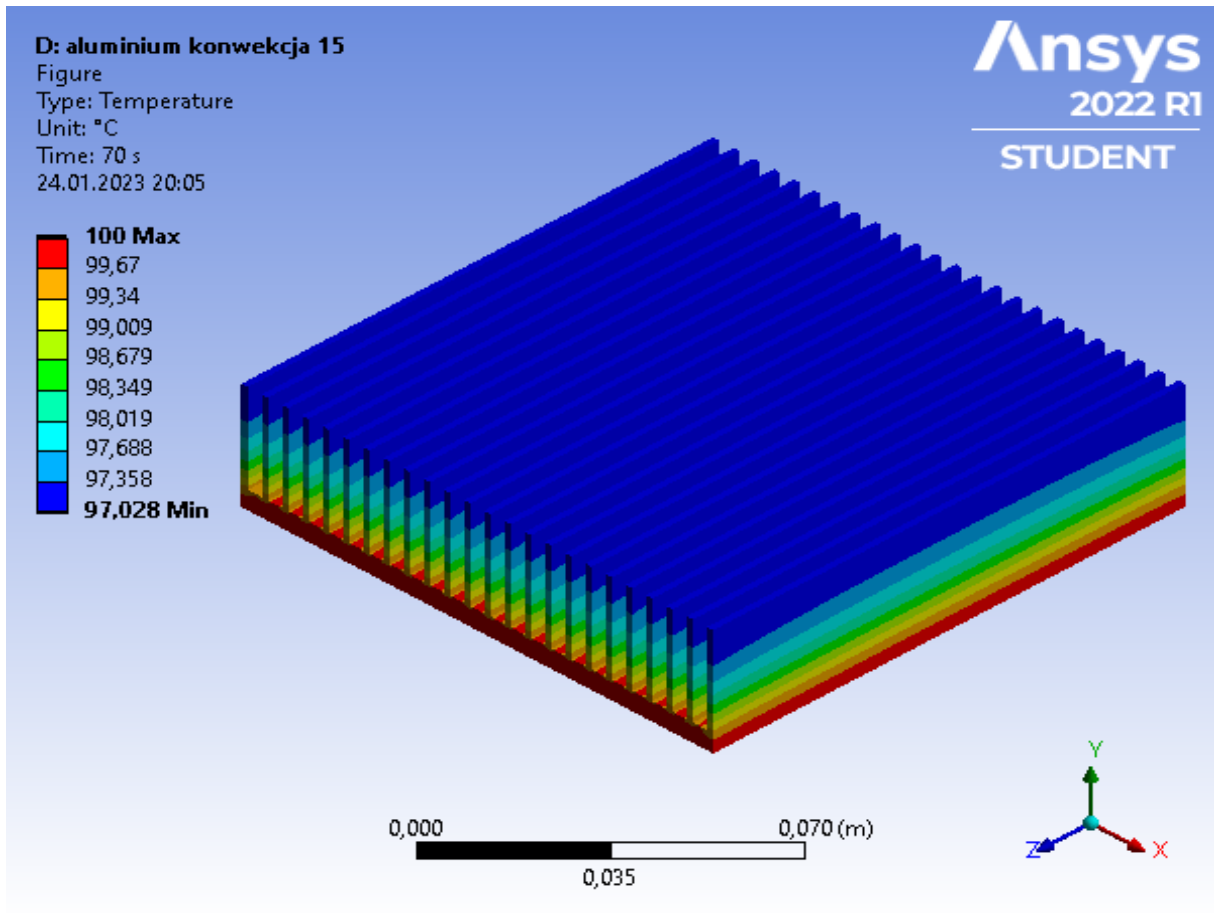
Wykres 8.2. Wykres temperatur na podstawie tabeli 8.2. Na wykresie kolor czerwony oznacza temperaturę minimalną, kolor zielony temperaturę maksymalną, a kolor niebieski temperaturę średnią.

Tabela 8.2. Wyniki temperatur radiatora 1 miedzianego z konwekcją $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

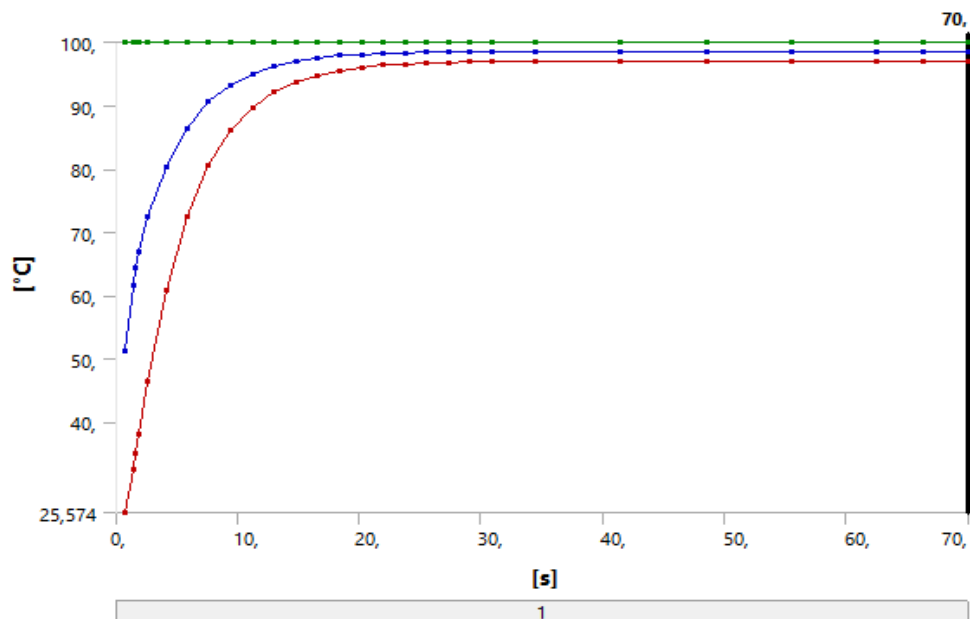
Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
0,6	26,504	100,	52,397
1,2	34,624		63,269
1,4	37,635		66,184
1,6	40,827		68,69
2,2	50,032		74,397
3,4108	64,044		82,041
4,7511	74,745		87,594
6,1041	82,039		91,286
7,4585	86,939		93,722
8,813	90,224		95,33
10,168	92,424		96,391
11,523	93,897		97,091
12,878	94,883		97,553
14,233	95,543		97,857
15,589	95,985		98,059
16,944	96,28		98,191
18,3	96,478		98,279
19,656	96,61		98,336
21,012	96,698		98,375
22,368	96,758		98,4
23,724	96,797		98,416
26,435	96,837		98,433
31,859	96,863		98,443
37,859	96,873		98,447
43,859	96,875		98,448
49,859	96,876		
55,859	96,877		
60,	96,877		

W drugim przypadku czas całej symulacji wyniósł 60 sekund, czas został skrócony o 10 sekund względem pierwszego przypadku, ponieważ temperatura w tym przypadku szybciej się ustabilizowała. Wydłużenie czasu symulacji nie spowodowałoby wzrostu temperatury w radiatorze. Temperatura stabilizuje się w okolicach 55 sekundy na temperaturze 96,877°C.

Radiator 1 aluminiowy z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła
wynoszącym $15 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right]$.



Rysunek 8.3. Rozkład temperatur radiatora 1 aluminiowego z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $15 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right]$. Rozkład w chwili ustabilizowania temperatury.



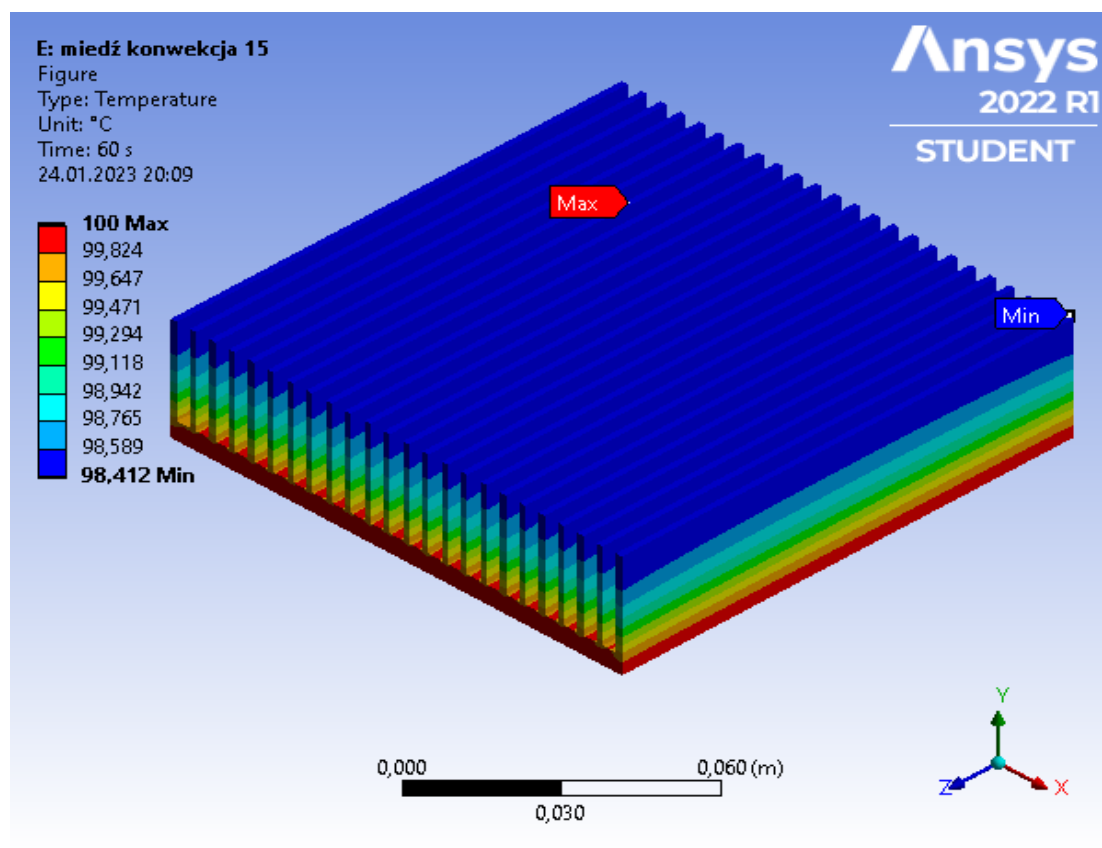
Wykres 8.3. Wykres temperatur na podstawie tabeli 8.3. Na wykresie kolor czerwony oznacza temperaturę minimalną, kolor zielony temperaturę maksymalną, a kolor niebieski temperaturę średnią.

Tabela 8.3. Wyniki temperatur radiatora 1 aluminiowego z konwekcją $15 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

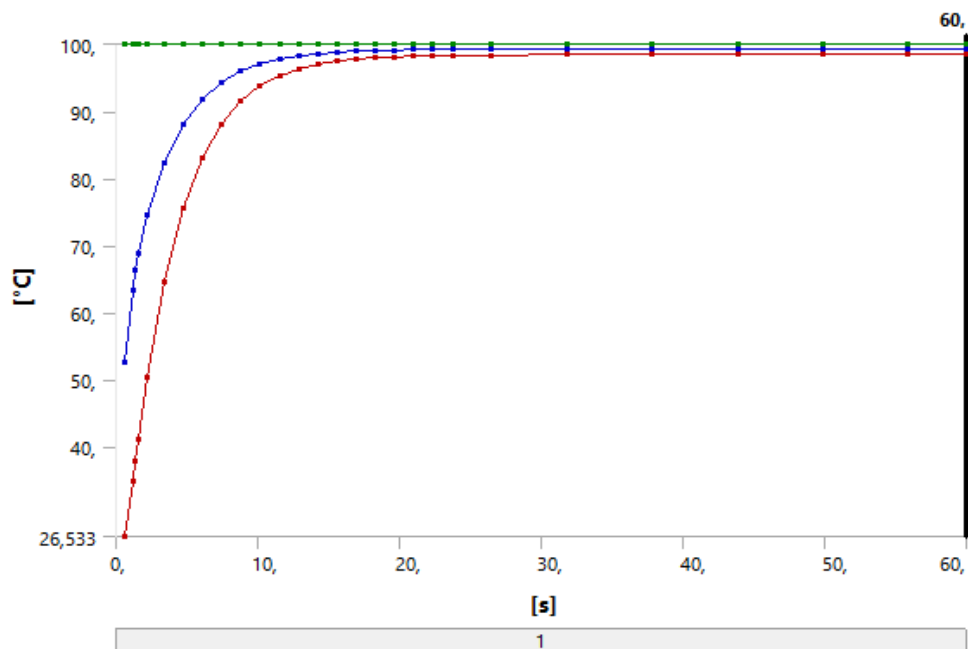
Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
0,7	25,574	100,	51,073
1,4	32,456		61,532
1,6333	35,054		64,34
1,8667	37,864		66,753
2,5667	46,375		72,302
4,0622	60,695		80,269
5,8193	72,437		86,414
7,6059	80,523		90,528
9,3952	85,967		93,245
11,185	89,619		95,039
12,975	92,066		96,223
14,765	93,706		97,005
16,555	94,804		97,521
18,346	95,539		97,862
20,137	96,032		98,087
21,928	96,361		98,235
23,719	96,582		98,333
25,511	96,73		98,398
27,303	96,828		98,441
29,094	96,895		98,469
30,886	96,939		98,488
34,469	96,983		98,506
41,469	97,013		98,518
48,469	97,023		98,522
55,469	97,026		98,523
62,469	97,027		98,524
66,235	97,028		
70,			

W trzecim przypadku czas całej symulacji wyniósł 70 sekund, aby pokazać moment ustabilizowania temperatury. Temperatura ustabilizowała się w okolicach 66 sekundy na temperaturze 97,028°C.

Radiator 1 miedziany z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $15 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right]$.



Rysunek 8.4. Rozkład temperatur radiatora 1 miedzianego z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $15 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right]$. Rozkład w chwili ustabilizowania temperatury.



Wykres 8.4. Wykres temperatur na podstawie tabeli 8.4. Na wykresie kolor czerwony oznacza temperaturę minimalną, kolor zielony temperaturę maksymalną, a kolor niebieski temperaturę średnią.

Tabela 8.4. Wyniki temperatur radiatora 1 miedzianego z konwekcją $15 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
0,6	26,533	100,	52,425
1,2	34,717		63,339
1,4	37,754		66,27
1,6	40,974		68,791
2,2	50,286		74,554
3,4125	64,537		82,316
4,7531	75,462		87,979
6,1063	82,946		91,761
7,4606	88,		94,271
8,8152	91,405		95,935
10,17	93,698		97,039
11,525	95,241		97,771
12,88	96,279		98,256
14,235	96,978		98,578
15,591	97,448		98,792
16,947	97,764		98,934
18,302	97,977		99,028
19,659	98,119		99,09
21,015	98,216		99,131
22,371	98,28		99,159
23,727	98,324		99,177
26,439	98,367		99,195
31,863	98,397		99,207
37,863	98,408		99,211
43,863	98,411		99,212
49,863	98,412		
55,863			
60,			

W czwartym przypadku czas całej symulacji wyniósł 60 sekund, aby pokazać moment ustabilizowania temperatury. Temperatura ustabilizowała się w okolicach 49 sekundy na temperaturze 98,412°C.

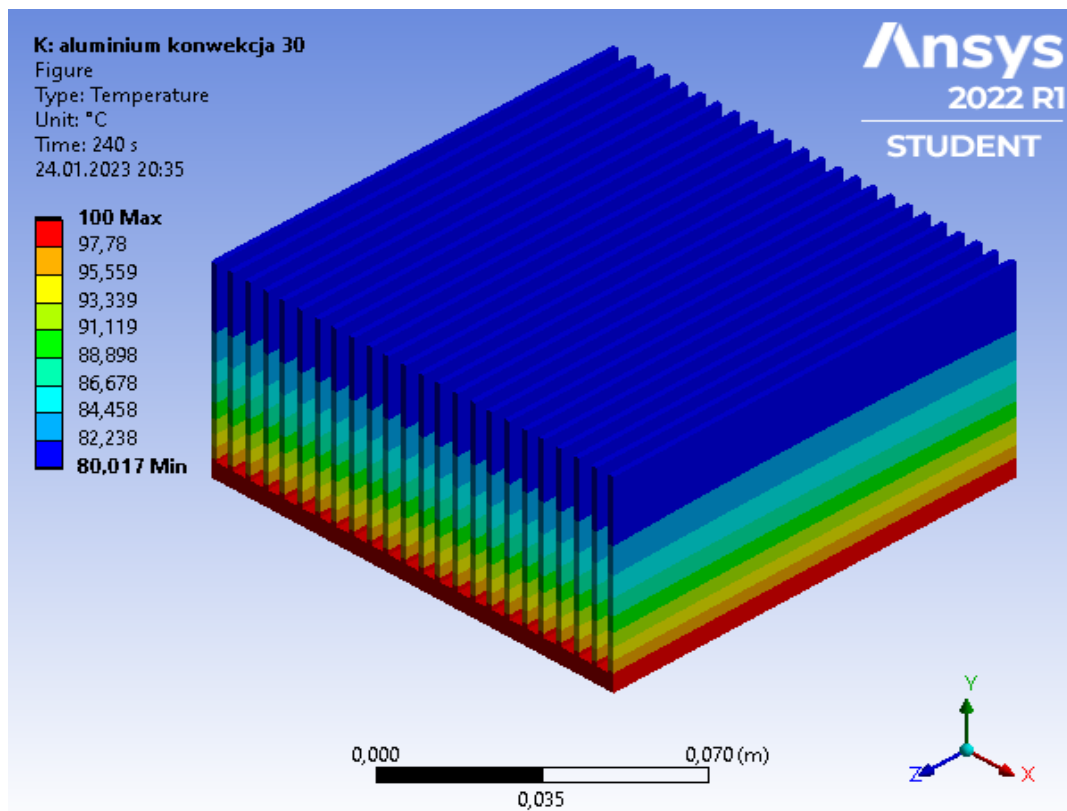
Tabela 8.5. Zestawienie wyników temperatur i czasu ustabilizowania radiatora 1.

Przypadek	Temperatura [°C]	Czas ustabilizowania [s]
Przypadek 1	94,236	62
Przypadek 2	96,877	55
Przypadek 3	97,028	66
Przypadek 4	98,412	49

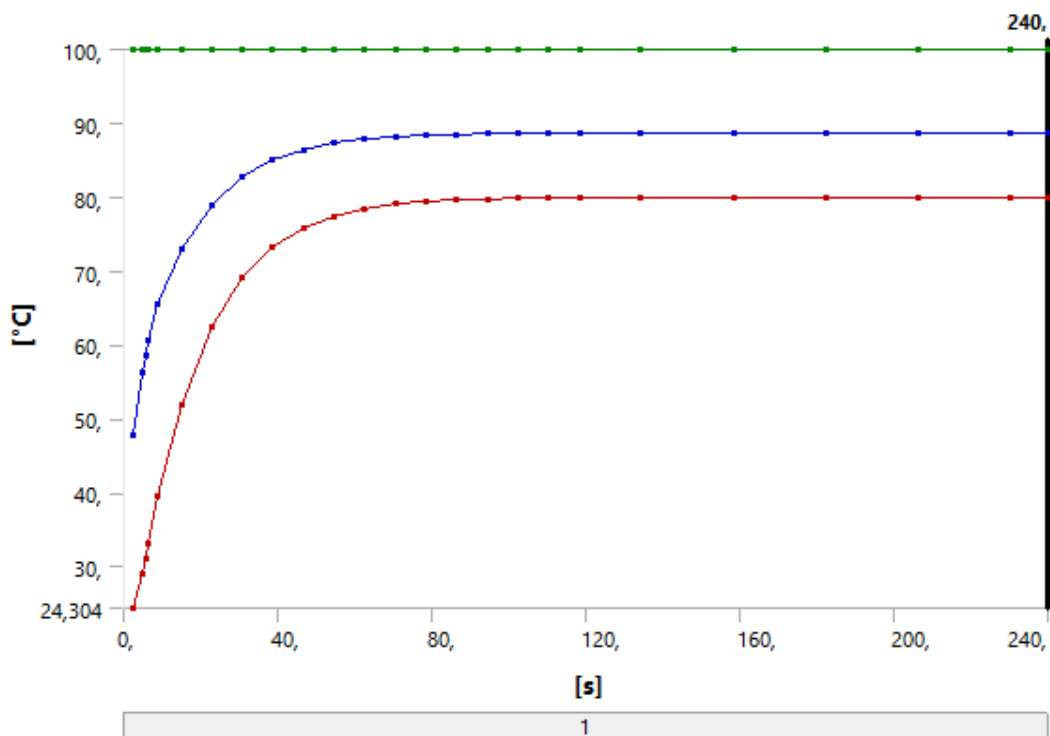
Wyniki obliczeń dla radiatora 2

Radiator został poddany analizie transient thermal w czterech przypadkach. Każdy przypadek został rozwiązany i przedstawiony przy pomocy rysunku rozkładu temperatur, tabeli wartości temperatur w czasie oraz wykresu pokazującego zmianę wartości temperatury w czasie.

Radiator 2 aluminiowy z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.



Rysunek 8.5. Rozkład temperatur radiatora 2 aluminiowego z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$. Rozkład w chwili ustabilizowania temperatury.



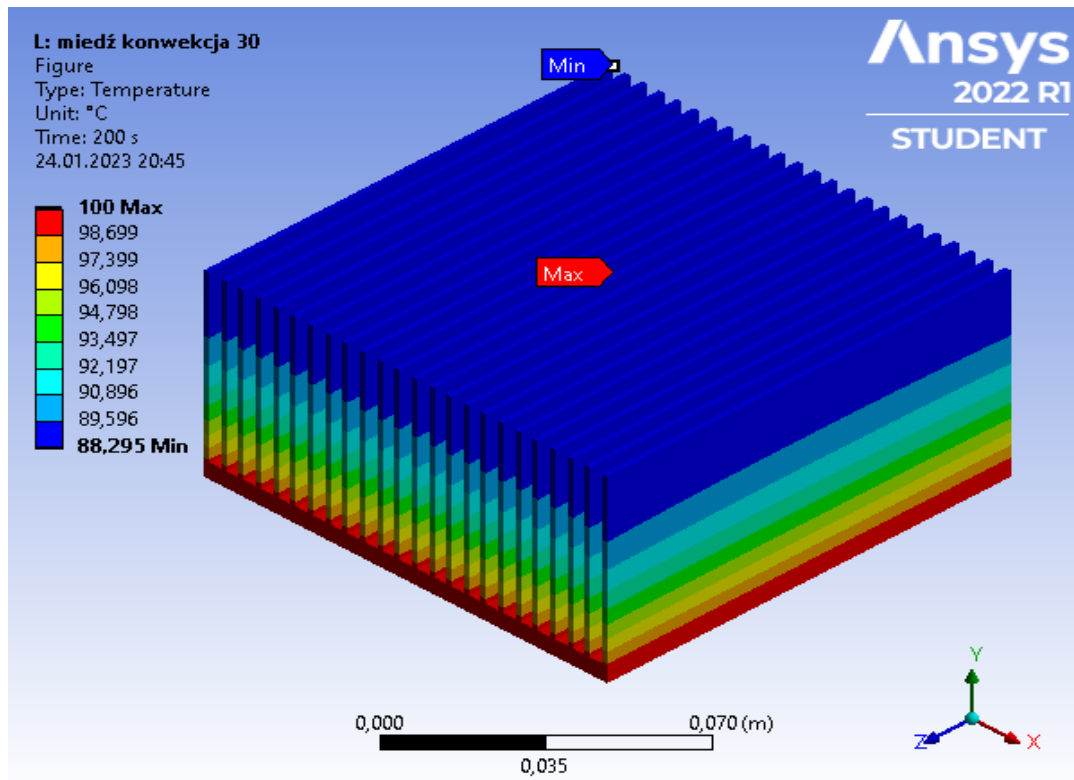
Wykres 8.5. Wykres temperatur na podstawie tabeli 8.6. Na wykresie kolor czerwony oznacza temperaturę minimalną, kolor zielony temperaturę maksymalną, a kolor niebieski temperaturę średnią.

Tabela 8.6. Wyniki temperatur radiatora 2 aluminiowego z konwekcją $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

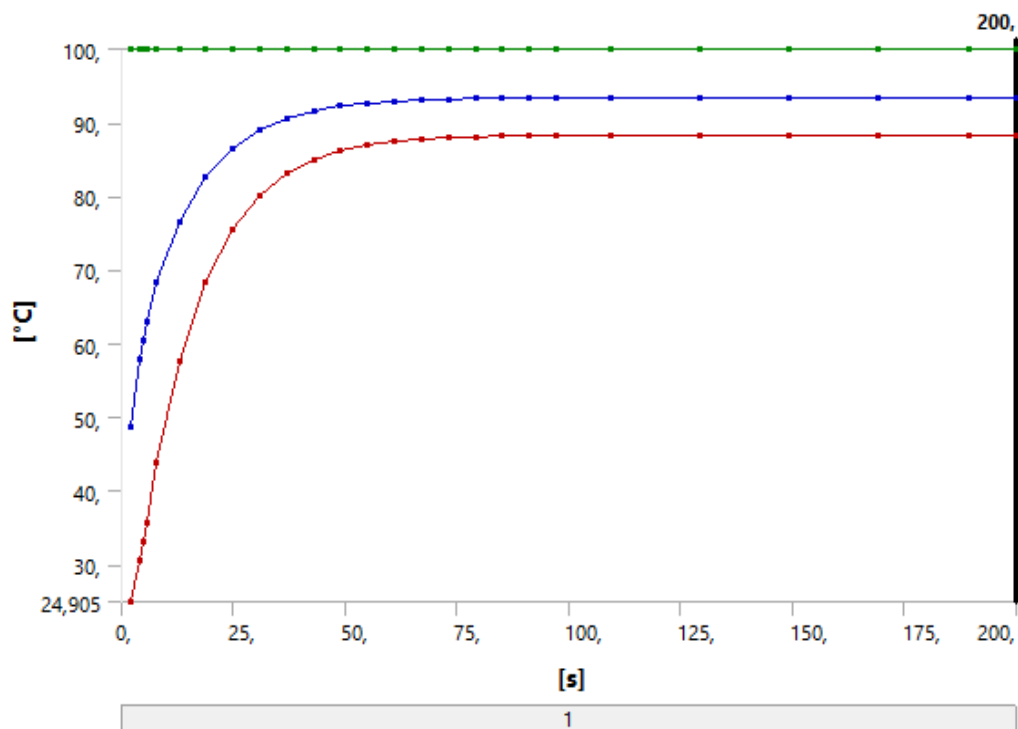
Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
2,4	24,304	100,	47,795
4,8	29,02		56,243
5,6341	30,915		58,622
6,4682	33,002		60,697
8,9704	39,554		65,522
15,025	51,967		73,092
22,726	62,337		78,999
30,671	69,054		82,731
38,64	73,236		85,028
46,611	75,825		86,439
54,583	77,426		87,305
62,554	78,416		87,838
70,526	79,027		88,165
78,499	79,406		88,365
86,471	79,639		88,489
94,444	79,784		88,564
102,42	79,873		88,611
110,39	79,928		88,64
118,36	79,962		88,657
134,31	79,993		88,673
158,31	80,009		88,681
182,31	80,014		88,684
206,31	80,016		88,685
230,31	80,017		
240,			

W pierwszym przypadku czas całej symulacji wyniósł 240 sekund. Na podstawie tego możemy zobaczyć, w jakim czasie następuje ustabilizowanie temperatury w radiatorze. Temperatura stabilizuje się w okolicach 230 sekundy na temperaturze 80,017°C.

Radiator 2 miedziany z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.



Rysunek 8.6. Rozkład temperatur radiatora 2 miedzianego z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$. Rozkład w chwili ustabilizowania temperatury.



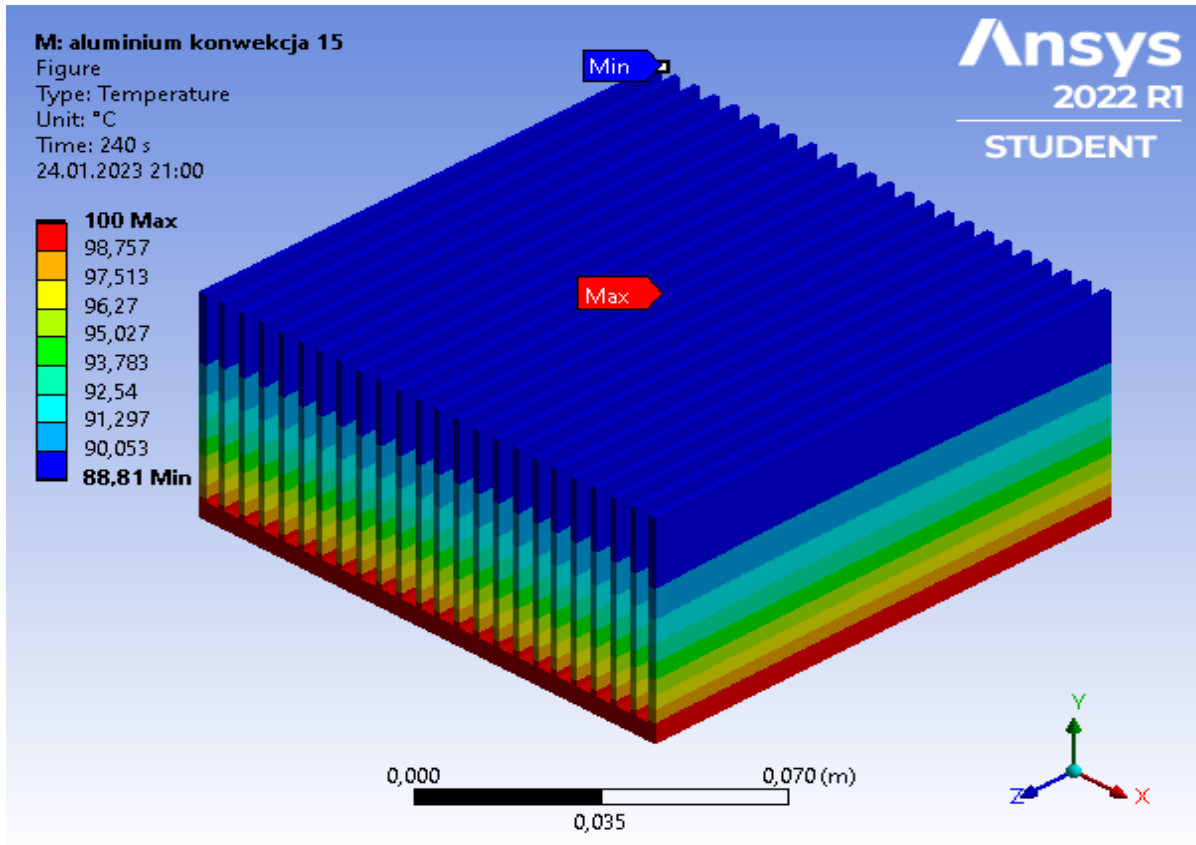
Wykres 8.6. Wykres temperatur na podstawie tabeli 8.7. Na wykresie kolor czerwony oznacza temperaturę minimalną, kolor zielony temperaturę maksymalną, a kolor niebieski temperaturę średnią.

Tabela 8.7. Wyniki temperatur radiatora 2 miedzianego z konwekcją $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

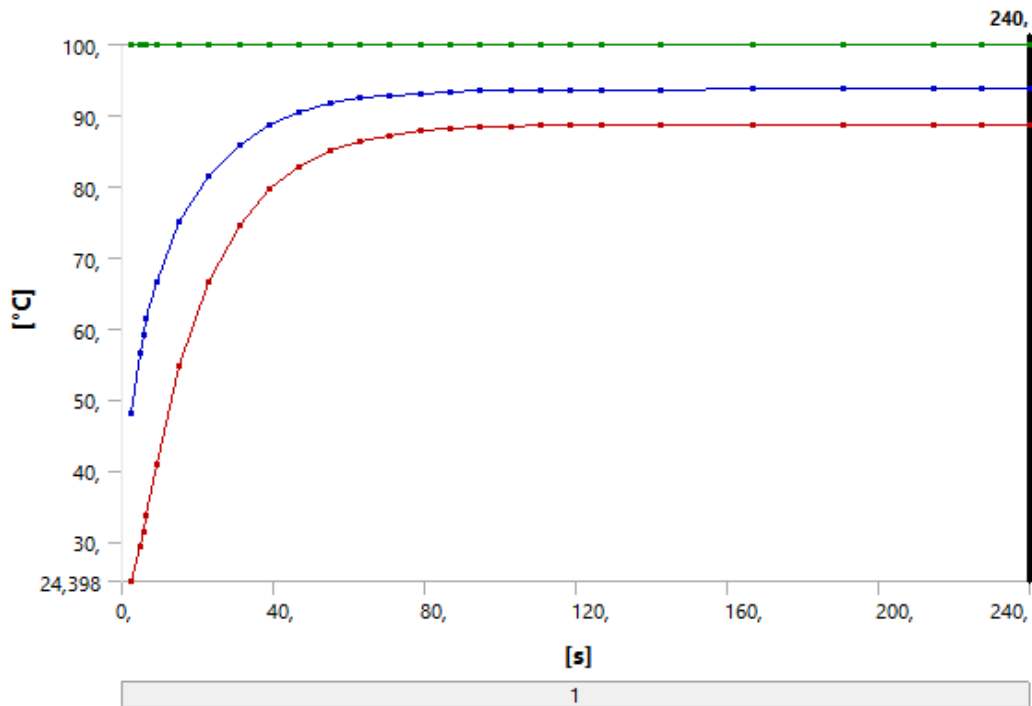
Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
2,	24,905	100,	48,78
4,	30,611		57,75
4,7478	33,066		60,469
5,4956	35,737		62,844
7,7391	43,783		68,357
12,846	57,648		76,557
18,778	68,41		82,608
24,802	75,502		86,52
30,834	80,076		89,017
36,868	83,017		90,61
42,901	84,906		91,627
48,935	86,119		92,275
54,969	86,898		92,689
61,003	87,398		92,953
67,037	87,719		93,121
73,072	87,925		93,229
79,106	88,058		93,297
85,141	88,143		93,341
91,175	88,197		93,369
97,21	88,232		93,387
109,28	88,266	93,404	
129,28	88,285	93,413	
149,28	88,292	93,416	
169,28	88,294	93,418	
189,28	88,295		
200,			

W drugim przypadku czas całej symulacji wyniósł 200 sekund, został on skrócony o 40 sekund względem pierwszego przypadku gdyż temperatura w radiatorze ustabilizowała się szybciej. Temperatura stabilizuje się w okolicach 189 sekundy na temperaturze 88,295°C.

Radiator 2 aluminiowy z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $15 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right]$.



Rysunek 8.7. Rozkład temperatur radiatora 2 aluminiowego z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $15 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right]$. Rozkład w chwili ustabilizowania temperatury.



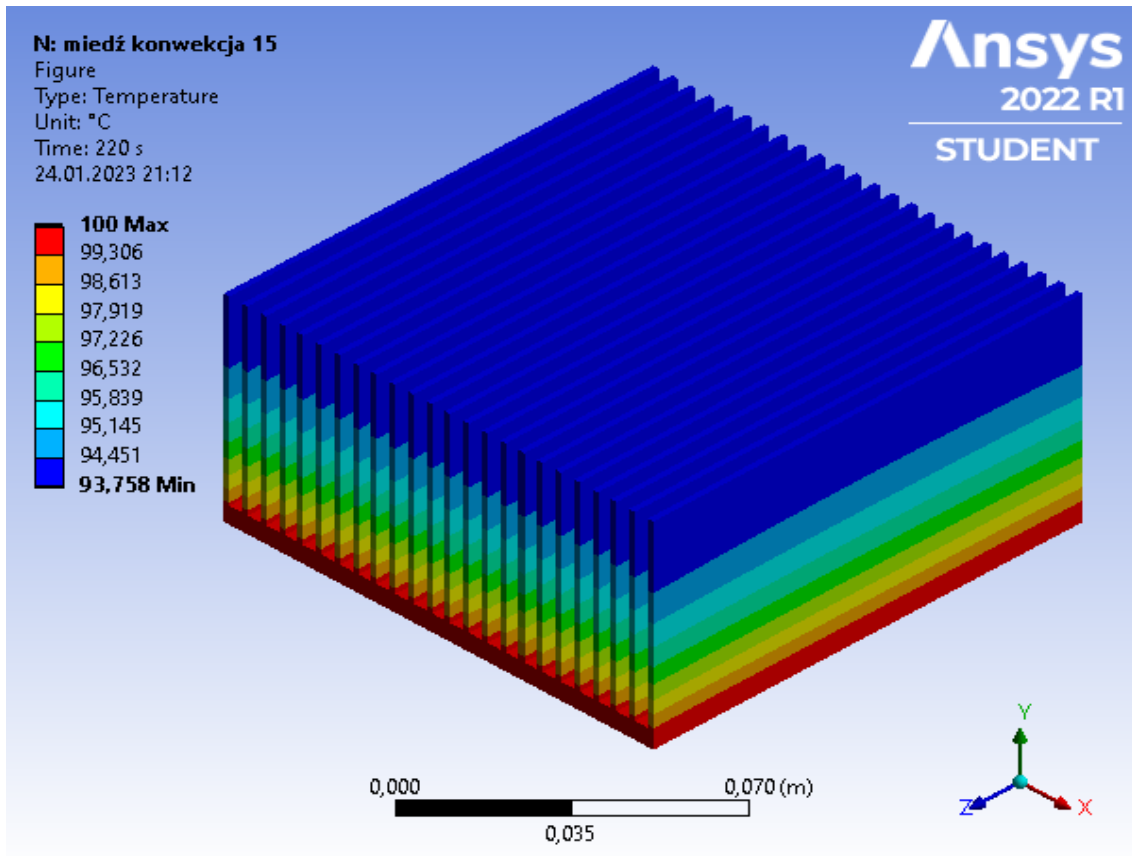
Wykres 8.7. Wykres temperatur na podstawie tabeli 8.8. Na wykresie kolor czerwony oznacza temperaturę minimalną, kolor zielony temperaturę maksymalną, a kolor niebieski temperaturę średnią.

Tabela 8.8. Wyniki temperatur radiatora 2 aluminiowego z konwekcją $15 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

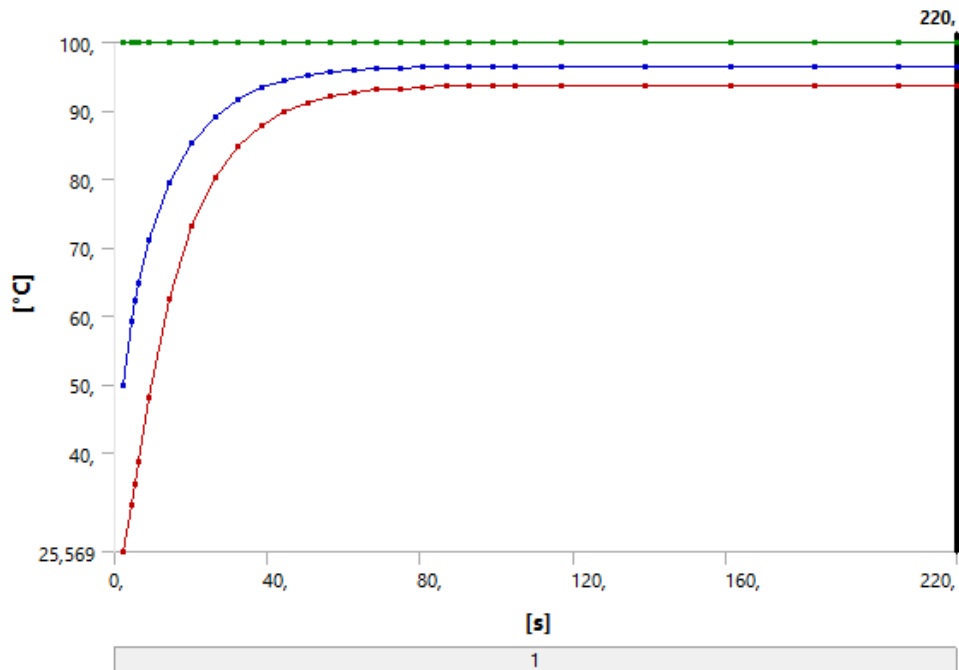
Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
2,4	24,398	100,	47,939
4,8	29,353		56,601
5,6578	31,412		59,122
6,5156	33,688		61,333
9,089	40,896		66,547
15,303	54,803		74,937
23,05	66,581		81,603
31,002	74,468		85,966
38,972	79,575		88,759
46,943	82,866		90,545
54,915	84,985		91,686
62,887	86,349		92,416
70,859	87,226		92,883
78,832	87,791		93,181
86,805	88,155		93,372
94,777	88,388		93,494
102,75	88,539		93,572
110,72	88,636		93,622
118,7	88,698		93,654
126,67	88,738		93,674
142,62	88,776		93,693
166,62	88,798		93,704
190,62	88,806		93,708
214,62	88,809		93,71
227,31	88,81		
240,			

W trzecim przypadku czas całej symulacji wyniósł 240 sekund. Temperatura stabilizuje się w okolicach 227 sekundy na temperaturze 88,81°C.

Radiator 2 miedziany z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $15 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right]$.



Rysunek 8.8. Rozkład temperatur radiatora 2 miedzianego z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $15 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right]$. Rozkład w chwili ustabilizowania temperatury.



Wykres 8.8. Wykres temperatur na podstawie tabeli 8.9. Na wykresie kolor czerwony oznacza temperaturę minimalną, kolor zielony temperaturę maksymalną, a kolor niebieski temperaturę średnią.

Tabela 8.9. Wyniki temperatur radiatora 2 miedzianego z konwekcją $15 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
2,2	25,569	100,	49,753
4,4	32,278		59,202
5,2797	35,339		62,259
6,1594	38,619		64,924
8,7984	48,059		71,056
14,266	62,462		79,402
20,246	73,093		85,329
26,275	80,179		89,217
32,308	84,842		91,753
38,341	87,906		93,407
44,375	89,917		94,485
50,409	91,237		95,187
56,443	92,104		95,646
62,477	92,672		95,944
68,511	93,045		96,139
74,546	93,29		96,266
80,581	93,451		96,349
86,615	93,557		96,403
92,65	93,626		96,438
98,685	93,671		96,461
104,72	93,701		96,476
116,79	93,73		96,491
138,79	93,748		96,5
160,79	93,755		96,503
182,79	93,757		96,504
204,79	93,758		
220,			

W czwartym przypadku czas symulacji wyniósł 220 sekund. W tym czasie radiator przyjmował temperatura do momentu ustabilizowania się na temperaturze 93,758°C, a nastąpiło to w okolicach 204 sekundy.

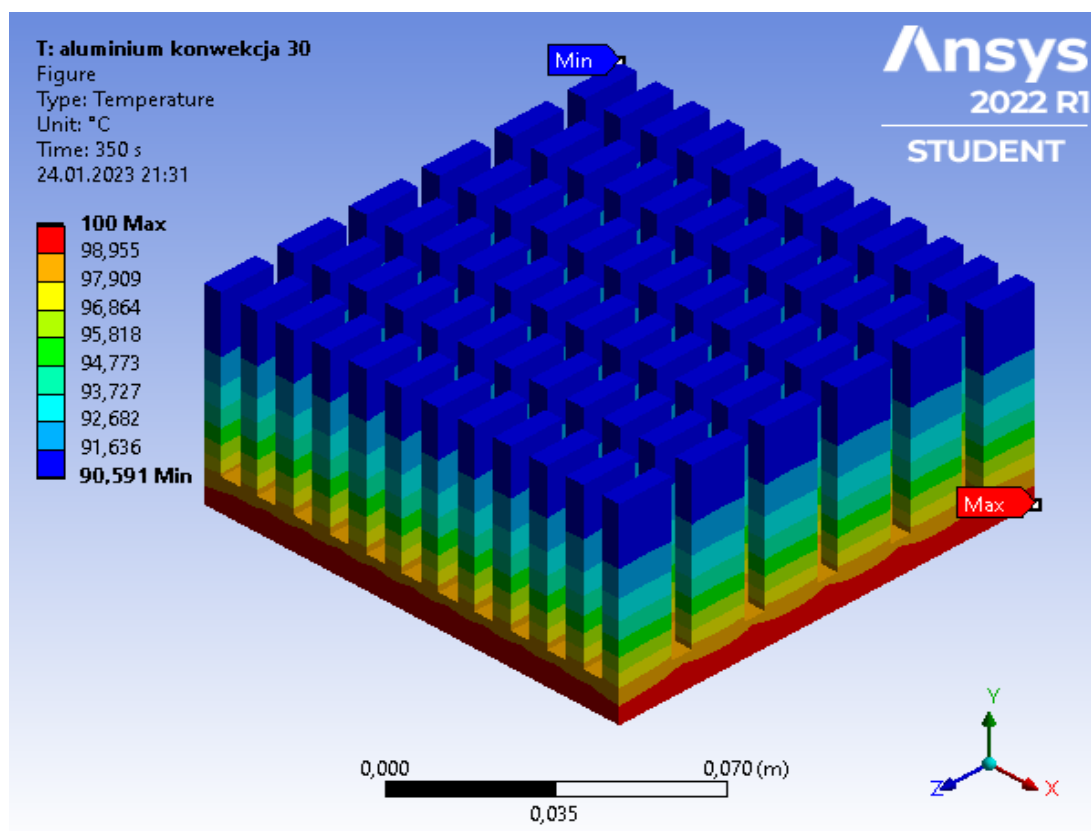
Tabela 8.10. Zestawienie wyników temperatur i czasu ustabilizowania radiatora 2.

Przypadek	Temperatura [°C]	Czas ustabilizowania [s]
Przypadek 1	80,017	230
Przypadek 2	88,295	189
Przypadek 3	88,81	227
Przypadek 4	93,758	204

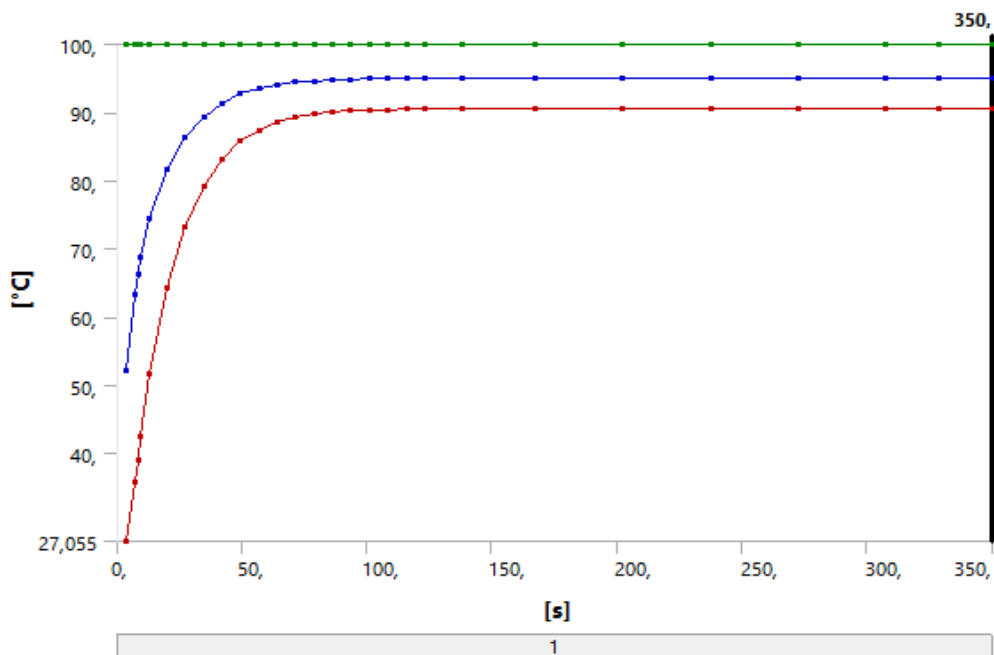
Wyniki obliczeń dla modelu radiatora 3.

Radiator został poddany analizie transient thermal w czterech przypadkach. Każdy przypadek został rozwiązany i przedstawiony przy pomocy rysunku rozkładu temperatur, tabeli wartości temperatur w czasie oraz wykresu pokazującego zmianę wartości temperatury w czasie.

Radiator 3 aluminiowy z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.



Rysunek 8.9. Rozkład temperatur radiatora 3 aluminiowego z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$. Rozkład w chwili ustabilizowania temperatury.



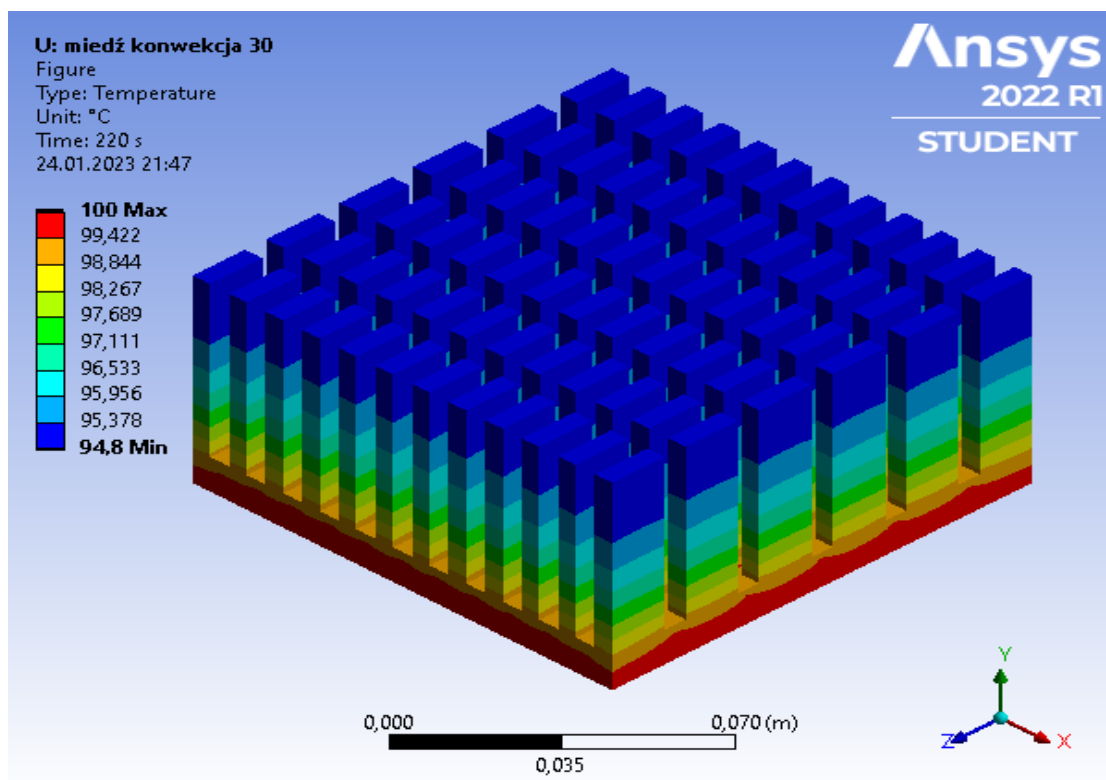
Wykres 8.9. Wykres temperatur na podstawie tabeli 8.11. Na wykresie kolor czerwony oznacza temperaturę minimalną, kolor zielony temperaturę maksymalną, a kolor niebieski temperaturę średnią.

Tabela 8.11. Wyniki temperatur radiatora 3 aluminiowego z konwekcją $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

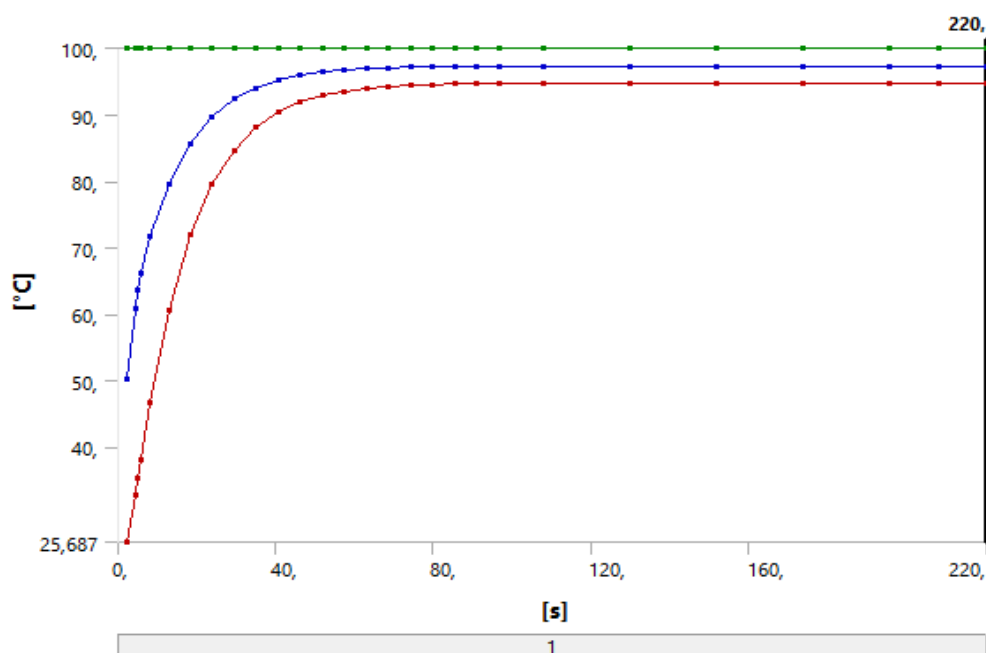
Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
3,5	27,055	100,	52,03
7,	35,682		63,166
8,2093	38,952		66,209
9,4186	42,353		68,799
13,046	51,668		74,548
19,864	64,25		81,523
27,177	73,285		86,322
34,538	79,27		89,43
41,905	83,193		91,434
49,274	85,758		92,725
56,645	87,434		93,557
64,016	88,53		94,094
71,389	89,245		94,44
78,763	89,713		94,662
86,138	90,018		94,806
93,515	90,217		94,899
100,89	90,347		94,958
108,27	90,432		94,997
115,65	90,487		95,021
123,03	90,523		95,037
137,78	90,558		95,052
167,29	90,58		95,062
202,29	90,588		95,065
237,29	90,59		95,066
272,29			
307,29			
328,65	90,591		
350,			

W pierwszym przypadku czas symulacji wyniósł 350 sekund. Na podstawie tabeli widzimy że przez długi czas temperatura radiatora była stabilna w okolicach 237-272 sekund, natomiast symulacja została wydłużona do 350 by sprawdzić czy radiator faktycznie się ustabilizował. Ostatecznie radiator stabilizuje się w okolicach 307 sekundy na temperaturze 90,591°C.

Radiator 3 miedziany z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $30 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right]$.



Rysunek 8.10. Rozkład temperatur radiatora 3 miedzianego z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $30 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right]$. Rozkład w chwili ustabilizowania temperatury.



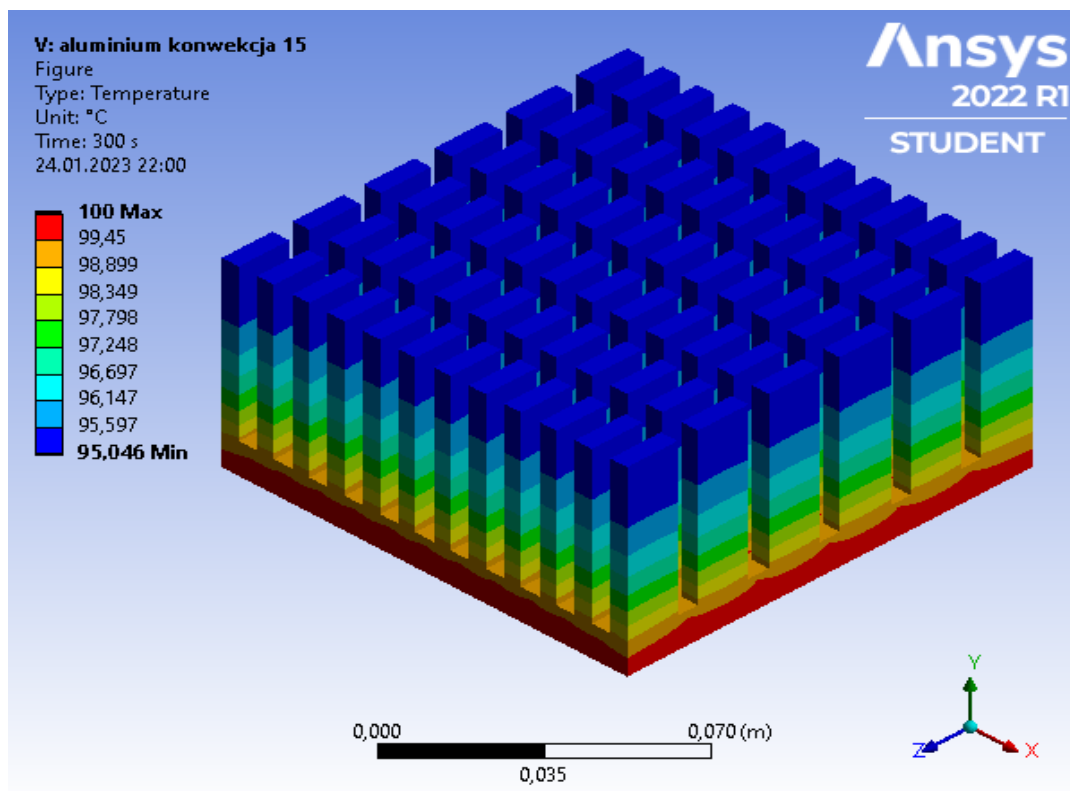
Wykres 8.10. Wykres temperatur na podstawie tabeli 8.12. Na wykresie kolor czerwony oznacza temperaturę minimalną, kolor zielony temperaturę maksymalną, a kolor niebieski temperaturę średnią.

Tabela 8.12. Wyniki temperatur radiatora 3 miedzianego z konwekcją $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

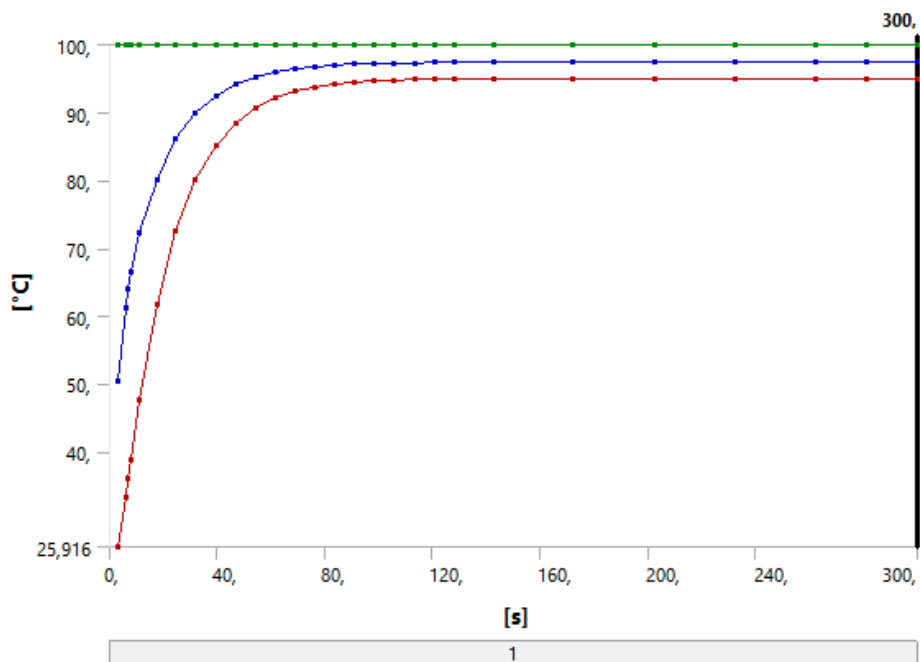
Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
2,2	25,687	100,	50,089
4,4	32,665		60,761
5,1333	35,288		63,603
5,8667	38,11		66,041
8,0667	46,557		71,635
12,801	60,635		79,64
18,284	71,891		85,679
23,852	79,561		89,684
29,427	84,678		92,307
35,004	88,08		94,025
40,582	90,34		95,15
46,161	91,84		95,887
51,741	92,837		96,37
57,322	93,498		96,685
62,904	93,936		96,892
68,487	94,227		97,028
74,071	94,42		97,116
79,655	94,548		97,174
85,238	94,633		97,212
90,822	94,69		97,237
96,406	94,727		97,254
107,57	94,764		97,269
129,57	94,788		97,28
151,57	94,796		97,283
173,57	94,799		97,284
195,57	94,8		
207,79			
220,			

W drugim przypadku czas symulacji wyniósł 220 sekund. Na podstawie wykresu 3.2 i tabeli 4.2 możemy zaobserwować, że radiator stabilizuje się w okolicach 195 sekundy na temperaturze 94,8°C.

Radiator 3 aluminiowy z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $15 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.



Rysunek 8.11. Rozkład temperatur radiatora 3 aluminiowego z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $15 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$. Rozkład w chwili ustabilizowania temperatury.



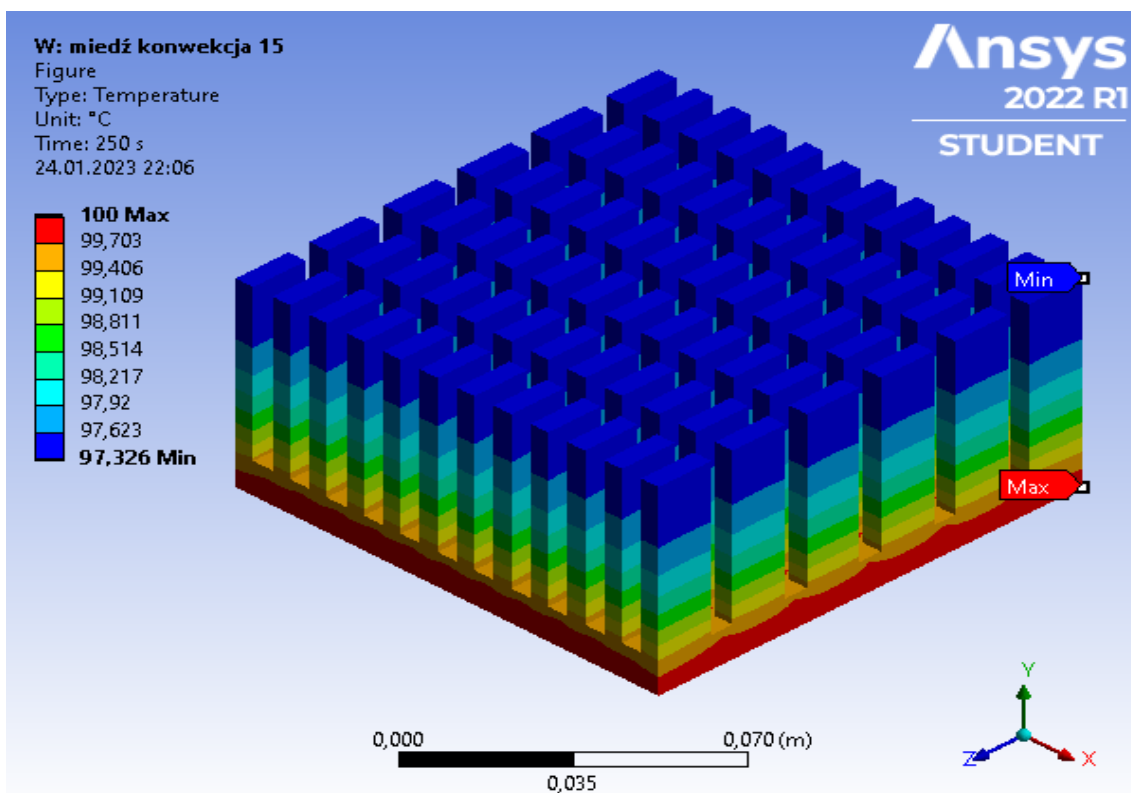
Wykres 8.11. Wykres temperatur na podstawie tabeli 8.13. Na wykresie kolor czerwony oznacza temperaturę minimalną, kolor zielony temperaturę maksymalną, a kolor niebieski temperaturę średnią.

Tabela 8.13. Wyniki temperatur radiatora 3 aluminiowego z konwekcją $15 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

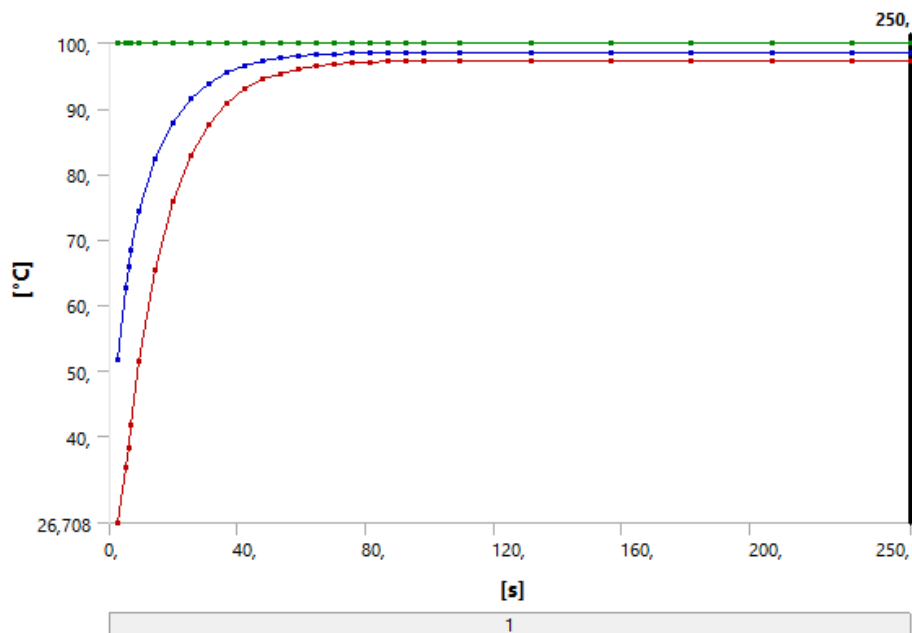
Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
3,	25,916	100,	50,432
6,	33,207		61,213
7,0027	35,944		64,091
8,0055	38,874		66,562
11,014	47,533		72,216
17,389	61,589		80,164
24,651	72,616		86,066
32,009	80,115		89,975
39,376	85,12		92,538
46,744	88,451		94,218
54,115	90,665		95,32
61,486	92,136		96,041
68,859	93,114		96,514
76,233	93,764		96,824
83,608	94,195		97,027
90,985	94,481		97,161
98,362	94,671		97,248
105,74	94,798		97,305
113,12	94,881		97,342
120,5	94,937		97,367
127,87	94,974		97,383
142,63	95,01		97,399
172,14	95,034		97,409
202,14	95,042		97,412
232,14	95,045		97,413
262,14	95,046		97,414
281,07			
300,			

W trzecim przypadku czas symulacji wyniósł 300 sekund. Czas radiatora został wydłużony względem przypadku drugiego. Radiator stabilizuje się w okolicach 262 sekundy na temperaturze 95,046°C.

Radiator 3 miedziany z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $15 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right]$.



Rysunek 8.12. Rozkład temperatur radiatora 3 miedzianego z współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła wynoszącym $15 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right]$. Rozkład w chwili ustabilizowania temperatury.



Wykres 8.12. Wykres temperatur na podstawie tabeli 8.14. Na wykresie kolor czerwony oznacza temperaturę minimalną, kolor zielony temperaturę maksymalną, a kolor niebieski temperaturę średnią.

Tabela 8.14. Wyniki temperatur radiatora 3 miedzianego z konwekcją $15 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]	
2,5	26,708	100,	51,53	
5,	35,061		62,697	
5,8674	38,279		65,783	
6,7348	41,671		68,428	
9,337	51,282		74,426	
14,431	65,278		82,198	
19,961	75,731		87,744	
25,533	82,84		91,43	
31,109	87,619		93,865	
36,687	90,823		95,474	
42,265	92,971		96,537	
47,845	94,41		97,239	
53,425	95,374		97,703	
59,007	96,02		98,01	
64,589	96,452		98,213	
70,172	96,741		98,346	
75,756	96,935		98,435	
81,341	97,064		98,493	
86,927	97,151		98,532	
92,512	97,209		98,557	
98,097	97,248		98,574	
109,27	97,287		98,591	
131,61	97,313		98,602	
156,61	97,322		98,605	
181,61	97,325		98,606	
206,61	97,326			98,607
231,61				
250,				

W czwartym przypadku czas symulacji ustawiony został na 250 sekund. W tym czasie radiator się ustabilizował na temperaturze 97,326°C w okolicach 206 sekundy.

Tabela 8.15. Zestawienie wyników temperatur i czasu ustabilizowania radiatora 3.

Przypadek	Temperatura [°C]	Przybliżony czas ustabilizowania [s]
Przypadek 1	90,591	307
Przypadek 2	94,8	195
Przypadek 3	95,046	262
Przypadek 4	97,326	206

Tak jak na początku zostało założone czas ustabilizowania się temperatury jest zmienny w zależności od rozpatrywanego przypadku, który analizujemy. Czas symulacji jest zmieniany w zależności od czasu ustabilizowania, a jest to związane z szybkością nagrzewania wymiennika w zależności od zastosowanego materiału lub chłodzenia w postaci konwekcji.

Kolejnym zagadnieniem rozwiązywanym przy pomocy programu ANSYS był moduł steady-state thermal. Analiza ta polega na zbadaniu rozkładu temperatury w stanie równowagi. Rozwiązanie tego zagadnienia pozwoli nam porównać wiarygodność wyników uzyskanych przy pomocy modułu transient thermal.

Tabela 8.16. Porównanie wyników otrzymanych w analizie steady state thermal i transient thermal.

Radiator	Przypadek	Temperatura w analizie transient thermal [°C]	Temperatura w analizie steady-state thermal [°C]
Radiator 1	Przypadek 1	94,236	94,236
	Przypadek 2	96,877	96,877
	Przypadek 3	97,028	97,028
	Przypadek 4	98,412	98,412
Radiator 2	Przypadek 1	80,017	80,017
	Przypadek 2	88,295	88,295
	Przypadek 3	88,81	88,81
	Przypadek 4	93,758	93,758
Radiator 3	Przypadek 1	90,591	90,591
	Przypadek 2	94,8	94,8
	Przypadek 3	95,046	95,046
	Przypadek 4	97,326	97,326

Wyniki uzyskane w analizie „steady-state thermal” są jednakowe jak wyniki uzyskane w analizie „transient thermal” po ustaleniu się rozkładu temperatury. Zestawiając ze sobą dwie analizy możemy stwierdzić, że uzyskane w badaniu wyniki są wiarygodne. Analiza „steady-state thermal” jest zagadnieniem stacjonarnym pozwalającym określić wartość temperatury

radiatora po ustabilizowaniu procesu wymiany ciepła. W przypadku analizy „transient thermal” również uzyskujemy takowe wyniki lecz analiza jest zależna od czasu i trzeba ten czas symulacji odpowiednio wydłużyć aby uzyskać stan stacjonarny / ustabilizowany.

Radiatory możemy poddać porównaniu pod względem ich objętości, masy oraz pola powierzchni na której odbywa się wymiana ciepła radiatora z otoczeniem. Na podstawie tych wartości możliwe będzie wysunięcie pewnych wniosków dotyczących możliwości przejmowania ciepła przez radiator. W tabeli 8.17. zostały przedstawione wartości wyżej wymienionych charakterystyk.

Tabela 8.17. Porównanie radiatorów pod względem objętości, masy oraz pola powierzchni.

Przykład radiatora	Objętość [mm ³]	Masa [g]		Pole powierzchni [mm ²]		
		aluminium	miedź	modelu	w. temperatury	w. konwekcji
Radiator 1	187200	505,44	1677,31	177120	14400	162720
Radiator 2	325440	878,69	2915,94	352224	14400	337824
Radiator 3	414000	1117,9	3709,44	177600	14400	163200

Istnieje kilka wielkości pozwalających opisać charakterystykę i skuteczność wymiennika ciepła. Do takich wielkości możemy zaliczyć całkowity współczynnik konwekcyjnej wymiany ciepła określony wzorem (8.1):

$$h_{eq} = \frac{P}{A(T_{hot}-T_{cold})} \quad (8.1)$$

gdzie: P – to całkowita moc wymiennika, A – pole powierzchni, na której zachodzi powierzchniowa wymiana ciepła między radiatorem a otoczeniem.

Kolejne wielkości pozwalające opisać charakterystykę i skuteczność wymiennika ciepła to parametry pozwalające określać spadek temperatury w wymienniku ciepła. Wyróżniamy dwa parametry gdzie pierwszy dotyczy spadku temperatury na jednostkę powierzchni (8.2) oraz drugi opisujący spadek temperatury na jednostkę objętości (8.3):

$$\Delta T_A = \frac{(T_{MAX}-T_{MIN})}{A} \quad (8.2)$$

$$\Delta T_V = \frac{(T_{MAX}-T_{MIN})}{V} \quad (8.3)$$

gdzie: T_{MAX} – temperatura maksymalna, T_{MIN} – temperatura minimalna, A – pole powierzchni, na której zachodzi powierzchniowa wymiana ciepła między radiatorem a otoczeniem, V – objętość radiatora.

W pracy zostały wyznaczone wartości parametrów określających spadek temperatury dla analizowanych modeli wymienników, a wyniki przedstawiono w tabeli 8.18.

Tabela 8.18. Wyniki parametrów określających spadek temperatury w wymiennikach.

Radiator	Przypadek	T_{MAX}	T_{MIN}	ΔT_A	ΔT_V
Radiator 1	Przypadek 1	100	94,236	0,00040	0,000031
	Przypadek 2	100	96,877	0,00022	0,000017
	Przypadek 3	100	97,028	0,00021	0,000016
	Przypadek 4	100	98,412	0,00011	0,000008
Radiator 2	Przypadek 1	100	80,017	0,00139	0,000061
	Przypadek 2	100	88,295	0,00081	0,000036
	Przypadek 3	100	88,81	0,00078	0,000034
	Przypadek 4	100	93,758	0,00043	0,000019
Radiator 3	Przypadek 1	100	90,591	0,00065	0,000023
	Przypadek 2	100	94,8	0,00036	0,000013
	Przypadek 3	100	95,046	0,00034	0,000012
	Przypadek 4	100	97,326	0,00019	0,000006

Parametry określające spadek temperatury w wymiennikach zostały policzone dla wszystkich przypadków poddanych analizie. Na podstawie uzyskanych wyników widzimy, że największą efektywność spadku temperatury mamy w przypadku radiatora aluminiowego z konwekcją $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$. Porównując ze sobą przypadki 1 i 3 oraz 2 i 4, w których był użyty ten sam materiał, a zmieniała się wartość współczynnika konwekcyjnej wymiany ciepła możemy zaobserwować, że wartość parametrów spadku temperatury były około dwa razy większe w przypadkach z większym współczynnikiem konwekcyjnej wymiany ciepła. Dzięki temu możemy zaobserwować duży wpływ tego warunku na spadki temperatury w wymiennikach ciepła.

9. Podsumowanie i wnioski

Praca polegała na wykonaniu modeli wymienników ciepła oraz dokonaniu analizy ich rozkładu temperatur. Za modele wymienników ciepła posłużyły trzy radiatory wykonane przy pomocy oprogramowania Solidworks. Modele różniły się od siebie swoimi wymiarami i zostały wykonane tak aby pokazać wpływ geometrii na otrzymywane wyniki. Do analizy rozkładu temperatur w radiatorach wykorzystane zostało oprogramowanie Ansys. Przeprowadzone zostały dwa rodzaje analiz, stacjonarna w postaci steady-state thermal oraz niestacjonarna w postaci transient thermal. Wyniki zostały uzależnione od możliwości programów oraz mocy obliczeniowej komputera. Wszystkie cele założone w pracy zostały zrealizowane i wykonane w sposób prawidłowy. Na podstawie wykonanych analiz możemy zaobserwować wpływ geometrii, zastosowanego materiału radiatora oraz warunku takiego jak konwekcyjne chłodzenie.

Geometria ma znaczący wpływ na otrzymane wyniki, porównując wszystkie trzy przykłady radiatorów użytych w analizie możemy zaobserwować, że najlepsze rezultaty otrzymane były w momencie gdy pole powierzchni kontaktu z warunkiem konwekcji były większe. Potwierdzają to parametry określające spadek temperatury w wymienniku, gdzie najwyższe wartości otrzymaliśmy w przypadkach gdzie radiator miał największe pole powierzchni kontaktu z konwekcją.

Konwekcyjne chłodzenie radiatora powoduje zredukowanie temperatury radiatora. Zestawiając ze sobą przypadki gdzie był użyty ten sam materiał, a zmieniała się wartość konwekcji otrzymywaliśmy zamierzone efekty. W wyniku jego działania uzyskiwaliśmy niższe temperatury radiatora, oraz dodatkowo wydłużał się czas nagrzewania urządzenia.

Odnosząc się bezpośrednio do materiału radiatora lepsze rezultaty osiągamy gdy wymiennik ciepła jest wykonany z aluminium. Ze względu na swoje właściwości aluminium pozwala na uzyskanie większego zredukowania temperatury niż w przypadku miedzi.

Czas stabilizacji radiatora pokazuje nam że im większa objętość radiatora tym dłużej temperatura się stabilizuje. Samo wydłużenie czasu nie jest aspektem, na którym powinno nam zależeć. Wydłużenie czasu powoduje wolniejsze nagrzewanie lecz nie redukuje w ten sposób temperatury. Urządzenie może się wolniej nagrzewać ale osiągać wysokie temperatury. Lepszym rozwiązaniem jest stworzenie wymiennika pozwalającego zredukować w znaczący sposób temperaturę urządzenia niż skupiać się na wydłużeniu czasu jego nagrzewania.

Podsumowując najlepsze rezultaty otrzymaliśmy dla radiatora 2 aluminiowego z konwekcją wynoszącą $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$. Temperatura w tym radiatorze wyniosła $80,017^\circ C$, przykład ten pokazuje, że przy odpowiednim doborze radiatora jesteśmy w stanie zredukować temperaturę o blisko $20^\circ C$.

10. Bibliografia

- [1] KMIEĆ, Andrzej. *Procesy cieplne i aparaty*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2005.
- [2] PUDLIK, Wiesław. *Wymiana i wymienniki ciepła*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 1988.
- [3] WIŚNIEWSKI, Stefan; WIŚNIEWSKI, Tomasz Stefan. *Wymiana ciepła*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2010.
- [4] STOLARSKI, Tadeusz; YUJI, Nakasone; YOSHIMOTO, Shigeoka. *Engineering Analysis with ANSYS Software Second Edition*, 2018.
- [5] MADENCI, Erdogan; GUVEN, Ibrahim. *The finite element method and applications in engineering using ANSYS®*, Springer, 2015.
- [6] BARAN, Krzysztof. *Temperatura panelu oświetleniowego ze źródłami led i jej wpływ na wybrane parametry świetlne*, Rozprawa Doktorska, Politechnika Rzeszowska, 2019.
- [7] XIONG, Wei. *Applications of COMSOL multiphysics software to heat transfer processes*, Arcada University of Applied Sciences, Department of Industrial Management, Helsinki, 2010.
- [8] <https://www.ansys.com> (stan na dzień 26.01.2023)
- [9] <https://www.comsol.com/multiphysics/finite-element-method> (stan na dzień 26.01.2023).

Streszczenie

Tematem pracy jest modelowanie i analiza rozkładu temperatury w wymienniku ciepła. W pierwszej części pracy zostały poruszone aspekty związane z tematyką wymiany ciepła. Po wprowadzeniu do zagadnień związanych z ciepłem oraz jego transportem, wyjaśnione zostało pojęcie wymiennika ciepła oraz przedstawiono jego zasadę działania wraz z przykładami. W dalszej części opisano programy oraz narzędzia wykorzystane do zrealizowania celu. Celem niniejszej pracy było wykonanie analizy zmian rozkładu temperatury w wybranych modelach wymienników ciepła. Za model do analizy posłużyły radiator, które zostały wykonane przy pomocy programu Solidworks przeznaczonego do tworzenia modeli 3D. Model matematyczny, analizy oraz wyniki procesów rozkładu temperatury zostały przeprowadzone przy użyciu programu Ansys. Wykonana praca pozwala lepiej zrozumieć jak wpływ geometrii oraz budowy wymiennika ciepła wpływa na jego funkcjonalność i efektywność.

Abstract

The subject of the work is the modeling and analysis of temperature distribution in a heat exchanger. In the first part of the work, aspects related to the subject of heat transfer were described. After an introduction to the issues of heat and its transport, the concept of a heat exchanger is explained and its principle of operation is presented with examples. This is followed by a description of the programs and tools used to achieve the goal. The purpose of this work was to perform an analysis of changes in temperature distribution in selected heat exchanger models. Heat sinks were used as the model for the analysis, which were made with the help of Solidworks software for creating 3D models. The mathematical model, analyses and results of the temperature distribution processes were carried out using Ansys. The work performed provides a better understanding of how the influence of the geometry and design of a heat exchanger affects its functionality and efficiency.