

*wymiana ciepła, żebro okrągłe, ogrzewanie podłogowe,  
gradient temperatury, komfort cieplny*

Karolina WIŚNIK, Henryk Grzegorz SABINIAK\*

## **ZASTOSOWANIE OKRĄGŁEGO OŻEBROWANIA RUR GRZEWczyCH W OGRZEWANIU PODŁOGOWYM**

W artykule przedstawiono wpływ ożebrowania okrągłego rur zasilających na rozkład temperatury na powierzchni płyty grzewczej. Określono także zależność odległości między nieożebrowanymi rurami zasilającymi na wartości temperatury na powierzchni grzejnika podłogowego. Analizy numeryczne przeprowadzono dla stanów ustalonych w oparciu o metodę elementów skończonych.

Ogrzewanie podłogowe cieszy się w ostatnich latach dość dużym zainteresowaniem zarówno ze strony potencjalnych użytkowników, jak też i nabywców. Przemawiać za tym może szereg zalet, którymi charakteryzuje się ten sposób ogrzewania pomieszczeń, a więc: rozkład pionowego gradientu temperatury zbliżony do warunków idealnych, brak jonizacji powietrza, czy unoszenia kurzu. Nie bez znaczenia pozostaje także możliwość wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii, m.in. pomp ciepła, kolektorów słonecznych. Projektując jednak instalację ogrzewania podłogowego, pamiętać należy o ograniczeniach związanych z dopuszczalnymi wartościami temperatury czynnika grzewczego oraz temperatury na powierzchni płyty. Zgodnie z normą PN-EN ISO 7730: 2006 dopuszczalna wartość średniej temperatury powierzchni podłogi zawiera się w granicach  $19 \div 26$  °C. Norma dopuszcza zwiększenie temperatury powierzchni do wartości 29 °C w miejscach okresowego przebywania ludzi, tj. łazienki, czy też pasy przyścienne o szerokości 1 m.

Aby prawidłowo zaprojektować instalację podłogową, czyli pokryć całkowitą projektową stratę ciepła dla danego pomieszczenia, należy albo gęsto ułożyć przewody grzewcze, albo zwiększyć wartość temperatury czynnika zasilającego.

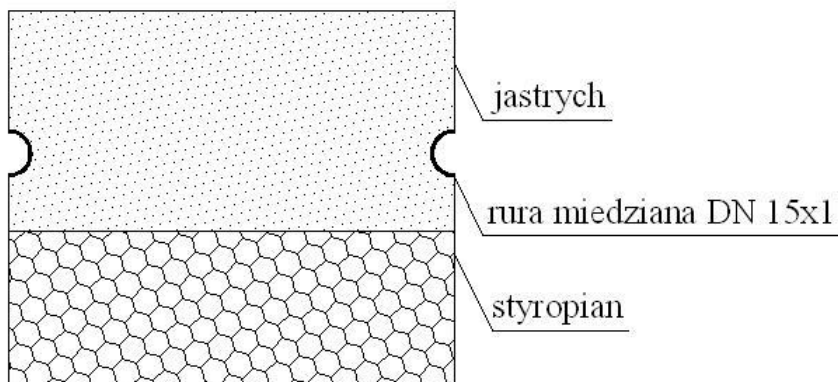
Powszechne wykorzystanie żeber w technice grzewczej w warunkach konwekcyjnej wymiany ciepła ma na celu rozwinięcie powierzchni, co prowadzi do zwiększenia ilości oddawanego ciepła.

---

\* Instytut Inżynierii Komunalnej i Instalacji Budowlanych, Politechnika Łódzka,  
karolina.wisnik@p.lodz.pl

Badania numeryczne miały na celu określenie rozkładu temperatury w płaszczyźnie poziomej rozpatrywanego grzejnika podłogowego ze zwiększoną powierzchnią rur grzewczych poprzez ich ożebrowanie oraz bez ożebrowania. Analizy dokonano w oparciu o metodę elementów skończonych posługując się programem Ansys 12. W matematycznym ujęciu MES to uogólnienie polegające na wyborze określonych, różnych od zera w obszarze rozwiązania tzw. funkcji bazowych. Rozpatrywany model podzielony zostaje na elementy o małych rozmiarach, które oddziałują na siebie poprzez węzły. W analizach wymiany ciepła stopniem swobody w każdym węźle jest temperatura, którą interpoluje się za pomocą wielomianów dobieranych dla każdego elementu, wyznaczanego za pomocą węzłowych wartości temperatury zachowując jej ciągłość na granicach elementów [6].

Elementem wyjściowym do badań numerycznych był przyjęty fragment podłogi przedstawiony na rysunku nr 1.



Rys. 1. Modelowy fragment płyty grzewczej

Zagadnienie wymiany ciepła w układzie płyta podłogowa, a otoczenie realizowano poprzez rejestrację wartości temperatur na powierzchni płyty nad osiami rur ( $t_{fn}$ ) i w połowie ich odległości ( $t_{fp}$ ) dla następujących przypadków:

- I. nieuzbrojona płyta grzewcza,
- II. płyta grzewcza z żebrami okrągłymi rur zasilających.

Proces ustalonej wymiany ciepła w układzie płyta grzewcza, a otoczenie rozpatrywany był dla wspomnianych przypadków w oparciu o następujące warunki brzegowe:

- na górnej powierzchni płyty przyjęto warunek brzegowy III rodzaju [5]. Wymagał on podania całkowitego współczynnika przejmowania ciepła  $h_c = 10,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  [2] oraz temperatury otoczenia, którą przyjęto  $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- na bocznych, pionowych powierzchniach rozpatrywanego grzejnika podłogowego założono symetrię (warunek brzegowy II rodzaju [5]), a więc gradient temperatury oraz gęstość strumienia ciepła w kierunku prostopadłym do tych powierzchni równa się zero:

$$q = 0 \rightarrow \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

- na dolnej powierzchni podłogi założony został warunek brzegowy I rodzaju [5], a więc pod warstwą izolacji cieplnej temperatura ma wartość stałą i równą  $t_{izol} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- warunek brzegowy III rodzaju zastosowany został także na powierzchniach wewnętrznych rur grzewczych, temperaturę na tych powierzchniach przyjęto równą temperaturze czynnika grzewczego  $t_w = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ , natomiast współczynnik przejmowania ciepła obliczony został w oparciu o liczbę Nusselta, która dla kanałów okrągłych określana jest zależnością:

$$Nu = \frac{h_p \cdot d_w}{\lambda} \quad (2)$$

gdzie:

$h_p$  - współczynnik przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni ścianki rury [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ],

$d_w$  - średnica wewnętrzna rury grzewczej [m],

$\lambda$  - współczynnik przewodzenia ciepła od czynnika grzewczego [ $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ].

Liczba Nusselta, będąca funkcją liczb Reynoldsa (Re) i Prandtla (Pr) zależy od charakteru przepływu czynnika zasilającego przez rurę, stąd w pierwszej kolejności wyznaczono liczbę Reynoldsa, przyjmując średnią prędkość przepływu wody w rurze równą  $v = 0,3 \text{ m/s}$ :

$$Re = \frac{v \cdot d_w}{\nu} \quad (3)$$

gdzie:

$\nu$  - współczynnik lepkości kinematycznej [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

Obliczona wartość liczby Reynoldsa  $Re=5918$  określa przejściowy charakter przepływu czynnika grzewczego. Do określenia liczby Nusselta zastosowano wzór Zawonkowa:

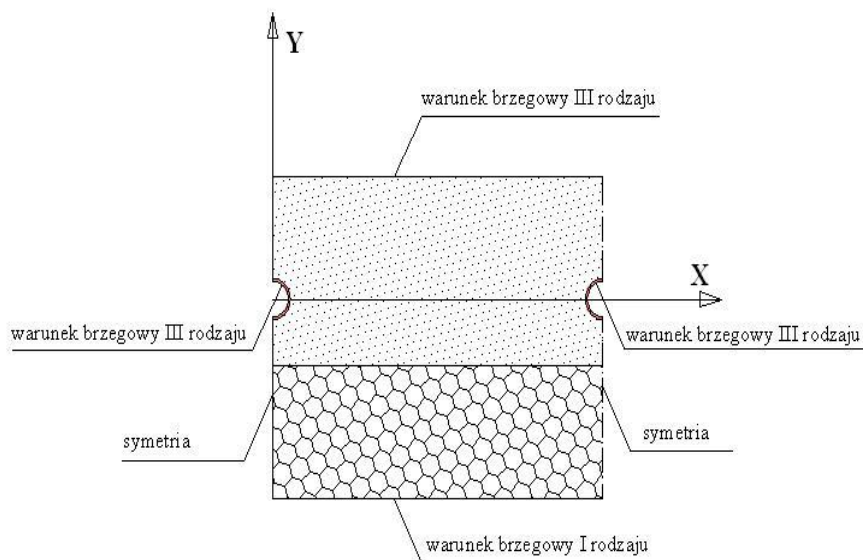
$$Nu = 0,00069 \cdot Re^{1,24} \cdot Pr^{0,5} \quad (4)$$

słuszny przy zachowaniu następujących warunków [5]:

$$2300 \leq Re < 10000 \text{ oraz } 0,7 < Pr < 160 \quad (5)$$

Następnie wykorzystując wzór (2) obliczono współczynnik przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni rury grzewczej, równy  $h_c = 3299 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Na rysunku 2 przedstawiono przyjęte warunki brzegowe dla płyty grzewczej z rurami ożebrowanymi i nieożebrowanymi.



Rys. 2. Zastosowane warunki brzegowe

Obliczenia rozkładu temperatury w płycie grzewczej przeprowadzono dla następujących wartości fizycznych poszczególnych warstw:

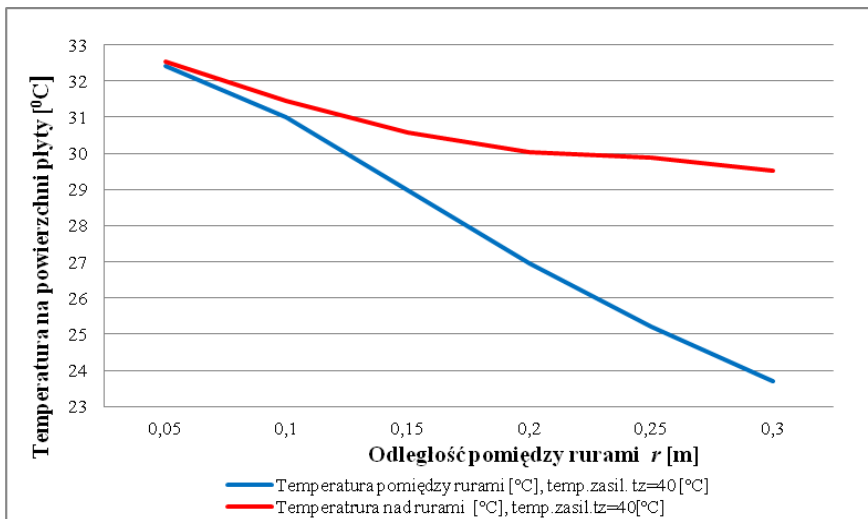
- całkowita grubość jastrychu wynosiła 0,065 m, a jego współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda_j = 1 \text{ W/mK}$ ,
- warstwę izolacji cieplnej stanowił styropian o grubości 0,05 m i współczynniku przewodzenia ciepła równym  $\lambda_s = 0,045 \text{ W/mK}$ .

W analizach płyty grzewczej z okrągłym, miedzianym ożebrowaniem zewnętrznym rur przyjęto dodatkowe założenia:

- stała grubość żebra,
- temperatura w przekroju poprzecznym żebra jest funkcją jego długości, a nie grubości,
- współczynnik przewodzenia ciepła materiału żebra (miedź) ma wartość stałą równą  $\lambda_z = 370 \text{ W/mK}$ .

W obliczeniach numerycznych grzejnika podłogowego bez ożebrowania rur (przypadek I) zastosowany został układ dwuwymiarowy X-Y oraz elementy 8-węzłowy w programie Ansys 12. Analiza ta miała na celu określenie wpływu zmian odległości między rurami grzewczymi na wartości temperatury na powierzchni płyty. Odległości pomiędzy rurami zasilającymi zawierały się w przedziale  $0,05 \div 0,3$  m, natomiast temperatura wody grzewczej ( $t_w$ ) była stała i wynosiła  $40$  °C. Zależność między tymi wartościami przedstawiono na rysunku 3. Zastosowanie najmniejszej odległości pomiędzy rurami pozwala na uzyskanie na powierzchni podłogi temperatur, których różnica nie przekracza  $2$  °C. Wzrost odległości pomiędzy rurami powoduje obniżenie temperatury na powierzchni nad osiami rur ( $t_{fr}$ ) w dość wąskim zakresie  $1,5$  K natomiast spadek temperatury pomiędzy rurami grzewczymi ( $t_{fp}$ ) jest znaczący i wynosi ok.  $6$  K.

Rozważania nad płytą grzewczą bez ożebrowania rur pozwoliły na określenie najbardziej niekorzystnej, choć zgodnej z zalecanym przez literaturę [1, 3] odległości pomiędzy rurami stosowanymi w ogrzewaniu podłogowym i wynoszącej  $0,3$  m. Odległość ta została przyjęta, jako wielkość stała i wyjściowa do analiz płyty grzewczej z żebrami.



Rys. 3. Wpływ zmian odległości rur zasilających na wartości temperatury na powierzchni płyty grzewczej

Drugą grupę analiz (przypadek II) stanowiły badania płyty podłogowej z ożebrowaniem okrągłym rur grzewczych. W przypadku tych badań wykorzystano układ trójwymiarowy X-Y-Z oraz elementy 20-węzłowe z programu Ansys 12.

Wartości stałe:

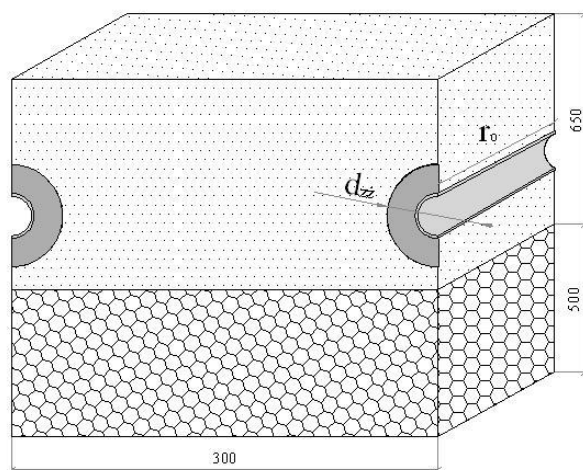
- temperatura czynnika grzewczego  $t_w = 40$  °C,
- średnica wewnętrzna żebra  $d_{wz} = 0,015$  m,
- grubość żeber  $g_z = 0,002$  m,

- współczynnik przewodzenia ciepła żebra  $\lambda_z = 370 \text{ W/m K}$ .

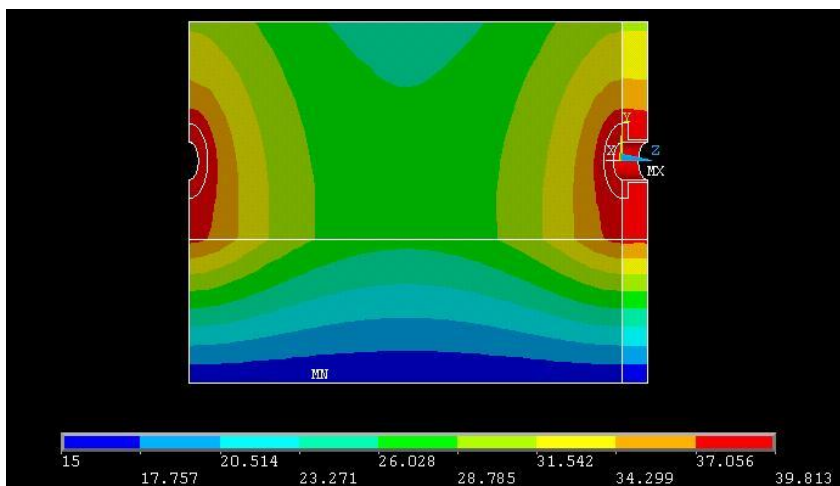
Wartości zmienne:

- średnica zewnętrzna żebra ( $d_{zz}$ ):  $d_{zz1} = 0,026 \text{ m}$ ,  $d_{zz2} = 0,03 \text{ m}$ ,  $d_{zz3} = 0,032 \text{ m}$ ,  
 $d_{zz4} = 0,034 \text{ m}$ ,  $d_{zz5} = 0,036 \text{ m}$ ,  $d_{zz6} = 0,038 \text{ m}$ ,  $d_{zz7} = 0,04 \text{ m}$ ,  $d_{zz8} = 0,042 \text{ m}$ ,  
 $d_{zz9} = 0,044 \text{ m}$ ,  $d_{zz10} = 0,046 \text{ m}$ ,
- odległość między żebrami ( $r_o$ ):  $r_{o1} = 0,005 \text{ m}$ ,  $r_{o2} = 0,02 \text{ m}$ .

Rysunek 4 przedstawia wykorzystany w analizach numerycznych model grzewczy z żebrami okrągłymi. Pole temperatury otrzymane w oparciu o przyjęte warunki brzegowe zaprezentowano na rysunku 5.

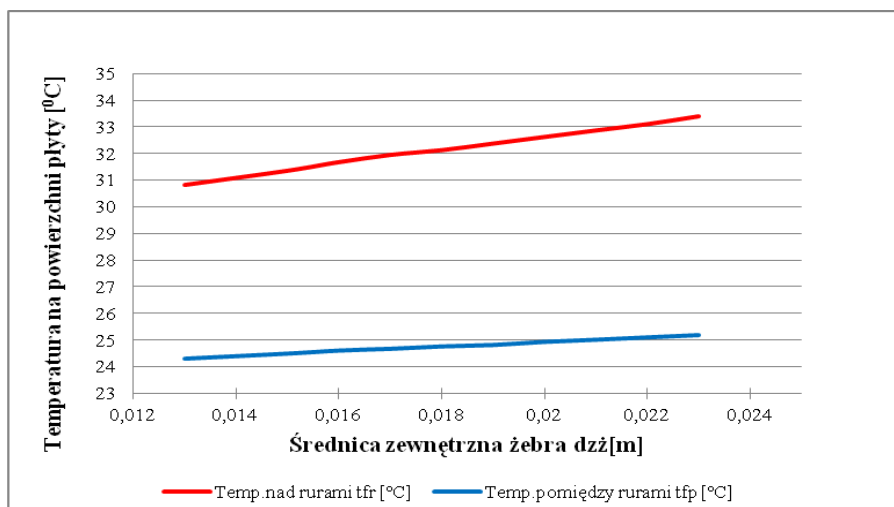


Rys. 4. Budowa grzejnika podłogowego z ożebrowanymi rurami grzewczymi

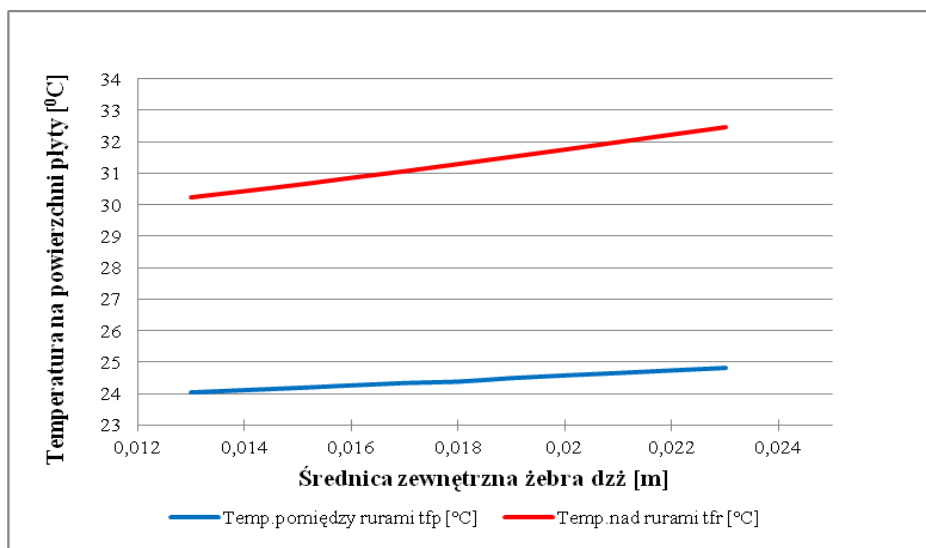


Rys. 5. Rozkład temperatury w płycie z ożebrowaniem okrągłym rur grzewczych

Na rysunkach 7 oraz 8 zamieszczono zależność temperatury na powierzchni użebrowanej płyty grzewczej nad osiami rur ( $t_{fr}$ ) i pomiędzy nimi ( $t_{fp}$ ) w zależności od odległości pomiędzy żebrami ( $r_o$ ) oraz od ich średnicy zewnętrznej ( $d_{z\ddot{z}}$ ).



Rys. 6. Wpływ zmian średnicy zewnętrznej żeber ( $d_{z\ddot{z}}$ ) żeber na wartości temperatury na powierzchni płyty grzewczej przy odległości żeber  $r_p = 0,005$  m



Rys. 7. Wpływ zmian średnicy zewnętrznej żeber ( $d_{z\ddot{z}}$ ) żeber na wartości temperatury na powierzchni płyty grzewczej przy odległości żeber  $r_p = 0,02$  m

Badania numeryczne płyty grzewczej uzbrojonej w ożebrowanie okrągłe rur umożliwiły stwierdzenie, iż przyjęty rodzaj ożebrowania bez względu na średnicę zewnętrzną żebra ( $d_{zz}$ ) oraz odległości między nimi ( $r_o$ ) nie pozwala w dostatecznym stopniu na wyrównanie temperatury na powierzchni zewnętrznej grzejnika podłogowego. Z przedstawionych wykresów (rysunki 7, 8) wynika, że bez względu na odległości między żebrami ( $r_o$ ), zwiększanie wartości średnicy zewnętrznej ( $d_{zz}$ ) powodowało jedynie wzrost temperatury nad osiami rur  $t_{fr}$  w granicach ok. 2,5 °C. W przypadku temperatury pomiędzy rurami  $t_{fp}$ , bez względu na odległości pomiędzy żebrami  $r_o$ , możliwe było jej podwyższenie w dość wąskim zakresie - ok. 1,5 °C [4].

Analizowane przypadki grzejnika podłogowego z ożebrowaniem okrągłym rur nie umożliwiają uzyskania równomiernych wartości temperatury na powierzchni płyty. Stosowanie żeber okrągłych w instalacji ogrzewania podłogowego nie pozwala, także na obniżenie temperatury czynnika grzewczego, stąd ich wykorzystanie z punktu widzenia poprawy warunków wymiany ciepła między płytą grzewczą, a otoczeniem należy uznać za nieuzasadnione.

#### LITERATURA

- [1] KOCZYK H., *Ogrzewnictwo. Podstawy projektowania cieplnego i termomodernizacji budynków*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2000.
- [2] PN-EN 1264-2:2008: *Wbudowane płaszczyznowe wodne systemy ogrzewania i chłodzenia – Część 2: Ogrzewanie podłogowe: Obliczeniowa i badawcza metoda określania mocy cieplnej ogrzewania podłogowego*
- [3] RABJASZ R., *Ogrzewanie podłogowe-poradnik*, Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa 1995.
- [4] SABINIAK H.G., WIŚNIK K., *Zastosowanie ożebrowania rur grzewczych w ogrzewaniu podłogowym*, Instal 11/2013.
- [5] STANISZEWSKI B.: *Wymiana ciepła. Podstawy teoretyczne*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1980.
- [6] SZARGUT J., *Modelowanie numeryczne pól temperatury*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992 Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa 1995

#### ANALYSIS OF HEAT EXCHANGE FINNED HEATING PLATE

In article present how the heat transfer in the heating plate by the WEU-brow external heating pipes. Also determined the relationship between distances heating pipes on the temperature on a hot plate. Analyses were performed for the steady state based on the finite element method.