



Badanie wpływu właściwości termicznych okna na pracę grzejnika w pomieszczeniu – badania numeryczne

Magdalena Orłowska
Politechnika Koszalińska

1. Wprowadzenie

Obecnie dąży się do ograniczania zapotrzebowania na energię końcową, którego sposobem realizacji może być minimalizacja wartości współczynnika przenikania ciepła, a tym samym ograniczenia strat ciepła budynku. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej a konkretnie Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie wprowadza zmiany w stosunku do poprzedniego Rozporządzenia z roku 2014. Zmiany mają związek z przepisami i wymaganiami Unii Europejskiej. Budynki są coraz bardziej szczelne w przypadku stosowania nowoczesnej stolarki okiennej czy drzwi. Izolacje budynków mają również coraz lepsze parametry termoizolacyjne. Nie można zapomnieć jednak, że dla zachowania odpowiedniego komfortu cieplnego, wewnętrznego potrzebna jest odpowiednia jakość powietrza w pomieszczeniu. Przy szczelnych przegrodach należy pamiętać o przewietrzaniu i dostępie świeżego powietrza z zewnątrz. Od roku 2017 dla okien fasadowych i drzwi współczynnik przenikania ciepła przy temperaturze pomieszczenia ogrzewanego większej lub równej 16°C nie może przekraczać 1,1 W/(m²K), a dla okien dachowych 1,3 W/(m²K). Od roku 2021 przepisy zostaną jeszcze bardziej zaostrzone kolejno do 0,9 i 1,1 W/(m²K) przy tych samych warunkach temperaturowych ogrzewanego pomieszczenia. W kwestii drzwi w przegrodach zewnętrznych lub

w przegrodach między pomieszczeniami ogrzewanymi i nieogrzewanymi wartość współczynnika przenikania ciepła od 2017 roku 1,5 a od 2021 r. 1,3 W/(m²K) (Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej).

„Według Krajowej Agencji Poszanowania Energii (KAPE) zużycie energii w polskich budynkach kształtuje się na poziomie 120-300 kWh/m² rocznie, podczas gdy w innych krajach Europy wartość ta nie przekracza 50 kWh. Około 70 proc. energii zużywanej w budynkach przypada na ogrzewanie pomieszczeń i przygotowanie ciepłej wody użytkowej” (<http://odnawialneźródłaenergii.pl/domy-energooszczędne-aktualności/item/2800-ue-do-2021-roku-wiekszość-budynków-powinna-być-samowystarczająca-energetycznie>).

Grzejniki płytowe obecnie są najczęściej wybieranym rodzajem grzejników stosowanych w budownictwie mieszkaniowym. Są lekkie, mają małą pojemność wodną, przystępną cenę, łatwo się je czyści. Dlatego taki rodzaj grzejnika został ujęty w opracowaniu.

Aby obliczyć moc cieplną grzejników niezbędne jest wykonanie bilansu cieplnego pomieszczenia. Na bilans ten wpływają m.in. zyski ciepła, infiltracja powietrza, promieniowanie słoneczne, temperatura zewnętrzna. Większość grzejników oddaje ciepło na zasadzie konwekcji, np. członowe, ożebrowane i konwektorowe. Znacznie mniejszą grupę stanowią grzejniki, oddające ciepło z przewagą promieniowania (głównie płaszczyznowe) (Nantka 2010).

Z powyższej analizy wynika, iż rodzaj okien i drzwi ma bardzo duży wpływ na efekt cieplny pomieszczeń. Jest to temat bardzo aktualny zwłaszcza w dobie, gdzie budownictwo jest kołem napędowym gospodarki. W niniejszym artykule podjęto więc próbę wyjaśnienia wpływu różnych wartości strumienia ciepła okna na efekt cieplny – wydajność płytowego wymiennika ciepła. Wybrano kilka wartości strumienia ciepła dla porównania efektu rozpatrywanego zagadnienia. Nie wszystkie domy posiadają w naszym kraju nowoczesne okna czy drzwi. Wiele budynków niestety wznoszonych było w starej technologii i mnóstwo funkcjonuje jeszcze bez termomodernizacji po dzień dzisiejszy. Dlatego różne są też wyniki bilansów cieplnych dla pomieszczeń pracujących z różnymi oknami np. oknami starego typu-drewnianymi czy oknami plastikowymi PCV.

Artykuł stanowi kontynuację badań autorki nad konwekcyjną wymianą ciepła (Czapp i inni 2016, Orłowska i Czapp 2012, Orłowska i in. 2017, Orłowska 2017, Orłowska 2018).

2. Obliczenia numeryczne

Analizę numeryczną wykonano w pakiecie programu obliczeniowego Ansys Mechanical CFD – Flo. Jest on jednym z najnowocześniejszych narzędzi wspomagania komputerowego. Kod obliczeniowy oparty jest na rozwiązaniu równań bilansu energii, pędu i masy, stosowanych w Numerycznej Mechanice Płynów (ang. CFD – Computational Fluid Dynamic). Wersja standardowa umożliwia modelowanie w oparciu o tradycyjne zależności fenomenologiczne oraz dodatkowe równania domknięcia, opisujące turbulentne strumienie pędu i energii. Tak zwany dwuwymiarowy model zamknięcia został opracowany przez Laundera. Dla małej prędkości przepływu często zakłada się model turbulencji dla niskich liczb Reynoldsa. Model ten może być wykorzystywany zarówno do rozwiązywania problemów konwekcji naturalnej, jak i wymuszonej (Ansys, Szpakowska 2010).

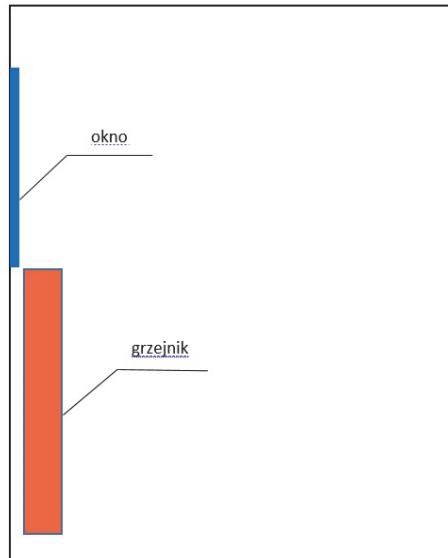
Jak wskazują wielu badaczy, m in. (Szkarsowski i Janta-Lipinska 2015, Szkarowski i Janta-Lipinska 2011) bardzo ważną kwestią jest również dokładność zaproponowanego modelu.

Analiza ma charakter dwuwymiarowy.

Schemat rozpatrywanego zagadnienia znajduje się na rysunku 1.

Założenia modelu:

- pomieszczenie o wysokości 2,5 m oraz szerokości 2 m,
- ściana, na której znajduje się grzejnik posiada okno o wysokości 1 m,
- okno umieszczono w odległości 25 cm od sufitu,
- w pomieszczeniu umieszczono w odległości 15 cm od podłogi grzejnik płaski o szerokości 10 cm i wysokości 110 cm,
- odległość grzejnika od ściany 5 cm,
- liczba iteracji 100,
- wielkość długości krawędzi elementu siatki o kształcie kwadratu, typie ogólnym, kształtowanym po powierzchni dla analizy to 0,0035,
- ruch laminarny,
- na oknie zadano w poszczególnych analizach numerycznych dla porównania pięć, różnych wartości strumieni ciepła [W/m^2]; kolejno: 8, 10, 12, 20, 2,
- strumień ciepła na pozostałych ścianach: $2 W/m^2$,
- temperatura grzejnika $70^{\circ}C$,
- temperatura ścian $20^{\circ}C$.

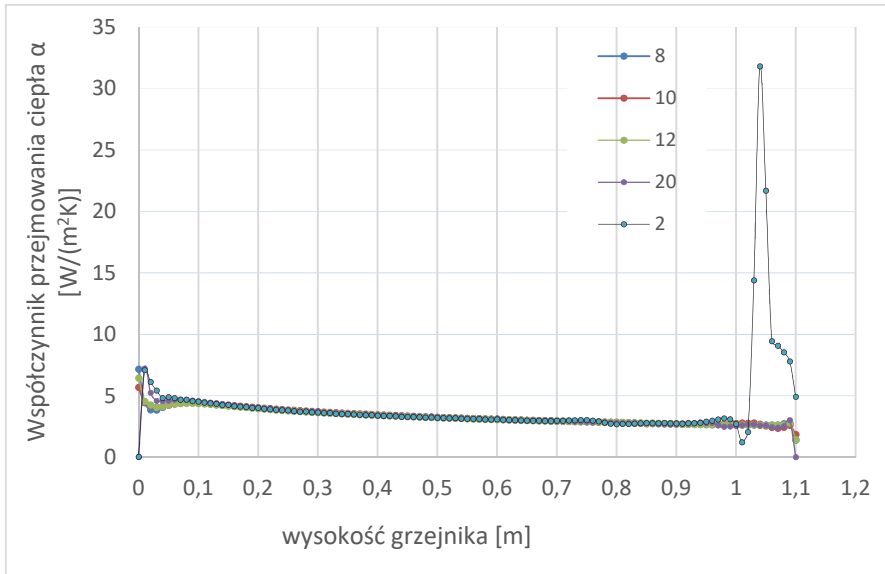


Rys. 1. Schemat modelu badań numerycznych
Fig. 1. Diagram of model numerical research

Po zadaniu parametrów wejściowych dla podanej geometrii oraz warunków brzegowych program wykonuje obliczenia wg żądanej liczby iteracji.

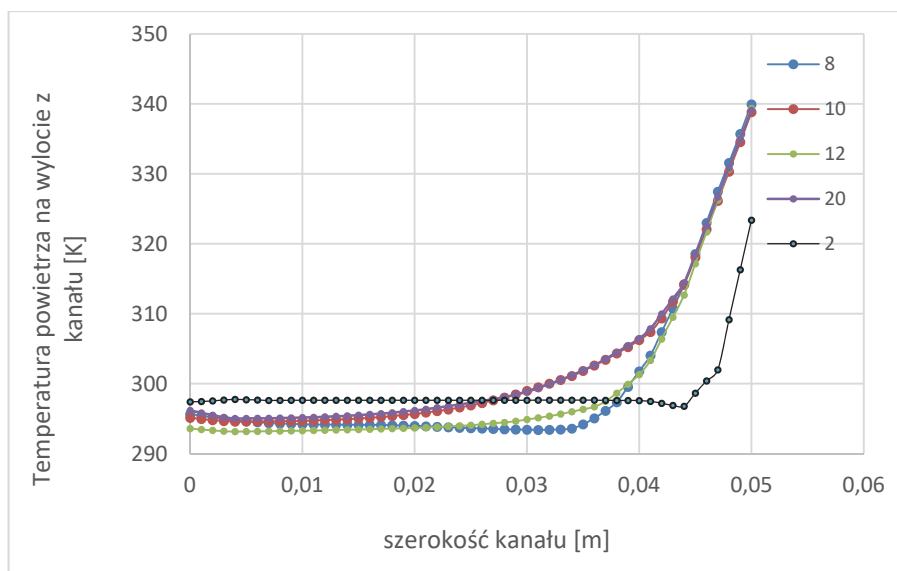
3. Wyniki obliczeń numerycznych

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych uzyskano rozkłady temperatury i prędkości powietrza na wlocie oraz wylocie z kanału. Przez kanał należy rozumieć tu przestrzeń między grzejnikiem a ścianą. Ma on szerokość 5 cm i wysokość 110 cm. Wlot to wejście do kanału od dołu, wylot – wyjście z kanału – góra. Na powierzchni wymiennika ciepła od strony kanału wzdłuż jego wysokości wyznaczono współczynnik przejmowania ciepła α . Z analizy możemy dowiedzieć się jakie są różnice w wartościach temperatury i prędkości powietrza oraz współczynnika przejmowania ciepła α w badanych układach oraz który układ jest najkorzystniejszy? Uzyskane wyniki obliczeń przedstawiono na rysunkach 2-5. Obejmują one otrzymane pola temperatury – rysunek 3 i prędkości powietrza – rysunki 4 i 5, oraz rozkłady współczynnika przejmowania ciepła α – rysunek 2, decydującego o intensywności wymiany ciepła.



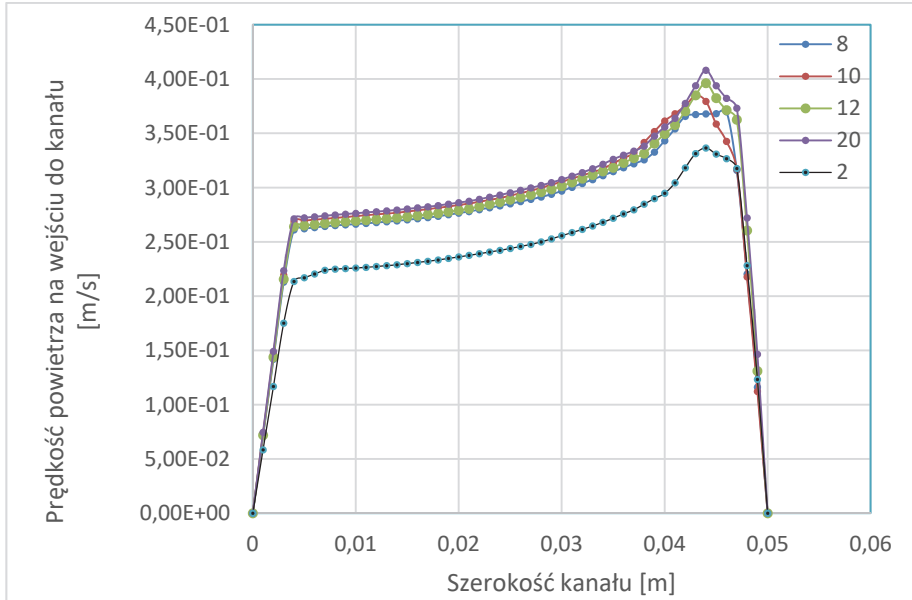
Rys. 2. Rozkłady współczynnika przejmowania ciepła α [W/(m²K)] w funkcji wysokości grzejnika [m], legenda przedstawia pięć różnych wartości strumienia ciepła dla okna [W/m²] kolejno: 8, 10, 12, 20, 2

Fig. 2. Distribution of heat transfer coefficient α [W/(m²K)] as a function of radiator height [m], the legend presents five different values of heat flux [W/m²] in turn: 8, 10, 12, 20, 2



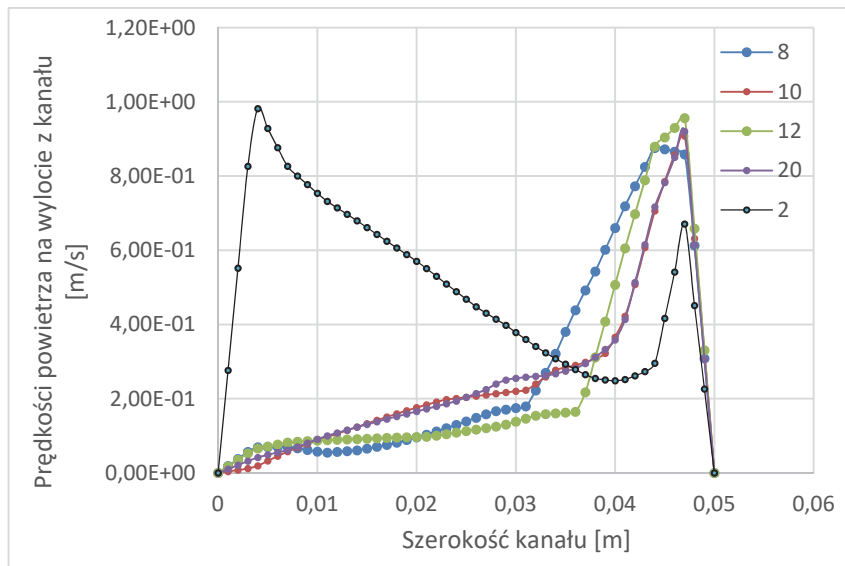
Rys. 3. Rozkłady pól temperatury powietrza [K] w funkcji szerokości kanału na wyjściu [m], legenda przedstawia pięć różnych wartości strumienia ciepła dla okna [W/m^2] kolejno: 8, 10, 12, 20, 2

Fig. 3. Distribution of air temperature fields [K] as a function of canal width (outlet) [m], the legend presents five different values of heat flux [W/m^2] in turn: 8, 10, 12, 20, 2



Rys. 4. Rozkłady pól prędkości powietrza [m/s] w funkcji szerokości kanału na wejściu [m], legenda przedstawia pięć różnych wartości strumienia ciepła [W/m²] kolejno: 8, 10, 12, 20, 2

Fig. 4. Distribution of air velocity fields [m/s] as a function of canal width (inlet) [m], the legend presents five different values of heat flux [W/m²] in turn: 8, 10, 12, 20, 2



Rys. 5. Rozkłady pól prędkości powietrza [m/s] w funkcji szerokości kanału na wyjściu [m], legenda przedstawia pięć różnych wartości strumienia ciepła [W/m^2] kolejno: 8, 10, 12, 20, 2

Fig. 5. Distribution of air velocity fields [m/s] as a function of canal width (outlet) [m], the legend presents five different values of heat flux [W/m^2] in turn: 8, 10, 12, 20, 2

4. Wnioski i podsumowanie

Z przeprowadzonej analizy wynika, iż w kwestii współczynnika przejmowania ciepła największą średnią wartość otrzymano w układzie z zadaniem strumieniem ciepła o wartości 2 W/m^2 i wynosiła ona $4,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Z przedstawionego na rysunku 2 widać, iż charakter przebiegu α przy najniższej zadanej z rozpatrywanych wartości strumienia ciepła 2 W/m^2 jest nieco inny niż pozostałe przebiegi α wzdłuż wysokości grzejnika od strony kanału. Są to przebiegi czysto teoretyczne, należy pamiętać o tym, że jest to analiza numeryczna a nie wyniki badań eksperymentalnych. Najniższe wartości współczynnika przejmowania ciepła otrzymano w układzie ze strumieniem ciepła o wartości 8 W/m^2 , tutaj średnia wartość $\alpha = 3,29 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Najwyższą średnią wartość temperatury na wylocie z kanału otrzymano w układzie ze strumieniem ciepła równym 20 W/m^2 i wynosiła ona $302,38 \text{ K}$. Najniższą średnią wartość temperatury na wylocie z kanału otrzymano w układzie ze strumieniem ciepła równym 2 W/m^2 i wynosiła ona $298,84 \text{ K}$. Widać to również na przebiegu wartości temperatury powietrza na rysunku 3, gdzie temperatura przy grzejniku na wylocie jest znacznie niższa od pozostałych badanych układów.

Prędkości powietrza na wlocie do kanału (rys. 4) najwyższe wartości okazały się mieć w układzie ze strumieniem ciepła 20 W/m^2 , średnia wartość to $2,85 \text{ m/s}$, najniższe w układzie 2 W/m^2 , średnia wartość $2,36 \text{ m/s}$. Prędkości powietrza na wylocie z kanału (rys. 5) mają nieco inny charakter przebiegu w układzie ze strumieniem ciepła równym 2 W/m^2 . Jest to najniższa z rozpatrywanych wartości strumienia ciepła. Tutaj prędkości okazują się być najwyższe, średnia wartość to $4,91 \text{ m/s}$, najniższe wartości w układzie z 12 W/m^2 , średnia wartość $2,33 \text{ m/s}$. Wysokie wartości prędkości powietrza na wylocie z kanału w układzie ze strumieniem 2 W/m^2 łączą się z również wysokimi wartościami współczynnika przejmowania ciepła.

Podsumowując pod względem temperatury i prędkości powietrza najlepszym okazał się układ z 20 W/m^2 na oknie. Pod względem współczynnika przejmowania ciepła najkorzystniejszy jest układ z 2 W/m^2 na oknie. W badanym zakresie można przyjąć, że im niższa zadana wartość strumienia ciepła okna tym korzystniejsza pod względem cieplnym wymiana ciepła w pomieszczeniu przy czym różnice w prędkościach między badanymi układami są nieznaczne i wynoszą dla prędkości $0,49 \text{ m/s}$, dla temperatury $3,54 \text{ K}$, dla współczynnika przejmowania ciepła $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Uzyskane wyniki badań numerycznych uzupełniają dotychczasowe rezultaty badań dotyczących konwekcyjnej wymiany ciepła, spotykanych w literaturze. Są one badaniami chętnie realizowanymi mimo, iż złożonymi, wymagającymi jeszcze uzupełnienia eksperymentem. Mogą być wskazówkami przy projektantów grzejników płytowych i okien. Mogą również stanowić bazę porównawczą do innych badanych układów w tym zakresie. Wnoszą nowe informacje dla użytkowników grzejników panelowych, pracujących w warunkach konwekcji.

Literatura

Ansys Flotran CFD, User Instruction

Czapp, S., Czapp, M., Orłowska, M. (2016). *Numerical and experimental investigation of thermal convection near electric devices with vertical channels*, 2016 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT), Rzeszów, 54-58.

Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, Poz. 2285, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 roku, zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Nantka, M.B., *Ogrzewnictwo i Ciepłownictwo*, Tom II, Gliwice 2010, 14.

Orłowska, M., Czapp, M. (2012). Analiza numeryczna wydajności cieplnej konwekcyjnego wymiennika ciepła obudowanego poziomymi płytami. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 14, 582-586.

Orłowska, M., Szkarowski, A., Janta-Lipińska, S. (2017). Badania numeryczne wpływu zabudowy grzejnika konwekcyjnego półką poziomą z zakrzywieniem na rozkład pól temperatury i prędkości powietrza w pomieszczeniu. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 12, 590-599.

Orłowska, M. (2017). *Numerical analysis of the heat exchanger energy efficiency depending on location from the floor*, 9th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering, EKO-DOK 2017, E3S Web Conf. 17.

Orłowska, M. (2018). *Numerical analysis of a heat exchanger with differentiated temperatures surface at varying distances from the wall*, E3S Web Conf. Volume 30, 2018 The First Conference of the International Water Association IWA for Young Scientist in Poland "Water, Wastewater and Energy in Smart Cities.

Szkarowski, A., Janta-Lipinska, S. (2015). Experimental Research Vs. Accuracy of the Elaborated Model. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17(1), 576-584.

Szkarowski, A., Janta-Lipinska, S. (2011). Modeling of Optimum Burning of Fuel in Industrial Heating Boilers. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 13(1), 511-524.

Szpakowska, M. (2010), *Badanie wpływu warunków brzegowych i na intensyfikację konwekcyjnej wymiany ciepła od płyty pionowej w przestrzeni częściowo ograniczonej*, Praca doktorska.

<http://odnawialnezrodlaenergii.pl/domy-energooszczędne-aktualnosci/item/2800-ue-do-2021-roku-wiekszosc-budynkow-powinna-byc-samowystarczalna-energetyczne>

Study of the Influence of Window Thermal Properties on Radiator Work in the Room – Numerical Research

Abstract

The purpose of the work was to perform numerical tests of convective heat exchange. Numerical analyzes were carried out in a two-dimensional system. They were realized using the modern Ansys Mechanical CFD-Flo computer program. The heat exchange concerned a room-mounted flat plate heater mounted on a wall with a window. Several calculation options have been created. Five different values of the heat transfer factor α on the window were given. On this basis of the conducted tests it is possible to determine the differences in temperature and air velocity at different values of the heat flux on the window and how the heat transfer coefficient α is determined which determines the intensity of heat exchange.

Streszczenie

Celem pracy było wykonanie badań numerycznych konwekcyjnej wymiany ciepła. Analizy numeryczne przeprowadzono w układzie dwuwymiarowym. Zrealizowano je przy użyciu nowoczesnego programu komputerowego Ansys Mechanical CFD-Flo. Wymiana ciepła dotyczyła pokojowego grzejnika płytowego, płaskiego umieszczonego na ścianie z oknem. Utworzono kilka wariantów obliczeń. Zadano pięć, różnych wartości współczynnika przejmowania ciepła α na oknie. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić jakie są różnice wartości temperatury oraz prędkości powietrza przy różnych, zadanych wartościach strumienia ciepła na oknie oraz jak kształtuje się współczynnik przejmowania ciepła α , decydujący o intensywności wymiany ciepła.

Słowa kluczowe:

grzejnik, okno, współczynnik przejmowania ciepła α , konwekcja

Keywords:

radiator, window, heat transfer coefficient α , convection