dr inż. Jarosław Kaczor[1)]
ORCID: 0000-0003-2315-980X

Analysis of heat flux density distributions using electric radiant heating

Analiza rozkładu gęstości strumienia promieniowania cieplnego z zastosowaniem elektrycznego ogrzewania promiennikowego

DOI: 10.15199/33.2026.10.11

Abstract. This article presents the distribution of thermal radiation flux density on flat surfaces when using electric infrared radiators. A religious building was selected for the analysis. The analysis was conducted using the specialized software IlumiCAD--Infrared. The software enabled the optimal placement of infrared emitters within the building and the determination of the heat flux density distribution. This distribution was determined at floor level and at a height of 0.95 cm – the level at which the wooden benches and the liturgical table are located. This study is analytical in nature, but the results obtained will be verified experimentally.
Keywords: electric infrared heaters; heat flux density distribution; radiant heating; religious building.

Streszczenie. W artykule przedstawiono rozkład gęstości strumienia promieniowania cieplnego na powierzchniach płaskich z zastosowaniem elektrycznych promienników podczerwieni. Do analizy przyjęto obiekt sakralny. Analizę przeprowadzono za pomocą specjalistycznego programu IlumiCAD-Infrared. Program umożliwił poprawne rozmieszczenie promienników podczerwieni w obiekcie i określenie gęstości strumienia cieplnego. Rozkład ten został określony na poziomie podłogi oraz na wysokości 0,95 cm, czyli na poziomie, gdzie usytuowane są drewniane ławki oraz stół liturgiczny. Praca ma charakter analityczny, lecz otrzymane wyniki będą weryfikowane doświadczalnie.
Słowa kluczowe: elektryczne promienniki podczerwieni; rozkład gęstości strumienia cieplnego; ogrzewanie promiennikowe; obiekt sakralny.

It is difficult to find information on the proper selection of radiant heaters for sacred buildings, particularly historic ones. These types of buildings often contain furnishings and structural elements that may be damaged as a result of unfavourable environmental conditions to which they are exposed. Infrared heaters are used not only in sacred buildings but also extensively in industrial production facilities. Studies on the influence of infrared heaters on the indoor microclimate in industrial production halls are presented in [1]. In [2], the air temperature in the occupied zone was determined for different heat outputs of a horizontally mounted radiant heater under forced air circulation. These studies, however, considered the operation of only a single gas-fired radiant heater. Thermal comfort in spaces heated by various types of heaters has also been investigated in other studies [3÷7]. To the author knowledge, no studies have investigated electric infrared electric heaters, particularly their application in religious buildings characterised by specific indoor microclimatic conditions, or the operation of multiple radiant heaters simultaneously. This issue is important because an improper arrangement of radiant heaters may lead to the overlapping of thermal radiation on exposed surfaces, resulting in localized overheating. Most of the available studies focus on the performance of a single heater. Furthermore, such buildings, especially historic ones, contain furnishings and structural elements that are sensitive both to indoor humidity and to excessive heating.

Temat elektrycznych promienników podczerwieni w obiektach sakralnych jest opisany w literaturze w sposób niewystarczający. Trudno jest znaleźć wiadomości dotyczące poprawności doboru promienników w obiektach typu sakralnego, szczególnie zabytkowych. W tego typu obiektach znajdują się bowiem elementy wyposażenia bądź elementy konstrukcyjne, które mogą zostać uszkodzone w wyniku niekorzystnych warunków, w jakich się znajdują. Promienniki podczerwieni można spotkać nie tylko w budynkach sakralnych. Mają szerokie zastosowanie w halach produkcyjnych. Badania dotyczące wpływu promienników podczerwieni na mikroklimat w halach produkcyjnych przedstawiono w [1], natomiast w [2] określono temperaturę powietrza w obszarze roboczym przy różnych mocach promiennika zamontowanego poziomo, przy wymuszonym ruchu powietrza. Badania te dotyczyły działania tylko jednego promiennika gazowego. Sama kwestia komfortu cieplnego w pomieszczeniach ogrzewanych różnymi promiennikami była też przedmiotem innych badań [3÷7]. Nie spotkałem się jednak z badaniami nad zastosowaniem elektrycznych promienników podczerwieni w obiektach sakralnych i które dotyczyłyby kilku jednocześnie włączonych promienników. O tyle to jest ważne, że przy źle rozmieszczonych promiennikach w pomieszczeniu może dochodzić do nakładania się promieni cieplnych na powierzchni. Większość dostępnych wyników badań dotyczy zazwyczaj jednego promiennika. Dodatkowo obiekty, szczególnie zabytkowe, posiadają wyposażenie, które jest wrażliwe zarówno na wilgoć panującą w pomieszczeniu, jak i na silne ich nagrzewanie.

[1)] Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska; jaroslaw.kaczor@p.lodz.pl

Electric infrared heaters (quartz heaters) provide heat immediately after being switched on [8]. The surfaces exposed to infrared radiation increase in temperature, which in turn contributes to a rise in the ambient air temperature. This occurs through the secondary heating of the indoor air, primarily by natural convection. Quartz heaters are equipped with long-lasting aluminium reflectors characterised by high reflectivity. This enables the thermal radiation to be focused directly on a specific area. In addition, the flexible adjustment of the reflector ensures precise control of the radiation direction. As a result, effective heating of floor-level surfaces can be achieved even when the heaters are mounted at significant heights [8]. More than 90% of the infrared radiation emitted by the heaters is absorbed by the surrounding building envelopes and interior surfaces, whereas the remaining approximately 10% is reflected [8].

Electric infrared heaters have a high-quality control system that takes into account heat gains in the heated space, such as those resulting from an increased number of people present or solar radiation enthering through windows. These features make this system the most widely used methods for heating church interiors [9]. The most commonly used types of radiant heaters include tubular radiant heaters. Less frequently used radiation sources include ceramic elements, metal tubes with ceramic filling, as well as tubes with wires embedded in quartz glass or ceramic material [10].

A linear quartz heater consists of a straight quartz tube filled with halogen gas. Inside the tube, there is a tungsten filament which, when heated to a temperature of approximately 2200°C, produces intense white light as well as a short-wave infrared thermal radiation beam [11]. Quartz heaters can be applied for both temporary and continuous heating purposes, such as general heating, localized zone heating, spot heating, outdoor area heating and frost prevention. In zone heating applications, radiant heating can be used to heat a designated part of a room. However, thermal energy will also reach non-designated areas through dissipated heat and secondary convection. Zone heating allows for a significant reduction in the installed heating capacity compared to heating the entire room. The installed heater power of quartz heaters depends on the thermal insulation, the size of the room, the type of building materials and the required comfort temperature. For heating periods shorter than 10 hours per day, it is recommended to increase the installed heating capacity of the heaters. Conversely, for heating periods longer than 10 hours per day, the installed heating capacity can be reduced. Increasing the power of heaters is also recommended when the units are equipped with protective shields or grilles, as this results in a certain reduction in heat flux. The standard formula for determining the required heat output of a radiant heater is as follows [13]:

$$\text{Modified power} = \frac{\text{installed heater power without shields}}{\text{heater efficiency with shields}}$$

Elektryczne promienniki cieplne (ogrzewacze kwarcowe) zapewniają dostarczenie ciepła natychmiast po uruchomieniu ogrzewania [8]. Zwiększa się temperatura powierzchni, na którą padają promienie, a to z kolei przyczynia się do podwyższenia temperatury otoczenia. Dzieje się tak przez wtórne ogrzewanie powietrza wewnętrznego, przede wszystkim przez konwekcję. Ogrzewacze kwarcowe są wyposażone w reflektory aluminiowe o wysokim współczynniku odbicia. Dzięki temu mogą bezpośrednio skupiać promień cieplny na konkretnym obszarze, a także dzięki dużym możliwościom ustawienia reflektora, gwarantują jego dowolne skierowanie. W rezultacie prowadzi to do efektywnego ogrzania powierzchni przypodłogowych, nawet w przypadku umieszczenia promienników na znacznej wysokości [8]. Promieniowanie podczerwone emitowane przez promienniki pochłaniane jest w ponad 90% przez otaczające przegrody cieplne. Pozostałe 10% to odbita część promieniowania [8].

Elektryczne promienniki podczerwieni charakteryzują się bardzo dobrą jakością systemu regulacji pracy, który uwzględnia występujące w ogrzewanym pomieszczeniu zyski ciepła, m.in. wskutek zwiększonej liczby przebywających osób czy promieniowania słonecznego przenikającego przez przeszklenia. Wszystko to sprawia, że system ten jest najbardziej rozpowszechnionym systemem ogrzewania wnętrza kościoła [9]. Do najczęściej spotykanych należą promienniki rurowe, natomiast rzadziej stosowanymi źródłami promieniowania są elementy ceramiczne lub rury metalowe z wypełnieniem ceramicznym, a także rury z drutem wtapianym w szkle kwarcowym bądź w materiale ceramicznym [10].

Kwarcowy ogrzewacz liniowy składa się z prostej rury kwarcowej, wypełnionej halogenem. Wewnątrz rury znajduje się żarnik wolframowy, który rozgrzewając się do temperatury ok. 2200°C, wytwarza intensywne białe światło, a także krótkofalową wiązkę podczerwonego promieniowania cieplnego [11]. Ogrzewacze kwarcowe mają zastosowanie przy ogrzewaniu okolicznościowym oraz długotrwałym, jako ogrzewanie ogólne, strefowe, punktowe, obszarów na wolnym powietrzu lub ochrona przed szronieniem [12]. Przy ogrzewaniu strefowym ogrzewacze promiennikowe mogą być stosowane w wyznaczonej części pomieszczenia, przy czym energia cieplna docierać będzie również na powierzchnie niewyznaczone do ogrzania za pośrednictwem ciepła rozproszonego oraz wtórnej konwekcji. Ogrzewanie strefowe pozwala na znaczne obniżenie zainstalowanej mocy ogrzewaczy w porównaniu z ogrzewaniem całego pomieszczenia. Moc zainstalowana ogrzewaczy kwarcowych zależy od izolacji termicznej, rozmiarów pomieszczenia, rodzaju materiałów budowlanych i od wymaganej temperatury komfortu. W przypadku ogrzewania przez czas krótszy niż 10 h na dobę zaleca się zwiększyć moc ogrzewaczy, a w sytuacji odwrotnej zmniejszyć. Zwiększenie mocy ogrzewaczy zalecane jest również w przypadku wyposażenia urządzeń w osłony lub kratki ochronne, ponieważ w pewnym stopniu prowadzi to do redukcji strumienia cieplnego. Klasyczne określenie wymaganej mocy cieplnej promiennika ma postać [13]:

$$\text{Moc zmodyfikowana} = \frac{\text{moc zainstalowana ogrzewaczy bez osłon}}{\text{sprawność ogrzewaczy z osłoną}}$$

Heater efficiency with shields is specified by the manufacturer [13]. In the case of heating a surface area that constitutes less than 10% of the total room area, so-called point-heating can be used. Heating may be necessary not only when people are in the room area, but also to prevent the formation of frost or water vapor condensation. Such phenomena may be unfavourable to the room's equipment. Radiant heating meets the requirements for this type of protection.

The arrangement of infrared heaters within a room is a very important factor affecting their proper operation. The most effective and efficient use of quartz radiant heating is achieved by providing lateral irradiation of areas occupied by people, particularly when the radiation is emitted from two opposite sides and the highest radiation intensity is directed toward areas near uninsulated walls or entrance doors. It is recommended that heaters are installed on columns or side walls, with the heat flux directed downward [8]. In the case of general heating, a uniform radiant heat intensity is required, with the non-uniformity of the radiant heat intensity not exceeding 20% [8]. An exception applies to areas exposed to higher heat losses, such as those near uninsulated walls or exposed to uncontrolled air movements (draughts). However, the heaters should always be positioned correctly. This is particularly important for achieving the desired radiation range in spot-heating applications. Manufacturers provide the coverage area of thermal radiation as a function of the heater installation height [9].

Research procedure

The purpose of the analytical studies conducted is to determine the heat flux at floor level and at the height of the liturgical table and the pews. The research covers the entire irradiated surface, with all selected sources emitting radiation simultaneously. The analysis was conducted for the Roman Catholic parish church in Ujazd. The parts of the church included in the analysis were: the main nave, with an area of 421.40 m^2; the chancel, with an area of 86.60 m^2; and the sacristy, with an area of 37.50 m^2. The external walls are made of solid brick, covered with plaster on both the interior and exterior, without thermal insulation. The roof structure is gable-shaped, with a galvanized sheet metal layer and mineral wool insulation. The floor is covered with porcelain tiles and is not thermally insulated. The external walls contain stained-glass windows installed at a height of 4.8 m. In addition to the liturgical table and pews, the church contains a baptismal font, a pulpit and a confessional, all of which are located along the external walls. The remaining furnishings of the church are relatively small and do not effect the distribution of heat flux density.

The following assumptions were adopted for the analysis: maximum power of the heaters, the church's furnishings and interior design were not taken into account in the analysis of the heat flux density distribution, except for permanently installed elements such as pews and the altar,

Sprawność ogrzewacza z osłoną podawana jest przez jego producenta [13]. W przypadku ogrzewania powierzchni stanowiącej mniej niż 10% powierzchni pomieszczenia można zastosować tzw. ogrzewanie punktowe [13]. Ogrzewanie może być potrzebne nie tylko podczas przebywania osób w pomieszczeniu, ale także w celu zapobiegnięcia tworzenia się szronu czy kondensacji pary wodnej. Tego typu zjawiska mogą mieć niekorzystny wpływ na wyposażenie pomieszczenia. Ogrzewanie promiennikami spełnia wymagania w przypadku tego typu ochrony.

Bardzo ważną rolę przy prawidłowym działaniu promienników podczerwieni odgrywa sposób ich rozmieszczenia w pomieszczeniu. Najbardziej korzystne i wydajne wykorzystanie ogrzewania kwarcowego jest przez boczne oświetlenie miejsc przebywania osób w pomieszczeniu, szczególnie gdy promienie padają z dwóch przeciwległych stron, a największa intensywność promieniowania trafia na miejsca w pobliżu nieizolowanych ścian lub drzwi wejściowych. Zaleca się, aby ogrzewacze montować na kolumnach bądź bocznych ścianach, ze skierowanym w dół strumieniem cieplnym [8]. W przypadku zastosowania ogrzewania ogólnego wymaga się zapewnienia jednorodnego natężenia promieniowania cieplnego, a nierównomierność natężenia nie może przekraczać 20% [8]. Wyjątek stanowią miejsca narażone na duże straty ciepła, np. w pobliżu nieizolowanych ścian lub z niekontrolowanym ruchem powietrza (przeciągi). Należy jednak pamiętać o prawidłowym usytuowaniu ogrzewaczy. Szczególnie jest to ważne w przypadku pokrycia pożądanej powierzchni promieniowania przy ogrzewaniu punktowym. Powierzchnia pokrycia przez promienie cieplne podawana jest przez producentów w funkcji wysokości zamontowania ogrzewacza [9].

Przebieg badań

Celem przeprowadzonych badan analitycznych było określenie strumienia gęstości ciepła na poziomie podłogi oraz na wysokości, na której znajduje się powierzchnia stołu liturgicznego oraz ławek. Badania obejmują całą napromieniowaną powierzchnię, przy jednoczesnym naświetlaniu przez wszystkie dobrane promienniki. Analizę przeprowadzono w rzymskokatolickim kościele parafialnym w miejscowości Ujazd. Części kościoła, w których przeprowadzono analizę, to: nawa główna o powierzchni 421,40 m^2; prezbiterium o powierzchni 86,60 m^2 oraz zakrystia o powierzchni 37,50 m^2. Ściany zewnętrzne wykonane są z cegły pełnej, pokryte tynkiem od wewnątrz i od zewnątrz, bez izolacji cieplnej. Konstrukcja dachu jest dwuspadowa o warstwie wierzchniej z blachy ocynkowanej i ocieplona wełną mineralną. Na podłodze znajduje się gres. Podłoga jest nieizolowana cieplnie. W ścianach zewnętrznych znajdują się witraże, które są zamontowane na wysokości 4,8 m. W kościele, oprócz stołu liturgicznego i ławek, znajduje się chrzcielnica, ambona i konfesjonał, które usytuowane są przy ścianach zewnętrznych. Pozostałe elementy wyposażenia kościoła są niewielkich rozmiarów i nie mają wpływu na rozkład gęstości strumienia ciepła.

Założenia, jakie przyjęto do analizy: maksymalna moc promienników; nieuwzględnienie wpływu wyposażenia (wystroju) kościoła na rozkład gęstości strumienia promieniowania cieplnego (oprócz elementów zamontowanych na stałe, typu ławki,

the analysis was conducted for an empty church, minimal internal air movement, the structure of the building partitions their temperature and any potential moisture content were not takin into account in the analysis, the heaters were selected based on an assumed indoor air temperature of 0°C.

Research method

The first step of the analysis was the selection of electric infrared heaters using IlumiCAD-Infrared software. The software is used to calculate and visualize infrared radiation intensity in rooms heated with IR-A infrared heaters. Its main feature is the ability to simulate radiation intensity depending on the arrangement of the heaters and the geometry of the room. This helps to optimise heating and ensure thermal comfort. It also allows radiation intensity to be determined on any specified surface, helping to prevent the permissible values established for safety reasons from being exceeded. Using the IlumiCAD-Infrared software to select infrared heaters differs significantly from methods based on calculators that determine the number of heaters required according to room value, thermal insulation properties and other parameters. Such methods assume average radiation coverage values based on the heater's characteristics and its mounting height. However, they do not enable the actual impact of the heating system on the room to be visualised. The parameters of the selected heaters were obtained from specialised laboratories of companies such as Philips amd Toshiba, with measurements performed in accordance with the DIN EN IEC standard [15]. At specified points, the heat flux density was determined in W/m^2 and related to the heater's calculated efficiency. This parameter is particularly important in the design process as it indicated the amount of heat delivered to the heated space per kilowatt of electrical energy consumed. The growing popularity of electric infrared heaters has increased a demand for solutions that maximise the efficiency of such systems [16].

The first stage in selecting heaters using the software is to create a model of the analysed building to the appropriate scale [17]. In order to perform the simulation, an advanced 3D graphics editor is needed to visualise the rooms' geometry, as well as a catalogue of heaters to enable the appropriate ones to be selected. Depending on the required radiation intensity and the area to be heated, an appropriate heater model is selected from the available equipment catalogue. For the analysed building, the following heater models were selected [17]: **nave** – 6 × Solart S3C060 with a total power of 6,0 kW; **chancel** – 2 × Solart S3C060 with a total power of 6,0 kW; **sacristy** – 1 × Solart S1J030 with a total power of 3,0 kW.

The arrangement of the selected heaters is shown in Figure 1. The devices used are three-phase infrared heaters. Each heater is equipped with three emitters (lamps). Such a heater is characterised by three-stage power control. This is achieved through the ability to turn off each lamp individually. The mounting height of the heaters is 4 m in the main nave and chancel, and 3.3 m in the sacristy.

ołtarz); przeprowadzenie analizy pustego kościoła; minimalny ruch powietrza wewnętrznego; nieuwzględnienie w analizie struktury przegród budowlanych, ich temperatury i ewentualnego zawilgocenia; dobór promienników przy założeniu temperatury powietrza wewnętrznego w kościele 0°C.

Metoda badań

Pierwszym krokiem analizy był dobór elektrycznych promienników podczerwieni w programie IlumiCAD-Infrared. Program ten służy do obliczania i wizualizacji natężenia promieniowania z zakresu podczerwieni w pomieszczeniach ogrzewanych promiennikami IR-A. Główną cechą programu jest to, że umożliwia on symulację natężenia promieniowania w zależności od rozmieszczenia promienników i geometrii pomieszczenia, co pozwala na usprawnienie ogrzewania i zapewnienie komfortu termicznego. Dodatkowo umożliwia wyznaczenie natężenia promieniowania na dowolnej powierzchni i pozwala uniknąć przekroczenia wartości dopuszczalnych ze względu na bezpieczeństwo [14]. Dobór promienników za pomocą programu IlumiCAD-Infrared jest odmienny od tego, który zapewniają kalkulatory wyznaczające liczbę promienników w zależności od kubatury pomieszczenia, jego właściwości izolacyjnych i wielu innych parametrów. Programy te zakładają pewne średnie wartości „pokrycia" powierzchni promieniowaniem w zależności od charakterystyki promiennika i wysokości jego zawieszenia. Nie jest możliwe otrzymanie tą metodą obrazu oddziaływania instalacji na pomieszczenie. Parametry dobranych promienników zebrane zostały w laboratoriach branżowych takich firm, jak PHILIPS czy TOSHIBA, a pomiary wykonano wg normy DIN EN IEC [15]. W odpowiednich punktach wyznaczono gęstość strumienia promieniowania cieplnego [W/m^2] z powiązaniem wyliczonej sprawności promiennika. Parametr sprawności jest bardzo istotny przy projektowaniu, ponieważ wskazuje ilość odbieranego ciepła z pobranego kilowata. Coraz większa popularność elektrycznych promienników podczerwieni powoduje, że szuka się rozwiązania, aby sprawność tego typu urządzeń była jak największa [16].

Pierwszy etap doboru promienników w programie, to wrysowanie modelu rozpatrywanego obiektu w odpowiedniej skali [17]. Do wykonania symulacji niezbędny jest wydajny edytor grafiki 3D, umożliwiający przedstawienie geometrii pomieszczeń, a także katalog promienników pozwalający na ich dobór. W zależności od wymaganej wielkości promieniowania, a także zadanej powierzchni, do ogrzania dobierany jest odpowiedni model promiennika z dostępnego katalogu urządzeń. Do analizowanego budynku dobrano następujące modele promienników [17]: **nawa** – 6 × Solart S3C060 o mocy całkowitej 6,0 kW; **prezbiterium** – 2 × Solart S3C060 o mocy całkowitej 6,0 kW; **zakrystia** – 1 × Solart S1J030 o mocy całkowitej 3,0 kW.

Rozmieszczenie dobranych promienników pokazano na rysunku 1. Zastosowane urządzenia to promienniki trójfazowe. Każdy z nich wyposażony jest w 3 emitory (lampy). Promiennik taki charakteryzuje się potrójną regulacją mocy. Dzieje się tak ze względu na możliwość wyłączenia każdej z lamp. Wysokość zamontowanych promienników to: w nawie głównej i prezbiterium 4 m, natomiast w zakrystii 3,3 m.

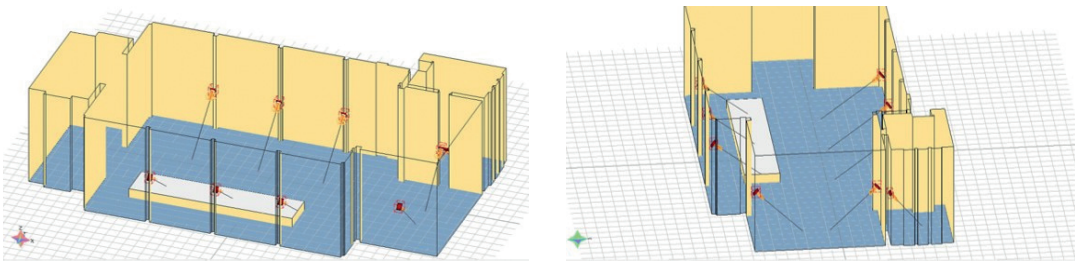


Fig. 1. Placement and aiming of heaters (1 grid square = 1 m²)
Rys. 1. Usytuowanie i nacelowanie promienników (1 kratka = 1 m²)

The heaters are arranged in such a way that they can ensure uniform irradiation of the surface. Each pair of heaters constitutes one heating zone. The heaters were arranged symmetrically and oppositely, with six in the main nave (three on each side) and two in the chancel (one on each wall). Following the initial positioning and alignment of the heaters in the nave and chancel, the precise mounting parameters of the heating devices were established. The most important parameter at this stage is the installation height of the devices above floor level. Typically, the heaters are installed at least 2 meters above the occupied zone. The aiming angle is determined after mounting the heater to define the desired irradiated area. Figures 2÷4 show the mounting parameters of the heaters throughout the building.

Promienniki rozmieszcza się w taki sposób, aby mogły zapewnić równomierne napromieniowanie powierzchni. Każda para promienników to jedna strefa ogrzewania. Założono symetryczne i naprzeciwlegle rozmieszczenie sześciu promienników w nawie, po trzy na każdą stronę oraz dwa urządzenia, po jednym na ścianie, w prezbiterium. Po wstępnym usytuowaniu i nacelowaniu promienników w nawie i prezbiterium należy ustalić szczegółowe parametry zawieszenia urządzeń grzewczych. Na tym etapie najważniejszym elementem jest ustalenie wysokości zainstalowania urządzeń od poziomu podłogi. Zazwyczaj jest to minimum 2 m powyżej strefy przebywania ludzi, natomiast kąt nacelowania wyznacza się po zawieszeniu promiennika, aby nakreślić żądaną powierzchnię napromieniowania. Na rysunkach 2÷4 przedstawiono parametry zawieszenia promienników w całym budynku.

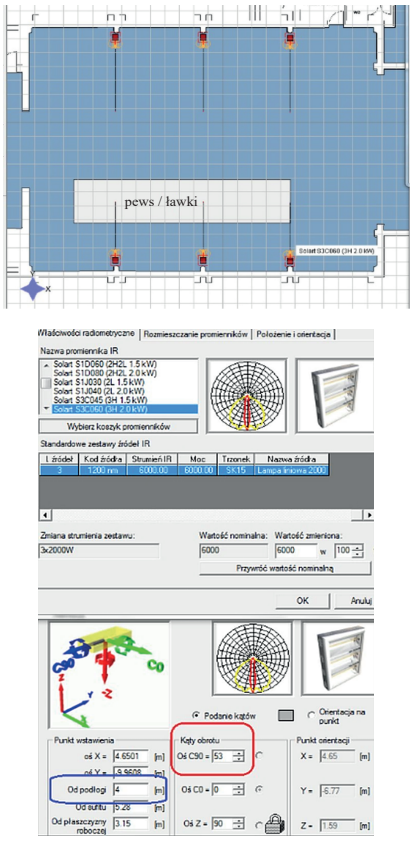


Fig. 2. Suspension parameters of heaters in the nave (1 grid square = 1 m²)
Rys. 2. Parametry zawieszenia promienników w nawie (1 kratka = 1 m²)

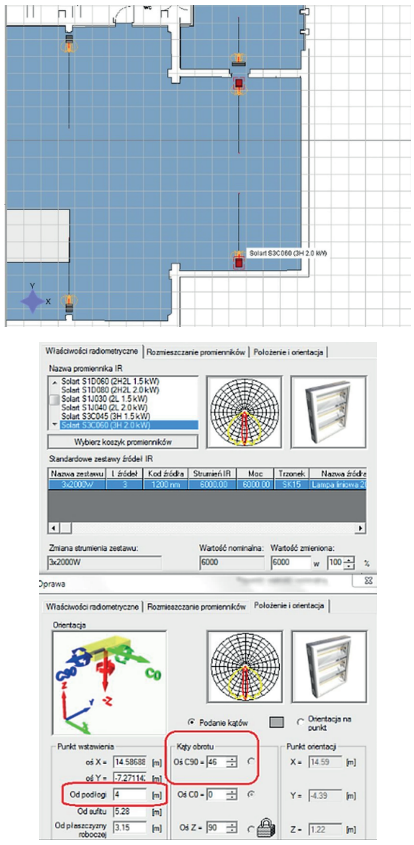


Fig. 3. Suspension parameters of heaters in the presbytery (1 grid unit = 1 m²)
Rys. 3. Parametry zawieszenia promienników w prezbiterium (1 kratka = 1 m²)

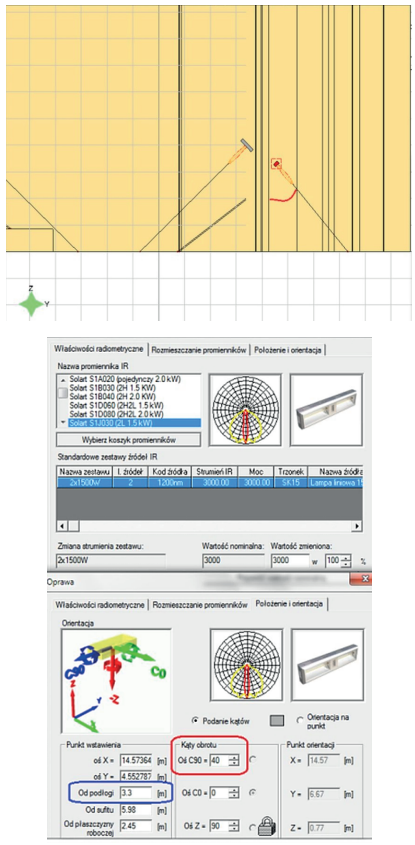


Fig. 4. Suspension parameters of the heater in the sacristy
Rys. 4. Parametry zawieszenia promiennika w zakrystii

Results

The software's computational procedures were applied, resulting in an outcome similar to that obtained from a thermal imaging camera. However, unlike a thermal imaging camera, the software visualizes not the emitted radiation but the intensity of the absorbed radiation. Once the calculations have been completed, the results are presented as three-dimensional visualisations with isolines that correspond to heat flux density values in W/m^2 (Figure 5). Isolines indicate the heat radiation flux density values incident on the given surfaces. The heat radiation flux density is also simulated at a height of approximately 0,95 m, as this corresponds to the height of the pews and the liturgical table (Figure 6).

Wyniki

Dzięki zastosowaniu procedur obliczeniowych programu otrzymano wynik analogiczny do obrazu z kamery termowizyjnej. W odróżnieniu od kamery wizualizowana jest jednak nie emisja promieniowania, lecz natężenie promieniowania absorbowanego. Po wykonaniu obliczeń wyniki prezentowane są jako przestrzenne wizualizacje z izoliniami, odpowiadającymi wartościom gęstości strumienia promieniowania cieplnego [W/m^2] (rysunek 5). Izolinie wyznaczają wartości gęstości promieniowania cieplnego, jakie pada na dane powierzchnie. Symulacja wartości gęstości strumienia promieniowania cieplnego odbywa się dodatkowo na wysokości ok. 0,95 m, gdyż odpowiada ona wysokości, na której znajdują się powierzchnie ławek oraz stołu liturgicznego (rysunek 6).

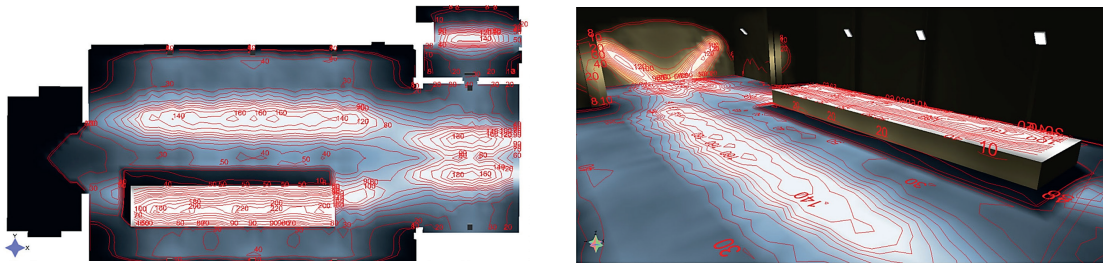


Fig. 5. Heat flux density on the surfaces of the floor and the altar table [W/m^2]
Rys. 5. Gęstość strumienia promieniowania cieplnego na powierzchniach podłogi i stołu liturgicznego [W/m^2]

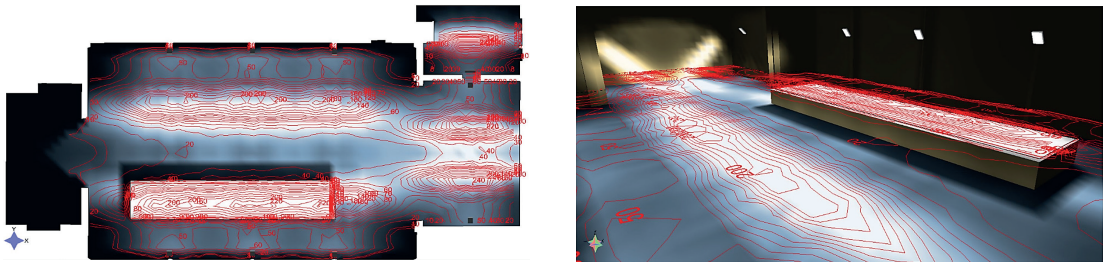


Fig. 6. Heat flux density at a height of 0,95 m [W/m^2]
Rys. 6. Gęstości strumienia promieniowania cieplnego na wysokości 0,95 m [W/m^2]

Analysis of the obtained results shows that the maximum heat radiation flux density distribution on the floor surface is approximately 160÷180 W/m^2 in the main nave and chancel. The exception is the areas occupied by the pews. The values were obtained in areas where the irradiation of the surface is the highest. In other areas where radiation levels are lower, the distribution of the thermal radiation flux density is much lower, at only 50 W/m^2. In the sacristy, however, the maximum heat flux density on the floor surface is similar to that in the main nave and amounts to 140 W/m^2.

For the heat radiation flux density values measured at a height of 0.95 m above the floor, it can be observed that the radiant heat flux density values are slightly higher than the previous ones, but more uniform, and amount to approximately 200 W/m^2, with a peak of 240 W/m^2. In the sacristy, the heat radiation flux density reaches 240 W/m^2. Increased heat flux density at a height of 0.95 m is caused by the shorter distance between the surface and the infrared heaters. In both cases (the floor surface and the height of 0.95 m above the

Analizując otrzymane wyniki, stwierdzono, że rozkład maksymalnej gęstości strumienia promieniowania cieplnego na powierzchni podłogi wynosi w nawie głównej i prezbiterium 160÷180 W/m^2. Wyjątkiem jest miejsce, gdzie znajdują się ławki. Wartości te uzyskano w miejscach, w których napromieniowanie powierzchni jest największe. W pozostałych miejscach rozkład gęstości strumienia promieniowania cieplnego jest dużo mniejszy i wynosi tylko 50 W/m^2. W zakrystii natomiast maksymalna gęstość strumienia promieniowania cieplnego na powierzchni podłogi jest podobna, jak w nawie głównej i wynosi 140 W/m^2.

W przypadku wartości gęstości strumienia promieniowania cieplnego na wysokości 0,95 m, licząc od podłogi, widać, że są one nieco większe od poprzednich, ale bardziej wyrównane i wynoszą ok. 200 W/m^2, punktowo 240 W/m^2, a w zakrystii 240 W/m^2. Zwiększona moc ciepła na wysokości 0,95 m spowodowana jest mniejszą odległością powierzchni od promienników podczerwieni. W obu przypadkach (powierzchnia podłogi oraz wysokość 0,95 m) uzyskano podobny roz-

floor) a similar distribution of isolines was obtained, but these isolines have different values of heat flux density. Analysis of the heat radiation flux densities on both surfaces shows that distribution is uniform along the entire length of the irradiated surface. There are no localised peaks in the thermal radiation flux density. The obtained heat radiation flux density values, assuming an indoor air temperature of 0°C in the church, will allow the irradiated surfaces to reach a temperature of approximately 13°C, which will be the most suitable temperature for the church's furnishings, structural partitions and people present inside the church.

Summary

The heat radiation flux density values obtained using the IlumiCAD-Infrared software can be used to determine degree to which a given surface is irradiated. While these are preliminary analytical results that require verification through experimental studies, they already allow us to determine with a high degree probability the extent to which a given surface is exposed to radiation. This analysis will be supplemented in the near future by temperature measurements using thermocouples distributed across the entire irradiated surface, with different heater power settings and different indoor air temperatures. Additionally, microclimate measurements will be conducted as a function of heater power and indoor air temperature.

Heating places of worship using electric infrared heaters is no easy task. It is necessary to take into account the specific construction characteristics of such buildings. Determining the radiant heat flux density on a given surface is sometimes essential due to conservation and protection requirements concerning both the building envelope and the church furnishings, particularly in historic buildings. Improperly selected infrared heaters can cause excessive radiation on surfaces, leading to overheating and potential damage. Therefore, use of infrared heaters in historic buildings must ensure the safety and protection of church furnishings, which are most often made of wood, such as altars, pews, carved pulpits, confessionals and baptismal fonts. It should not be forgotten that infrared heaters provide exceptional thermal comfort. Instead of heating the air, they emit electromagnetic waves that directly heat people. The warmth is felt almost immediately after switching the device on and is not affected by drafts. It is important that the heat radiation flux density is distributed uniformly across the entire surface and that the vertical temperature gradient is as small as possible. Waves reach human skin and clothing directly, providing thermal comfort. In addition, they heat building partitions, which subsequently release heat into the surroundings through radiation and convection.

The amount of heat transferred from partitions to the surrounding environment depends on thermal insulation properties of those partitions. An excessively high heat radiation flux density on a given partition may result in significant heat transfer to the outside, leading to substantial heat losses. Therefore, it is important to determine an appropriate heat

kład izolinii, ale mają one inne wartości gęstości strumienia promieniowania cieplnego. Analizując gęstość strumienia promieniowania cieplnego na obu powierzchniach, stwierdzono, że rozkład ten jest równomierny na całej długości napromieniowanej powierzchni. Nie występują miejscowe piki wzrostu gęstości strumienia promieniowania cieplnego. Otrzymane wartości gęstości strumienia promieniowania, przy założonej temperaturze powietrza wewnętrznego w kościele na poziomie 0°C, pozwolą na osiągnięcie oczekiwanej temperatury na powierzchniach napromieniowanych na poziomie ok. 13°C, która w przypadku elementów wyposażenia kościoła, przegród budowlanych oraz osób przebywających w kościele będzie najbardziej odpowiednią temperaturą.

Podsumowanie

Wyniki gęstości strumienia promieniowania cieplnego otrzymane za pomocą programu IlumiCAD-Infrared pozwalają określić stopień napromieniowania danej powierzchni. Są to wyniki wstępne, analityczne i wymagają weryfikacji przez badania doświadczalne, ale już na tym etapie pozwalają określić z dużym prawdopodobieństwem, jak bardzo dana powierzchnia jest narażona na napromieniowanie. Uzupełnieniem tej analizy będą pomiary temperatury za pomocą termopar, które zostaną rozmieszczone na całej napromieniowanej powierzchni, przy różnych ustawieniach mocy promienników i różnej temperaturze powietrza wewnętrznego. Dodatkowo przeprowadzone zostaną badania mikroklimatu w funkcji mocy promienników i temperatury powietrza wewnętrznego.

Ogrzewanie obiektów sakralnych elektrycznymi promiennikami podczerwieni nie jest łatwym zadaniem. Należy wziąć pod uwagę specyfikę budowy tego rodzaju obiektów. Określenie gęstości strumienia promieniowania cieplnego na danej płaszczyźnie jest czasem niezbędne ze względu na kwestie związane z konserwacją oraz ochroną przegród budowlanych i wyposażenia kościoła, szczególnie w obiektach zabytkowych. Źle dobrane promienniki podczerwieni mogą powodować zbyt mocne napromieniowanie powierzchni, a przez to ich zbytnie nagrzewanie, co może spowodować uszkodzenia. Zastosowanie promienników podczerwieni w obiektach zabytkowych musi zapewnić bezpieczeństwo i ochronę wyposażenia kościoła. Nie można też zapomnieć, że promienniki podczerwieni zapewniają wyjątkowy komfort cieplny. Zamiast ogrzewać powietrze, emitują fale elektromagnetyczne, które ogrzewają bezpośrednio ludzi. Ciepło odczuwalne jest niemal natychmiast po włączeniu urządzenia i nie jest podatne na przeciągi. Ważne jest, aby rozkład gęstości strumienia promieniowania cieplnego był równomierny na całej powierzchni, a pionowy gradient temperatury był jak najmniejszy. Fale docierają bezpośrednio do skóry i ubrań człowieka, zapewniając komfort termiczny. Dodatkowo nagrzewają przegrody budowlane, które następnie oddają ciepło do otoczenia przez promieniowanie i konwekcję.

Ilość oddanego ciepła przez przegrody do otoczenia zależy od izolacyjności cieplnej tych przegród. Zbyt duża gęstość strumienia promieniowania cieplnego na danej przegrodzie może spowodować duże przenikanie ciepła na zewnątrz (duże straty ciepła), dlatego też należy określić odpowiednią gęstość stru-

radiation flux density when selecting infrared heaters. A very important consideration when selecting electric infrared heaters is to ensure that people inside the church are protected from radiation. The criteria for assessing risks associated with exposure to optical radiation, as well as the exposure limit values, are specified in the Regulation of the Minister of Labour and Social Policy of 29 July 2010 [18] and Directive 2026/25/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2026 [19].

In conclusion, a heating system based on electric infrared heaters may be close to being an ideal solution for heating churches. However, this requires the correct selection of infrared heaters in terms of power and number, as well as their appropriate positioning within the church interior. This makes it possible to achieve the desired temperatures on the heated surfaces, minimises the potential adverse effects on the furnishings and improves thermal comfort by ensuring a more uniform temperature distribution in the occupied zone. The greatest challenge lies in achieving an appropriate vertical temperature profile that would benefit all occupants of the building. Therefore, experimental studies are essential to determine a vertical temperature gradient when radiant heating is used in this type of building.

mienia promieniowania cieplnego na etapie doboru promienników podczerwieni. Bardzo ważną sprawą przy ich wyborze jest też zapewnienie bezpieczeństwa przed promieniowaniem osobom przebywającym w kościele. Kryteria oceny zagrożenia oraz wartości graniczne ekspozycji na promieniowanie optyczne określa Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z 29 lipca 2010 r. [18] oraz Dyrektywa 2006/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 5 kwietnia 2006 r. [19].

System ogrzewania elektrycznymi promiennikami podczerwieni może być bliski rozwiązaniu idealnemu, jeżeli chodzi o ogrzewanie kościołów. Warunkiem koniecznym jest jednak prawidłowy dobór mocy i liczby promienników, a także odpowiednie ich usytuowanie we wnętrzu kościoła. Dzięki temu można uzyskać żądaną temperaturę na ogrzewanych powierzchniach oraz zminimalizować negatywne oddziaływanie na wyposażenie świątyni i osiągnąć większy komfort cieplny, przez uzyskanie równomiernego rozkładu temperatury w obszarze przebywania ludzi. Największy problem stanowi uzyskanie odpowiedniego pionowego profilu temperatury, najbardziej korzystnego w przypadku wszystkich osób przebywających w budynku, dlatego też konieczne jest przeprowadzenie badań doświadczalnych, które pozwolą określić pionowy gradient temperatury przy zastosowaniu ogrzewania promiennikowego.

Received: 05.06.2026
Revised: 10.08.2026
Published: 21.10.2026

Artykuł wpłynął do redakcji: 05.06.2026 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 10.08.2026 r.
Opublikowano: 21.10.2026 r.

Literature

[1] Fialko N, Zhelyh V, Shepitchak S, Shapoval V. Pashkevych. Energy-efficient use of infrared heaters in production rooms. Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. 2019; https://doi.org/10.17512/bozpe.2019.1.09.

[2] Spodyniuk N, Shelimanova O. Studying the parameters of indoor air in premises with infrared heaters. Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. 2020; https://doi.org/10.17512/bozpe.2020.1.13.

[3] Bakowski K. Sieci i instalacje gazowe. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne; 2002.

[4] Brown KJ, Farrelly R, O'shaughnessy SM, Robinson AJ. Energy efficiency of electrical infra-red heating elements. Applied Energy. 2015; https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.064.

[5] Dudkiewicz E, Fidorow N, Jezowiecki J. The influence of infrared heaters efficiency on the energy consumption cost. Rocznik Ochrona Środowiska; 2013.

[6] Shepitchak V, Zhelykh V, Spodyniuk N. The study of the intensity of infrared heating systems radiation. Building Physics in Theory and Practice. 2016.

[7] Zhelykh V, Ulewicz M, Spodyniuk N, Shapoval S, Shepitchak V. Analysis of the processes of heat exchange on infrared heater surface. Diagnostyka. 2016.

[8] Kowalczyk M. Ogrzewanie obiektów promiennikami podczerwieni. SOLAREN-BIS. Gdańsk; 1998.

[9] Kowalczyk M. Gazowe i elektryczne promienniki podczerwieni. Komfort, oszczędność, ekologia. ZNTC „Solaren". Gdańsk; 2004.

[10] Koczyk H. Ogrzewnictwo praktyczne: projektowanie, montaż, certyfikacja energetyczna, eksploatacja. SYSTHERM SERWIS. Poznań; 2009.

[11] https://www.ogrzewnictwo.pl/artykuly/urzadzenia-grzewcze/promienniki/budowa-i-dobor-promiennikow/budowa-promiennika-solart.

[12] Kowalczyk M. Promienniki podczerwieni. Ogrzewanie XXI wieku. SOLAREN-BIS. Gdańsk; 2000.

[13] Kowalczyk M. Nowoczesne systemy grzewcze. Promienniki podczerwieni. SOLAREN-BIS. Gdańsk; 2002.

[14] PN-T-05687:2002: Ochrona przed promieniowaniem optycznym – metoda pomiaru promieniowania widzialnego i podczerwonego na stanowiskach pracy

[15] DIN EN IEC 60675-3: 2020 Household electric direct-acting room heaters – Methods for measuring performance – Part 3: Additional provisions for the measurement of the radiation efficiency.

[16] Ploteau JP, Glouannec P, Noel H. Conception of thermoelectric flux meters for infrared radiation measurements in industrial furnaces. Applied Thermal Engineering, 2007; https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.05.010

[17] Wojtczak A. Praca magisterska: Analiza ekonomiczna ogrzewania kościoła elektrycznymi promiennikami podczerwieni. 2020. Praca nieopublikowana.

[18] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z 29 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku prac. Dz.U. nr 141, poz. 950.

[19] Dyrektywa 2006/25/WE w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (sztucznym promieniowaniem optycznym) (dziewiętnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG). Dz. U. UE L114/38.