

Determination of selected parameters of test apparatus with ceramic infrared heater

Stanovenie vybraných parametrov testovacej aparatury s keramickým infražiaričom

Martin Zachar^{1*}, Lucia Zacharová²

¹ Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, Department of Fire Protection, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovak Republic; email: zachar@tuzvo.sk

² National Forest Centre, FOREST EUROPE Liaison Unit Bratislava; email: lucia.ambrusova@foresteurope.org

* Corresponding author: zachar@tuzvo.sk

Original scientific paper

Received: October 20, 2020; Accepted: November 03, 2020; Published: December 31, 2020

Abstract

Recently, a large number of standardized and non-standardized methods are used to test materials and building constructions. We proposed a new method using which we were able to determine the course of temperatures and heat flux depending on the voltage (V) for a ceramic infrared heater FTE-1000W-230V (Ceramix Ltd.). The course of temperatures under the ceramic infrared heater corresponds to the temperature (100 ± 2 °C) at the heat flux of $15 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$, (120 ± 2 °C) at the heat flux of $20 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$, (135 ± 2 °C) at the heat flux of $25 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ and (160 ± 2 °C) at the heat flux of $30 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. The increase in heat flow values ($15, 20, 25$ a $30 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$) is expressed in a linear temperature increase. Based on determination of the selected parameters of the ceramic infrared heater (course of temperatures and heat flux), the heater can be used to determine the weight loss, the burning rate, the charred layer and the rate of charred layer formation.

Keywords: ceramic infrared heater, course of temperature, heat flux, materials testing

1 Introduction

Standardized test methods are used especially to demonstrate compliance with the requirements imposed on material or product by applicable legislation. Non-standardized test methods are used mainly in the field of science and research. However, it should be mentioned that a relatively large number of standardized test methods was developed originally as non-standardized methods in research laboratories [1]. In terms of classification of test methods, there is a breakdown to test methods for solid flammable materials or products, flammable liquids, flammable gases and flammable dust. Determination of the fire-technical characteristics of materials is a part of fire tests,

1 Úvod

Normalizované skúšobné metódy sa používajú predovšetkým na účely preukázania splnenia požiadaviek kladených na materiál alebo výrobok platnými právnymi predpismi. Nenormalizované skúšobné metódy nachádzajú uplatnenie predovšetkým v oblasti vedy a výskumu. Je však potrebné pripomenúť, že pomerne veľké množstvo normalizovaných skúšobných metód vzniklo pôvodne vo výskumných laboratóriách ako nenormalizované [1]. Z hľadiska klasifikácie skúšobných metód je možné uviesť členenie na skúšobné metódy pre pevné horľavé materiály alebo výrobky, horľavé kvapaliny, horľavé plyny a skúšobné metódy pre horľavé prachy.

which represent the key component used in the process of proposing measures aimed at ensuring fire safety of the environment. Progressive methods of fire testing used in the practice of fire engineering include analytical methods for determination of the fire-technical characteristics of materials, the knowledge of which are used in the field of safety practice, i.e. fire prevention, investigation of the fire causes and safety and health at work.

Most of the test methods use a flame or a radiant source of energy i.e. infrared heater as a source of thermal loading of the samples. An infrared heater is one whose primary function is that of transferring heat to a target via the emission of infrared radiation [2]. The scope of application for radiant heaters is vast depending on the technology used. In industry, radiant heaters are used in process heating, thermoforming, curing, drying and food processing applications, to name a few [3-5]. They are also used in comfort heating for domestic applications [6, 7] as well as in health and medical applications ranging from incubators to postoperative rewarming [8]. There exists very little available literature on the topic of characterization of electric infrared heaters, in particular those used in industrial (commercial) and domestic applications. Of those which are available, the radiant heat output has been characterized by the total output power which is derived from a 2-dimensional heat flux distribution measured in a plane parallel to the heater face [9, 10].

Bédard [9] has performed comprehensive study of infrared heater characterization. In this work, three types of experiments were performed: radiant heat flux mapping, radiant efficiency evaluation, transient behaviour characterization and spectral emission characterization.

We designed a test apparatus for the determination of selected fire-technical characteristics of building materials, which consist of several partial devices assembled into one unit as a newly designed test facility for the determination of selected fire-technical characteristics of materials. In order to know parameters of the heater, the source of the thermal loading of materials (ceramic infrared heater), it was necessary to determine the voltage values for the respective value of heat flux.

Stanovenie požiarotechnických charakteristík materiálov je súčasťou požiarnej skúšky, ktoré sú kľúčovou zložkou používanou v procese navrhovania opatrení zameraných na zaistenie požiarnej bezpečnosti prostredia. Medzi progresívne metódy požiarnej skúšobníctva používané v praxi požiarnej inžinierstva možno zaradiť analytické metódy na stanovenie požiarotechnických charakteristík materiálov, ktorých poznatky sa uplatňujú v oblasti bezpečnostnej praxe, t. j. oblasť požiarnej prevencie, oblasť zisťovania príčin vzniku požiarov a oblasť bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci.

Pri väčšine testovacích metód sa ako zdroj zaťaženia vzoriek používa plameň alebo sálavý zdroj energie, najčastejšie infračervený žiarič. Infračervený ohrievač je žiarič, ktorého primárnou funkciou je prenos tepla k cieľu prostredníctvom emisie infračerveného žiarenia [2]. Rozsah aplikácií pre infračervené ohrievače je veľmi rozsiahly v závislosti od použitých technológií. V priemysle sa infračervené ohrievače používajú pri procesnom ohreve, tvarovaní za tepla, vytvrzovaní, sušení a pri spracovaní potravín, aby sme uviedli aspoň niektoré [3-5]. Používajú sa tiež na komfortné vykurovanie a pre domáce aplikácie [6, 7], ako aj pre zdravotné a medicínske aplikácie od inkubátorov po pooperačné ohrievanie [8]. Existuje len veľmi literárnych zdrojov na tému charakterizácie elektrických infračervených ohrievačov, najmä tých, ktoré sa používajú v priemysle (pre komerčné aplikácie) a domáce aplikácie. Z tých, ktoré sú k dispozícii, bol sálavý tepelný výkon charakterizovaný ako celkovým výstupným výkonom, ktorý je odvodený z dvojrozmerného rozdelenia tepelného toku meraného v rovine rovnobežnej s plochou ohrievača [9, 10].

Bédard [9] vykonal komplexnú štúdiu charakterizácie infračerveného ohrievača. V tejto práci boli vykonané tri typy experimentov: mapovanie sálavého tepelného toku, hodnotenie účinnosti sálavého žiarenia, charakterizácia prechodného správania a charakterizácia spektrálnej emisie.

Nami navrhnutá testovacia aparátúra pre stanovenie vybraných požiarotechnických charakteristík stavebných materiálov pozostáva z viacerých čiastkových zariadení zostavených do jedného celku ako novonavrhnuté testovacie

The aim of the paper was to determine the course of temperatures under the ceramic infrared heater FTE-1000W-230V (Ceramicx Ltd.) depending on the heat flux of the ceramic infrared heater, which was used as the source of thermal loading in the newly designed test apparatus for assessment of selected fire-technical characteristics of materials. The respective values of heat flux 15, 20, 25 a 30 $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ correspond to the voltage values V, which had to be determined by calculation.

2 Material and Methods

The ceramic infrared heater is an effective robust infrared heater, which produces long-wave infrared radiation. It is used in cases ranging from heat forming, preheating to drying various coatings. Almost all materials to be heated or dried have a maximum absorption 3 – 10 μm . The ceramic infrared heater has been made taking into account this fact and that is the reason why it can be applied in several sectors of industrial process. The ceramic infrared heater is manufactured using special process, in which the resistant spiral coil is embedded into the ceramic body. This body is subsequently glazed to protect against moisture. The glaze protects also the infrared heater against atmospheric and corrosive influences. The ceramic element is thus optimised to maximum absorption characteristic. It works at a temperature of 300–750°C and produces a wavelength of 3 – 6 μm . The ceramic infrared heater has been designed to offer high efficiency 85% in properly designed systems [12].

Fig. 1 shows an installation of the ceramic infrared heater. The infrared heater is inserted into the aluminium-steel reflector as shown by arrow A. Then a steel spring is slide onto the holder of the ceramic infrared heater (arrow B). Finally, the infrared heater is fastened by steel fork (arrow C). This kind of fixation allows the infrared heater to expand and contract during heating and cooling of reflector. Steel spring and forks are supplied with each ceramic infrared heater (dimensions of the mounting hole – oval 40 mm × 14.5 mm) [12].

Supply voltage is 220/40 V, electrical connections of the infrared heater are terminated with pins, infrared heater is certified according to the CE standard. The power of the

zariadenie pre stanovenie vybraných požiarnotechnických charakteristík materiálov.

Z dôvodu poznania parametrov výhrevného telesa, zdroja pre tepelné zaťaženie materiálov (keramický infražiarič) bolo potrebné stanoviť hodnoty napätia pre príslušnú hodnotu tepelného toku.

Cieľom príspevku bolo stanovenie priebehu teplôt pod keramickým infražiaričom FTE-1000W-230V (Ceramicx Ltd.) v závislosti od tepelného toku keramického infražiariča použitého ako zdroj zaťaženia v novonavrhnutej testovacej aparatúre pre hodnotenie vybraných požiarnotechnických charakteristík materiálov. Príslušným hodnotám tepelného toku 15, 20, 25 a 30 $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$, zodpovedajú príslušné hodnoty napätia V, ktoré bolo potrebné stanoviť výpočtom.

2 Materiál a metódy

Keramický infražiarič je účinný robustný infražiarič, ktorý vyrába dlhovlnné infračervené žiarenie. Používa sa v aplikáciách v rozsahu od tepelného formovania cez predhrievanie až po vysušanie rôznych náterov. Takmer všetky materiály, ktoré majú byť vyhrievané alebo sušené majú max. absorpciu v oblasti 3 – 10 μm . Keramický infražiarič bol vyrobený s ohľadom na túto skutočnosť a to je dôvod, prečo môže byť aplikovaný v rôznych odvetviach priemyselného procesu. Keramický infražiarič je vyrábaný pomocou špeciálneho procesu, pri ktorom je odporová špirála zaliata do keramického tela. Toto telo je následne glazované ako ochrana proti vniknutiu vlhkosti. Glazúra tiež chráni infražiarič pred atmosférickým a korozívnym vplyvom. Týmto spôsobom je keramický element optimalizovaný na max. absorpčnú charakteristiku. Pracuje pri teplote od 300 – 750 °C a emituje vlnovú dĺžku 3 – 6 μm . Keramický infražiarič bol navrhnutý tak, aby poskytol vysokú účinnosť 85 % v správne navrhnutých systémoch [12].

Na Obr. 1 je zobrazená inštalácia keramického infražiariča. Infražiarič sa zasunie do reflektora z hliníkovanej oceli, ako ukazuje šípka A. Potom na keramický držiak infražiariča nasunieme oceľovú pružinu (šípka B). Nakoniec upevníme infražiarič oceľovou vidlicou (šípka C). Tento spôsob upevnenia umožňuje infražiariču rozpínať sa a zmršťovať

infrared heater is 1000 W, the average surface temperature 750 °C [11].

behom ohrievania a ochladzovania sa reflektoru. Oceľová pružina a vidlice sú dodávané s každým keramickým infražiarčom (rozmery otvoru pre montáž - ovál 40 mm × 14,5 mm) [12].

Napájacie napätie je 220/240 V, elektrické privody infražiarča sú ukončené kôličkami, infražiarč má certifikáciu podľa normy CE. Výkon keramického infražiarča je 1000 W, stredná povrchová teplota 750 °C [11].

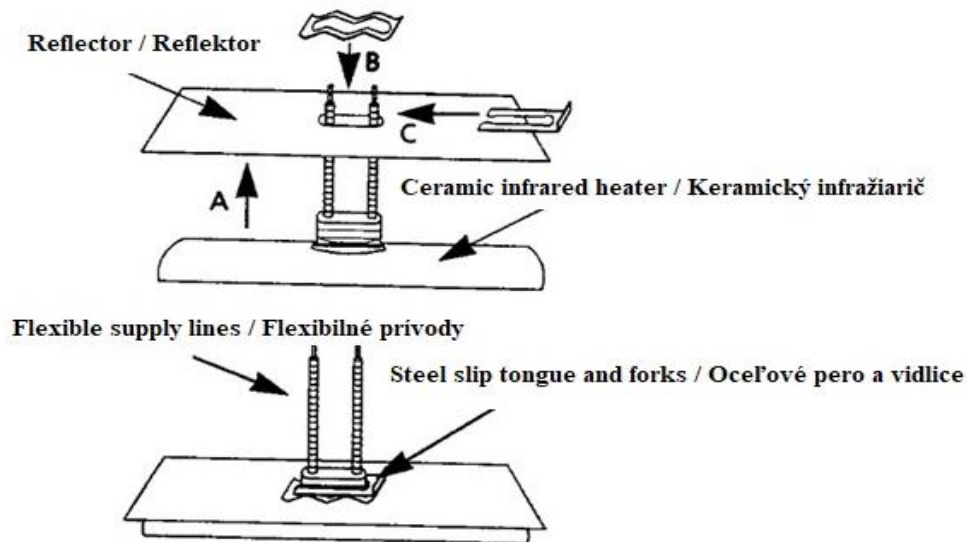


Fig. 1 Installation of a ceramic infrared heater [12]

Obr. 1 Inštalácia keramického infražiarča [12]

We used an element (solid rounded element) with dimensions 245 mm × 60 mm as a source of thermal loading of test samples in the designed test apparatus. An integral part of the infrared heater is its holder, to which it is fixed. The holder is made of steel treated with aluminium, i.e. steel sheet coated with aluminium, while achieving a high surface gloss. The use of aluminium for reflection minimizes heat loss, while the steel ensures high strength and stability of the entire holder. The reflector is intended for installation of ceramic infrared heater and is supplied together with a two-pole ceramic terminal block and 300 mm heat resistant lines. We use reflector R.A.S. 1 with dimensions of 100 mm × 62mm × 253 mm [12].

Použitý element typu (plný zaoblený element) s rozmermi 245 mm × 60 mm bol použitý ako zdroj zaťaženia skúšobných vzoriek v navrhutej testovacej aparátúre. Neoddeliteľnou súčasťou infražiarča je aj jeho držiak, ku ktorému je namontovaný. Držiak žiarča je z ocele upravenej hliníkom, t. j. oceľový plech potiahnutý hliníkom, pričom sa dosahuje vysokého povrchového lesku. Použitie hliníka pre reflexiu minimalizuje stratu tepla, pričom oceľ zaisťuje vysokú pevnosť a stálosť celého držiaka. Tento reflektor je určený pre montáž keramických infražiarčov a dodáva sa vrátane dvojpólovej keramickej svorkovnice a 300 mm teplotne odolných privodov. Nami použitý reflektor typu R.A.S. 1 o rozmeroch 100 mm × 62 mm × 253 mm [12].

In the experiment we used measuring apparatus designed by us (Fig. 2) which consist of ceramic infrared heater, precise digital scale, regulating device and device for measurement of the temperature using thermocouples.

Pri experimente bola použitá navrhnutá meracia aparátúra (Obr. 2), pozostávajúca z keramického infražiariča, presných digitálnych váh, regulačného zariadenia a zariadenia na meranie teploty pomocou termočlánkov.

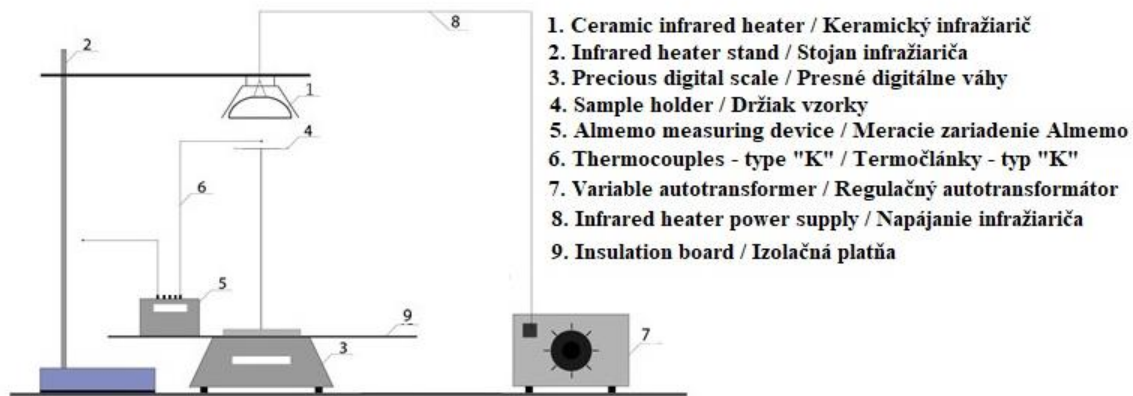


Fig. 2 Schematic illustration of apparatus for measurement the course of temperatures and heat flux of ceramic infrared heater

Obr. 2 Schematické znázornenie aparátúry pre meranie priebehu teplôt a tepelného toku keramického infražiariča

3 Results and Discussion

In order to achieve standard heat flux values, used by a number of laboratory equipment, it was necessary to determine a heat flux for ceramic infrared heater. The heat flux values correspond to the respective voltage value V . It was necessary to connect regulating autotransformer MERTEL HSN0203 to the apparatus in order to regulate and set the voltage precisely on the heater terminals. Based on the set voltage values at the output of the autotransformer and measured data of voltage (using digital multimeter UT71C) and heat flux (using a radiometer, which is a part of a conical calorimeter) we set the heat flux of the infrared heater. Based on the measured values of the heat flux we compiled a linear function graph with the equation of reliability $R^2 = 0,9926$ (see Fig. 3).

3 Výsledky a diskusia

Aby sme dosiahli štandardné hodnoty tepelného toku, ktoré využíva množstvo laboratórnych zariadení, bolo potrebné stanoviť tepelný tok pre keramický žiarič. Hodnotám tepelného toku zodpovedá príslušná hodnota napätia V . Na reguláciu a presné nastavenie napätia na vstupe, na svorkách žiariča, bolo potrebné do aparátúry zapojiť regulačný autotransformátor METREL HSN0203. Na základe nastavených hodnôt napätia na výstupe autotransformátora a nameraných údajov napätia (pomocou digitálneho multimetra UT71C) a tepelného toku (pomocou rádiometra, ktorý tvorí súčasť kónického kalorimetra) sme stanovili tepelný tok infražiariča. Na základe nameraných hodnôt tepelného toku bol zostavený graf s lineárnou funkciou s rovnicou spoľahlivosti $R^2 = 0,9926$, vid'. Obr. 3.

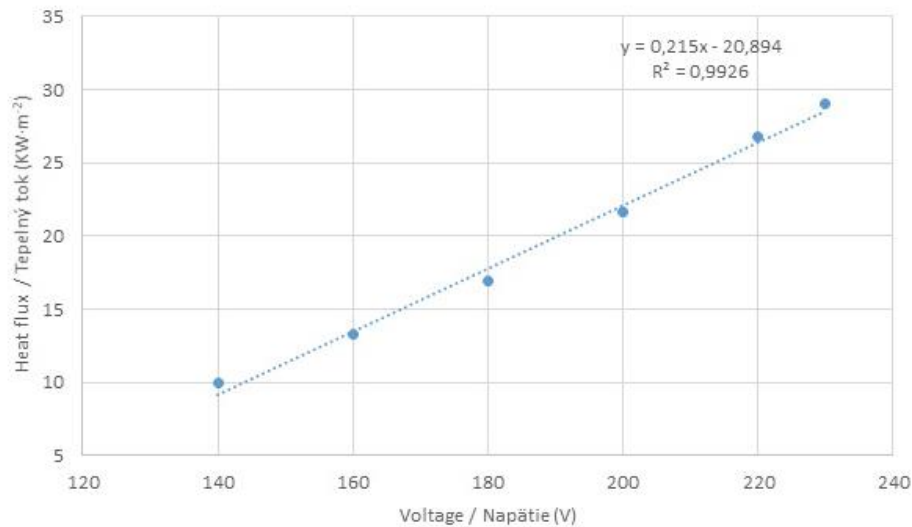


Fig. 3 Dependence of heat flux and voltage at the output of the autotransformer

Obr. 3 Závislosť tepelného toku a napätia na výstupe z auto-transformátora.

Based on the equation (1) we calculated the real voltage value required to achieve the prescribed heat flux which was set at 15, 20, 25 and 30 kW·m⁻².

Na základe vzťahu (1) bola vypočítaná skutočná hodnota napätia, potrebná k dosiahnutiu predpísaného tepelného toku, ktorý bol stanovený na 15, 20, 25 a 30 kW·m⁻².

$$y = \frac{x+20,894}{0,215} \quad (1)$$

Where: y – is voltage (V),

x – is heat flux (kW·m⁻²).

Tab. 1 shows resulting values of the voltage at the output of the autotransformer required to achieve the heat flux of 15, 20, 25 and 30 kW·m⁻².

Kde: y - je napätie (V),

x - je tepelný tok (kW·m⁻²).

Následne sú v (Tab. 1) uvedené výsledné hodnoty napätia na výstupe auto-transformátora, potrebné na dosiahnutie tepelného toku 15, 20, 25 a 30 kW·m⁻².

Tab. 1 Calculated values of voltage and heat flux of ceramic infrared heater.

Tab. 1 Vypočítané hodnoty napätia a tepelného toku keramického infražiariča.

Voltage (V) / Napätie (V)	Heat flux (kW·m ⁻²) / Tepelný tok (kW·m ⁻²)
166,95	15
171,60	16
176,25	17

Tab. 1 continue

Tab. 1 pokračovanie

Voltage (V) / Napätie (V)	Heat flux (kW·m ⁻²) / Tepelný tok (kW·m ⁻²)
180,90	18
185,55	19
190,20	20
194,86	21
199,51	22
204,16	23
208,81	24
213,46	25
218,11	26
222,76	27
227,41	28
232,07	29
236,72	30

Based on the measurement it was possible to determine the course of temperatures under the ceramic infrared heater for the respective heat flux of 15, 20, 25 and 30 kW·m⁻². The heat flux values correspond to the respective calculated voltage value V (Tab. 1). We used thermocouples “K” with the thickness of 0.5 mm to measure the temperatures under the infrared heater. Tolerance for “K” thermocouples (Omega Engineering, Inc.) range up to 1.1°C or 0.4% (depending on temperature). We used Data logger ALMEMO® 710 as the recording device. The thermocouple was placed at a distance of 30 mm

Priebeh teplôt pod infražiaričom pre príslušný tepelný tokoch 15, 20, 25 a 30 kW·m⁻², bolo možné stanoviť na základe meraní. Hodnotám tepelného toku zodpovedá príslušná vypočítaná hodnota napätia V (Tab. 1). Na meranie teploty pod keramickým infražiaričom boli použité termočlánky typu „K“ hrúbky 0,5 mm. Tolerancie pre termočlánky typu „K“ (Omega Engineering, Inc.) sa pohybujú v intervale do 1,1 °C alebo 0,4 % (v závislosti od teploty). Ako záznamové zariadenie sme použili Data logger ALMEMO® 710. Termočlánok bol umiestnený vo vzdialenosti 30 mm od povrchu

from the surface of the infrared heater. The measurement took place for 1920 sec since the thermocouple was placed under the ceramic infrared heater. To determine the average course of temperatures under the infrared heater, the measurement was conducted 10 times. The resulting values of the average course of temperatures under the ceramic infrared heater for the respective heat flux is shown on Fig. 4.

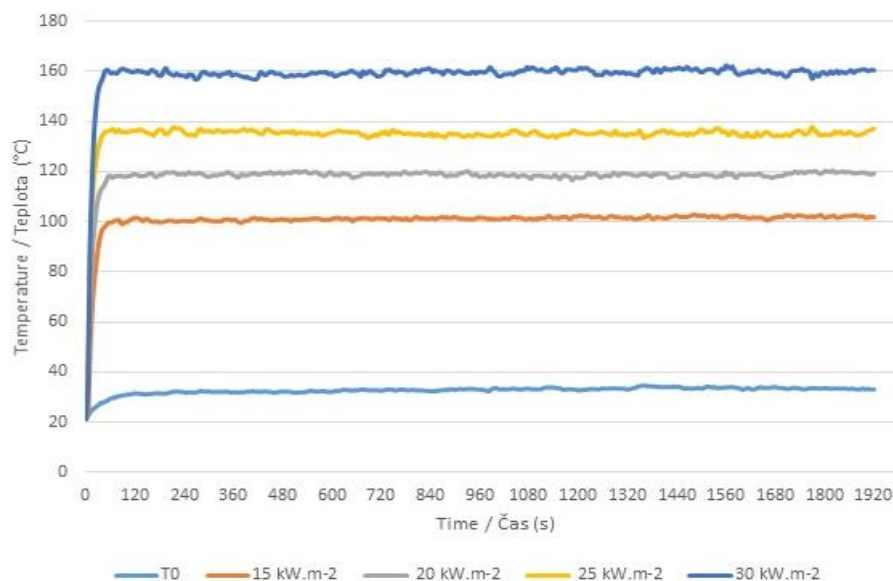


Fig. 4 Course of temperatures under the ceramic infrared heater for the respective heat flux

Obr. 4 Priebeh teplôt pod keramickým infražiaričom pre príslušný tepelný tok

Fig. 4 shows individual courses of temperatures until the achievement of the so called steady state of radiation where the lowest temperature values (100 ± 2 °C) were measured at the heat flux of $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, temperature values (120 ± 2 °C) were measured at the heat flux of $20 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, temperature values (135 ± 2 °C) were measured at the heat flux of $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, and temperature values (160 ± 2 °C) were measured at the heat flux of $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. The ambient temperature in the vicinity of the test apparatus was recorded as a control measurement. In this case temperature values (31 ± 2 °C) were measured.

Heat flow of infrared heaters measured using radiometer was carried out by Butturini and Ngo, 2005 [10], who mapped temperature fields of four commercially used infrared heaters with a power of 1000 V and 1500 V, at a distance of 2, 5 and 10 cm from the centre of the heater. They recorded the heat flow in an interval from

keramického infražiariča. Meranie prebiehalo po dobu 1920 s od vloženia termočlánku pod keramický infražiarič. Na stanovenie priemerného priebehu teplôt pod keramickým infražiaričom bolo meranie realizované 10 krát. Výsledné hodnoty priemerného priebehu teplôt pod keramickým infražiaričom pre príslušný tepelný tok môžeme vidieť na Obr. 4.

Na Obr. 4, môžeme vidieť jednotlivé priebehy teplôt až po dosiahnutie tzv. ustáleného stavu vyžarovania, kde najnižšie hodnoty teplôt (100 ± 2 °C) boli namerané pri tepelnom toku $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, pri tepelnom toku $20 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ boli namerané teploty (120 ± 2 °C). Pri tepelnom toku $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ boli namerané hodnoty teploty (135 ± 2 °C) a pri tepelnom toku $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ boli namerané teploty (160 ± 2 °C). Ako kontrolné meranie bola zaznamenávaná aj teplota prostredia v okolí skúšobnej aparatury, kde boli namerané hodnoty teploty (31 ± 2 °C).

Tepelný tok infražiaričov pomocou rádiometra merali aj Butturini a Ngo, 2005 [10], kde mapovali teplotné polia štyroch komerčne využívaných infražiaričov s výkonom 1000 V a 1500 V, vo vzdialenosti 2, 5 a 10 cm od stredu telesa žiariča. Kde zaznamenali tepelný tok v intervale od $1,1 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (vzdialenosť 10 cm od žiariča) až po $2,53 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (vzdialenosť 2 cm od žiariča).

1.1 W·cm⁻² (distance of 10 cm from the heater) to 2.53 W·cm⁻² (distance of 2 cm from the heater).

Brown et al. [13] created a spherical heat flow map of white FTE ceramic heater element operating with an electrical input power of 600 W, and then a 3D map of heat flow of ceramic heater. In their paper, they pointed out, that the heat flow decreases linearly with increasing distance where the power decreases from 47% at the distance 10cm to 15% at the distance of 50 cm from the infrared heater. Similar course can be seen also in our measurements (see Fig. 4), the temperature decreases with decreased values of heat flow.

Based on the determination of the basic parameters of the ceramic infrared heater (course of temperatures and heat flux), which correspond to the respective voltage values V, we can apply the ceramic infrared heater FTE-1000W-230V (Ceramicx Ltd.) in our designed laboratory equipment for measurement of the weight loss, the burning rate, the thickness of charred layer and the rate of charred layer formation. The mentioned fire-technical characteristics of materials are a part of fire tests, which are the key component used in the process of proposing measures aimed at ensuring fire safety of the environment.

Progressive methods of fire testing used in the practice of fire engineering include analytical methods for determination of the fire-technical characteristics of materials, the knowledge of which are used in the field of safety practice, i.e. fire prevention, investigation of the fire causes and safety and health at work.

The parameters of the temperatures course under the ceramic infrared heater are used by a number of authors in their papers. Chrebet et al. [14] dealt with the burning rate of spruce wood samples, who used an apparatus for the determination of flash point and spontaneous ignition temperature. Zachar [15], Zachar et al. [16] in their work state the course of the burning rate depending on the changing distance (30, 35, 40, 45 and 50 mm) of the test sample from the ceramic infrared heater. Kačíková a Makovická [17] determined the average burning rate of spruce wood under a ceramic infrared heater at a distance of 30mm from the heater surface. Also Mitterová, Garaj [18] and Mitterová,

Brown et al. [13] vytvoril sférickú mapu tepelného toku z bieleho FTE keramického prvku žiariča s výkonom 600 W, a 3D mapu tepelného toku keramického žiariča. Vo svojej práci ďalej poukazujú na to, že tepelný tok klesá lineárne so vzrastajúcou vzdialenosťou, kde pokles výkonu je zo 47 % pri vzdialenosti 10 cm na 15 % pri vzdialenosti 50 cm od infračerveného žiariča. Podobný priebeh môžeme vidieť aj pri našich meraniach (vid'. obr.4), s klesajúcimi hodnotami tepelného toku klesá aj teplota.

Na základe stanovenia základných parametrov keramického infražiariča (priebeh teploty a tepelný tok), ktoré zodpovedajú príslušným hodnotám napätia V môžeme uplatniť daný keramický infražiarič FTE-1000W-230V (Ceramicx Ltd.) v nami navrhnutom laboratórnom zariadení pre meranie hmotnostného úbytku, rýchlosti odhorievania, hrúbky zuhoľnatenej vrstvy a rýchlosti tvorby zuhoľnatenej vrstvy. Uvedené požiaro-technické charakteristiky materiálov sú súčasťou požiarnych skúšok, ktoré sú kľúčovou zložkou používanou v procese navrhovania opatrení zameraných na zaistenie požiarnej bezpečnosti prostredia.

Medzi progresívne metódy požiarneho skúšobníctva používané v praxi požiarneho inžinierstva možno zaradiť analytické metódy na stanovenie požiaro-technických charakteristík materiálov, ktorých poznatky sa uplatňujú v oblasti bezpečnostnej praxe, t. j. oblasť požiarnej prevencie, oblasť zisťovania príčin vzniku požiarov a oblasť bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci.

Stanovené parametre priebehu teploty pod keramickým infražiaričom vo svojich prácach využíva množstvo autorov. Rýchlosťou odhorievania vzoriek smrekového dreva sa vo svojej práci zaoberal aj Chrebet et al. [14]., kde použil aparáturu pre stanovenie teploty vzplanutia a vznietenia. Zachar [15], Zachar et al. [16] vo svojich prácach uvádza priebeh rýchlosti odhorievania počas merania v závislosti na meniacej sa vzdialenosti skúšobnej vzorky od keramického infražiariča (30, 35, 40, 45 a 50 mm). Kačíková a Makovická [17] stanovovali priemernú rýchlosť odhorievania smrekové dreva, pod keramickým infražiaričom, pri vzdialenosti 30 mm od povrchu žiariča. Taktiež Mitterová, Garaj [18]

Račko [19] in their papers describe the weight loss of fire-retardant-treated spruce wood and OSB boards loaded with a ceramic infrared heater with a power of 1000 W. Špilák et al. [20] determined the thickness of the charred layer of wooden beams of various shapes and cross-sections loaded with an infrared heater with a power of $50.5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ and a maximum temperature of 935°C . Standards STN EN 1995-1-2 (Eurocode 5) [21] and NFPA 921: 2017 [22] state that the burning rate, as one of the most important parameter of fire development, can be determined by laboratory methods, in which we know the heat flux of the load source of test samples, which was achieved with our measurement for the ceramic infrared heater FTE-1000W-230V (Ceramicx Ltd.).

4 Conclusions

Using our proposed method, we could determine the course of temperatures and the heat flux depending on the voltage V for the ceramic infrared heater FTE-1000W-230V (Ceramicx Ltd. Gortnagrough, Ireland). The voltage values V for the respective heat flux $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ were determined based on the linear function graph with the equation of reliability $R^2 = 0,9926$ and calculated based on the equation (1). The heat flux of $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ correspond to the voltage of 166.95 V, the heat flux of $20 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ correspond to the voltage of 190.20 V, the heat flux of $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ correspond to the voltage of 213.46 V and the heat flux of $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ correspond to the voltage of 236.72 V. The course of temperatures under the ceramic infrared heater correspond to the temperature of $(100 \pm 2^\circ\text{C})$ at the heat flux of $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, $(120 \pm 2^\circ\text{C})$ at the heat flux of $20 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, $(135 \pm 2^\circ\text{C})$ at the heat flux of $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ and $(160 \pm 2^\circ\text{C})$ at the heat flux of $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. The increase in heat flow values ($15, 20, 25$ a $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) is expressed in a linear temperature increase. Based on the determination of the basic parameters of the ceramic infrared heater (course of temperatures and heat flux), the ceramic infrared heater can be used to determine the weight loss, the burning rate, the thickness of the charred layer and the rate of charred layer formation.

a Mitterová, Račko [19] vo svojich prácach popisujú úbytok na hmotnosti retardačne upraveného smrekového dreva a OSB dosiek zaťažených keramickým žiaričom s výkonom 1000 W. Špilák et al. [20] stanovili hrúbku zuhoľnatej vrstvy drevených nosníkov rôzneho tvaru a prierezu zaťažených pomocou infražiariča s výkonom $50,5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ a maximálnou teplotou 935°C . V norme STN EN 1995-1-2 (Eurokód 5) [21] a v NFPA 921: 2017 [22] je uvedené že, rýchlosť zuhoľnatenia dreva, ako jeden z najdôležitejších parametrov rozvoja požiaru je možné stanoviť pomocou laboratórnych metód, pri ktorých poznáme tepelný tok zdroja zaťaženia skúšobných vzoriek, čo sa nám našimi meraniami podarilo dosiahnuť pre keramický infražiarič FTE-1000W-230V (Ceramicx Ltd.).

4 Záver

Pomocou nami navrhutej metódy sa nám podarilo stanoviť priebeh teplôt a tepelný tok v závislosti od napätia V pre keramický infražiaričom FTE-1000W-230V (Ceramicx Ltd. Gortnagrough, Írsko). Hodnoty napätia V pre príslušný tepelný tok $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ boli stanovené na základe grafického priebehu (lineárna funkcia) s rovnicou spoľahlivosti $R^2 = 0,9926$ a vypočítané na základe rovnice (1). Tepelnému toku $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ zodpovedá napätie 166,95 V, tepelnému toku $20 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ zodpovedá napätie 190,20 V, tepelnému toku $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ zodpovedá napätie 213,46 V a tepelnému toku $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ zodpovedá napätie 236,72 V. Priebeh teplôt pod keramickým infražiaričom zodpovedá teplote $(100 \pm 2^\circ\text{C})$ pri tepelnom toku $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, $(120 \pm 2^\circ\text{C})$ pri tepelnom toku $20 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, $(135 \pm 2^\circ\text{C})$ pri tepelnom toku $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ a $(160 \pm 2^\circ\text{C})$ pri tepelnom toku $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Nárast hodnôt tepelného toku ($15, 20, 25$ a $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) sa prejavuje lineárnym nárastom teploty. Na základe stanovenia základných parametrov keramického infražiariča (priebeh teploty a tepelný tok), môže byť keramický infražiarič použitý pri stanovení hmotnostného úbytku, rýchlosti odhorievania, hrúbky zuhoľnatej vrstvy a rýchlosti tvorby zuhoľnatej vrstvy.

Acknowledgments

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract no. APVV-17-0005 (%) and by VEGA 1/0493/18 (50 %).

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-17-0005 (50 %) a agentúrou VEGA, č. projektu 1/0493/18 (50 %).

References / Literatúra

- [1] Martinka, J., Balog, K. 2014. Požiarne inžinierstvo - Fire engineering. Trnava: AlumniPress, 201 s.
- [2] Butturini R, Ngo M. 2008. Flux Mapping of Radiant Electric Heaters: Repeatability Considerations. U.S. Consumer Product Safety Commission.
- [3] Leonardi SA, Viskanta R, Gore JP. 2003. Radiation and thermal performance measurements of a metal fiber burner. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 73. 491-501. 10.1016/S0022-4073(01)00201-1
- [4] Schmidt FM, Le Maout Y, Monteix S. Modelling of infrared heating of thermoplastic sheet used in thermoforming process. *Journal of Materials Processing Technology*. 143. 225-231. 10.1016/S0924-0136(03)00291-7
- [5] Bahadori A, Vuthaluru HB. 2010. Novel predictive tools for design of radiant and convective sections of direct fired heaters. *Applied Energy*. Volume 87, Issue 7, 2010, Pages 2194-2202, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.11.028>
- [6] Laouadi A. 2004. Development of a radiant heating and cooling model for building energy simulation software. *Building and Environment*. 39. 421-431. 10.1016/j.buildenv.2003.09.016
- [7] Bojić M, Cvetković D, Bojić L. 2015. Decreasing energy use and influence to environment by radiant panel heating using different energy sources. *Applied Energy*. Volume 138, 2015, Pages 404-413, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.063>
- [8] Weyland W, Weyland A, Hellige G, Fritz U, Neumann H, Martens S, et al. 1994. Efficiency of a new radiant heater for postoperative rewarming. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 1994 Aug;38(6):601-6. doi: 10.1111/j.1399-6576.1994.tb03959.x. PMID: 7976152
- [9] Bédard N. 1998. Laboratory testing of radiant gas burners and electric infrared emitters. *Experimental Heat Transfer*. 11:3, 255-279, DOI: 10.1080/0891615980894656
- [10] Butturini R, Ngo M. 2005. Radiant electric heater flux mapping. *Product Safety Engineering*, 2005 IEEE Symposium on. p. 23-31.
- [11] Ceramicx Heating Solutions [online]. [cit. 2020-10-13]. Dostupné na internete: <https://www.ceramicx.com/products/ceramic-elements/trough-elements/full-trough-element/>
- [12] Hotset: Prehľad keramických a Quartz infražiarivých [online]. [cit. 2020-10-13]. Dostupné na internete: <http://www.hotset.sk/pdf/Keramicke-infraziarice.pdf>
- [13] K.J. Brown, R. Farrelly, S.M. O'Shaughnessy, A.J. Robinson. 2016. Energy efficiency of electrical infrared heating elements. *Applied Energy*, Volume 162, 2016, Pages 581-588, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.064>
- [14] Chrebet, T., Arvajová, Z., Martinka, J., Balog, K., 2011. Sledovanie teploty vzplanutia a úbytku hmotnosti v teplovzdušnej elektricky vyhrievanej peci = Monitoring of flash point temperature and

weight loss in a hot air electrically heated oven. In POŽÁRNÍ OCHRANA 2011, Sborník přednášek XX. Ročníku konference. Ostrava. VŠB – TU Ostrava. 2011. s 89 – 91. ISBN: 978-80-7385-102-6

[15] Zachar, M. 2009. Vplyv ohrevu na termickú degradáciu vybraných druhov dreva = Effect of heating on thermal degradation of selected timber species Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. - 102 s. (Vedecké štúdie). ISBN 978-80-228-2060-8

[16] Zachar, M., Mitterová, I., Xu, Q., Majlingová, A., Cong, J., Galla, Š. 2012. Determination of fire and burning properties of spruce wood. In Drvna industrija: znanstveno stručni časopis za pitanja drvne tehnologije. - ISSN 0012-6772. - Vol. 63, broj 3 (2012), s. 217-223.

[17] Kačíkova, D., Makovická – Osvaldová, L. 2009. Wood burning rate of various tree parts from selected softwoods. Acta Fac Xylogologiae. 2009;51:27–32.

[18] Mitterová, I., Garaj, J. 2019. The Effect of the Retardation Treatment on the Mass Loss of the Thermally Loaded Spruce Wood and OSB Board. Scientific Journal FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal 13(2):51–55, 2019 DOI: 10.17423/delta.2019.13.2.68 80

[19] Mitterová, I., Račko, R. 2019. Change in mass loss of thermally loaded spruce wood due to its flame retardant treatment. Scientific Journal FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal 13(1): 80–91, 2019 DOI: 10.17423/delta.2019.13.1.60 80

[20] Špilák, D., Tereňová, E., Dúbravská, K., Majlingová, A. 2018. Analysis of Carbonized Layer of Wood Beams with Different Geometric Cross-Section Shape Scientific Journal FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal 12(2): 65–81, 2018 DOI: 10.17423/delta.2018.12.2.53

[21] STN EN 1995-1-2 (Eurokód 5) – Navrhovanie drevených konštrukcií (všeobecné pravidlá a navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru) = Design of timber structures (general rules and rules for design of structures for effects of fires

[22] NFPA 921:2017. Guide for fire and explosion investigations. Quincy: National Fire Protection Association; 2017.