PRINCÍP ČINNOSTI KÓNICKÉHO KALORIMETRA A MOŽNOSTI POUŽITIA RÝCHLOSTI UVOĽŇOVANIA TEPLA AKO HLAVNÉHO PARAMETRA SKÚŠKY

Jana Müllerová[1], Juraj Vácval[2]

ABSTRAKT
Príspevok sa zaoberá kónickým kalorimetrom ako skúšobným zariadením, v ktorom sa vzorky materiálov zaťažujú konštantným tepelným tokom. Uvádza princíp určovania hlavného parametra, ktorou je rýchlosť uvoľňovania tepla, popisujúca intenzitu horenia materiálu. Príspevok uvádza možnosti akými možno pracovať s rýchlosťou uvoľňovania tepla s cieľom charakterizovať vlastnosti a správanie materiálu, ktorý je zaťažený tepelným tokom.

Kľúčové slová: kónický kalorimeter, rýchlosť uvoľňovania tepla

ABSTRACT
The paper deals with a cone calorimeter as a test device in which the samples of material is tested by constant heat flux. It states the principle of determining the major parameter, which is a heat release rate, describing the intensity of material burning. The paper presents possibilities of working with a heat release rate to characterize the properties and behavior of the material which is tested by a heat flux.

Key words: cone calorimeter, heat release rate

1 ÚVOD

V roku 1917 anglický vedec William Thornton zistil, že dokonalým spálením organických kvapalín sa uvoľní vždy približne konštantné množstvo tepla, pripadajúce na jednotkové množstvo kyslíka. Neskôr Clayton Huggett prišiel na to, že rovnaká zákonitosť platí aj v prípade väčšiny tuhých organických látok. Pri spotrebe jedného kilogramu kyslíka sa z látky v procese horenia uvoľní teplo o hodnote približne $13{,}1.10^3$ kJ. Tento vzťah bol nazvaný princíp spotreby kyslíka a na základe neho

[1] Jana Müllerová, doc. Ing. PhD., Ul. 1.mája 32, 010 26 Žilina, jana.mullerova@fbi.uniza.sk
[2] Juraj Vácval, Ing., Ul. 1.mája 32, 010 26 Žilina, juraj.vacval@fbi.uniza.sk

v roku 1982 Vytenis Babrauskas vyvinul nové skúšobné zariadenie. Tento prístroj bol podľa kužeľovitého tvaru výhrevného telesa nazvaný kónický kalorimeter. Využitie princípu spotreby kyslíka a zostrojenie kónického kalorimetra znamenalo v oblasti skúšok materiálov významný pokrok. Od roku 1982 prešiel kónický kalorimeter mnohými zmenami a vylepšeniami, ktoré rozšírili jeho možnosti a v dnešnej dobe predstavuje jedno z najkomplexnejších zariadení, aké možno v oblasti požiarneho skúšobníctva na testovanie materiálov použiť. Základný princíp určovania intenzity horenia ale zostal nezmenený. Tento článok rieši práve základný princíp fungovania, teda určovanie rýchlosti uvoľňovania tepla materiálu a možnosti práce s týmto parametrom pri vyhodnocovaní vlastností materiálu v podmienkach pôsobenia tepla.

2 KÓNICKÝ KALORIMETER AKO SKÚŠOBNÉ ZARIADENIE

Kónický kalorimeter je prístroj určený na malorozmerové modelové skúšky. Jeho názov je odvodený od kužeľovitého tvaru výhrevného telesa, ktoré sa používa ako zdroj sálavého tepla. Pomocou kónického kalorimetra možno stanoviť množstvo požiarnotechnických charakteristík, ktoré sa merajú na malých reprezentatívnych vzorkách skúšaných materiálov s rozmermi 100 x 100 mm s maximálnou hrúbkou do 50 mm [1].

Spektrum parametrov meraných pomocou kalorimetra je veľmi široké a dá sa povedať, že aj rôznorodé. Dôvodom je, čo možno najpresnejšie zistiť ako sa skúšaný výrobok (materiál) správa v podmienkach tepelného zaťaženia a ako môže prispievať k vývoju prípadného požiaru. Aj z tohto dôvodu je kónický kalorimeter ako skúšobné zariadenie pomerne komplikovaný, hoci princíp určovania hlavného parametra, rýchlosti uvoľňovania tepla je vo svojej podstate jednoduchý.

2.1 PRINCÍP MERANIA

Ako už bolo spomínané v úvode, fungovanie kónického kalorimetra je založené na princípe spotreby kyslíka. Tento princíp vychádza z pozorovania, že vo všeobecnosti je množstvo uvoľneného tepla priamo úmerné množstvu kyslíka, ktorý je potrebný na horenie. Horením dochádza k uvoľňovaniu približne $13{,}1.10^3$ kJ tepla pripadajúceho na jeden kilogram kyslíka, spotrebovaného pri horení. Táto hodnota platí s presnosťou ± 5 %. Na základe tohto poznatku je možné určiť dôležitú veličinu, popisujúcu intenzitu požiaru – rýchlosť uvoľňovania tepla, ktorú možno vyjadriť vzťahom [2]:

$$\dot{q} = \frac{\Delta h_c}{r_0}(\dot{m}_{O_2\infty} - \dot{m}_{O_2}), \text{ kde je} \tag{1}$$

$\dot{q}$ *rýchlosť uvoľňovania tepla [kW],*
$\dot{m}_{O_2\infty}$ *hmotnostný tok kyslíka, ktorý vstupuje do systému [kg.s^{-1}],*
$\dot{m}_{O_2}$ *hmotnostný tok kyslíka, ktorý vystupuje zo systému [kg.s^{-1}],*
$\Delta h_c/r_0$ *hodnota 13,1 definovaná ako pomer výhrevnosti [kJ.kg^{-1}] a stechiometrického koeficientu.*

Uvedená rovnica popisuje princíp merania, avšak k presnému výpočtu sú potrebné ďalšie údaje a hodnoty. Základné vzťahy a výpočty sú preto spolu s celým postupom merania na kónickom kalorimetri zhrnuté v norme ISO 5660-1 [3].

Ďalšia kapitola ďalej rozoberá možné spôsoby akými možno s rýchlosťou uvoľňovania tepla ako hlavným parametrom skúšky pri charakterizácií vlastností testovaného materiálu pracovať.

3 RÝCHLOSŤ UVOĽŇOVANIA TEPLA AKO HLAVNÝ PARAMETER SKÚŠKY

Ako už bolo uvedené vyššie, rýchlosť uvoľňovania tepla predstavuje základný parameter, ktorý možno na kónickom kalorimetri sledovať. Predstavuje parameter, ktorý popisuje intenzitu horenia vzorky testovaného materiálu. Sledovanie intenzity horenia predstavuje jeden zo spôsobov, akým možno pozorovať správanie materiálu v podmienkach pôsobenia tepla. Jej popisom je potom možné získať prehľad o vlastnostiach materiálu, ktorý je zaťažovaný tepelným tokom. Na spracovanie takéhoto popisu možno použiť rôzne veľké spektrum údajov, ktoré definuje rôzne možnosti použitia rýchlosti uvoľňovania tepla ako hlavného parametra skúšky.

3.1 MOŽNOSTI POUŽITIA RÝCHLOSTI UVOĽŇOVANIA TEPLA

V rámci nastavenia parametrov merania je možné navoliť v akých intervaloch bude kalorimeter vyhodnocovať údaje o rýchlosti uvoľňovania tepla. Táto možnosť je z hľadiska rôznorodosti testovaných materiálov a spektra voľby tepelného zaťaženia (vzorky možno zaťažovať tepelným tokom do 100 $kW.m^{-2}$) dôležitá. Pri materiáloch, ktoré horia pomerne rýchlo alebo ak je pri skúške navolený vysoký tepelný tok, je pre dostatočnú charakterizáciu potrebné zozbierať dostatok údajov v relatívne krátkom čase, v takýchto prípadoch sa teda volí jednosekundový interval. Pri testovaní materiálov, ktoré horia dlhšie sa volí zväčša päťsekundový interval. Kratší interval sa pri dlho horiacich materiáloch používa pokiaľ je záujem podrobne analyzovať priebeh horenia alebo namerané súbory údajov majú byť použité na ďalšie analýzy. Uvedené intervaly predstavujú len najčastejšie používané, nejde o pevne stanovené hodnoty.

Z nameraných hodnôt potom kalorimeter resp. príslušná výpočtová technika určuje konečné výsledky rýchlosti uvoľňovania tepla. Na základné sledovanie a porovnávanie materiálov sa v protokole o skúške uvádzajú tieto formy rýchlosti uvoľňovania tepla:

- *maximálna rýchlosť uvoľňovania tepla,*
- *priemerná rýchlosti uvoľňovania tepla počas prvých 180 sekúnd skúšky,*
- *priemerná rýchlosť uvoľňovania tepla počas prvých 300 sekúnd skúšky,*
- *priemerná rýchlosť uvoľňovania tepla v priebehu celej skúšky.*

Uvedené formy predstavujú jednoduchý spôsob akým možno porovnávať výsledky zo skúšok rôznych materiálov a vzájomne hodnotiť ich intenzitu horenia v podmienkach pôsobenia tepla. Pomocou maximálnej rýchlosti uvoľňovania tepla možno zaradiť materiál do skupín materiálov s podobnými reakciami na pôsobiaci

tepelný tok. Rovnako tiež možno pomocou nej sledovať ako materiál reaguje na zvyšovanie tepelného zaťaženia v prípade testovania vzoriek materiálu pri viacerých úrovniach tepelného toku. Priemerné rýchlosti potom umožňujú podobné zatriedenie, pričom počas prvých 180 a 300 sekúnd skúšky je správanie materiálu zväčša najzaujímavejšie a z hľadiska nameraných hodnôt najintenzívnejšie.

Pokiaľ je predmetom záujmu vykonaných meraní podrobná analýza správania materiálu je možné použiť všetky hodnoty rýchlostí uvoľňovania tepla, ktoré boli merané v jednotlivých stanovených intervaloch. Z týchto hodnôt sa najčastejšie vypracováva graf závislosti intenzity horenia od času, na ktorom možno názorne vidieť celý priebeh horenia materiálu a identifikovať významné miesta skúšky. Na základe jeho zloženia a ďalších informácií je potom možné popísať reakcie tohto materiálu na pôsobiaci tepelný tok. Pri testovaní jedného materiálu pri viacerých hodnotách tepelného toku je vhodné vložiť do jedného grafu dve (alebo viac) kriviek , pomocou ktorých možno sledovať reakcie testovaného materiálu na meniace sa tepelné podmienky. Druhým spôsobom akým sa najčastejšie využíva celý súbor údajov je na tvorbu korelačných analýz napríklad so súborom údajov iného parametra prípadne súborom rýchlosti uvoľňovania tepla iného materiálu.

4 ZÁVER

Cieľom článku bolo predstaviť kónický kalorimeter ako skúšobné zariadenie, pracujúce na princípe spotreby kyslíka. Výsledky zo skúšok rôznych materiálov ukazujú pomerne dobrú presnosť kónického kalorimetra, ktorý umožňuje určiť množstvo parametrov o testovaných materiáloch. Základným a najvýznamnejším parametrom popisujúcim horenie materiálu je rýchlosť uvoľňovania tepla. V závislosti od ďalšieho použitia výsledkov je možné údaje o tomto parametre spracovať vo forme priemerných hodnôt, ktoré môžu byť základom pre porovnávanie testovaných materiálov. Druhým spôsobom je použitie celého súboru nameraných hodnôt na vytvorenie grafu vývoja intenzity horenia počas skúšky materiálu. Tento spôsob prináša široké možnosti na identifikovanie významných miest skúšky a na odvodenie vlastností materiálu na základe jeho správania v jednotlivých etapách horenia.

LITERATÚRA

[1] KRAJČOVIČOVÁ, J. 2009. Kónický kalorimeter na stanovenie požiarno-technických vlastností stavebných výrobkov. In *Spravodajca - Protipožiarna ochrana a záchranná služba*. ISSN 1335-9975. 2009, roč. 39, č. 2, s. 18-19.

[2] GREXA, O., LÜBKE, H. 2001. Použitie kónického kalorimetra z hľadiska nových predpisov požiarnej ochrany. In *FIRECO 2001 - Požiarna ochrana. IV. medzinárodná konferencia: Zborník prednášok.* Bratislava: PTEÚ MV SR, 2001. ISBN 80-89051-01-4, s. 125-130.

[3] *ISO 5660-1: 2002, Reaction to fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method).*

Článok recenzovali dvaja nezávislí recenzenti.