

## HUSTOTA- FYZIKÁLNA VELIČINA OVPLYVŇUJÚCA VÝSLEDKY TESTOV POŽIARNEHO SKÚŠOBNÍCTVA

ANTON OSVALD<sup>1</sup>

**Abstract** — *Test methods evaluating wood flame retardant efficiency are comprised of a parameter which is often considered to be an evaluation criterion and its calculation includes the weight of the test specimen or takes into account the change of its weight during the test. In this case, the overall result may be affected not only by the weight of the test specimens, but also by their density.*

**Keywords** — *wood combustion, wood flame retardation, tests of fire retardant efficiency*

**Abstrakt** — *Pri testovacích metódach, ktoré hodnotia retardačný účinok retardérov horenia dreva je často hodnotiacim kritériom parameter, ktorý vo svojich výpočtoch zahrňuje aj hmotnosť skúšobného telesa, alebo počíta aj zmenou jeho hmotnosti počas testu. V takomto prípade celkový výsledok môže ovplyvniť nie len samotná hmotnosť skúšobných telies, ale aj ich hustota.*

**Kľúčové slová** — *horenie dreva, retardácia horenia dreva, testovanie účinnosti retardérov horenia dreva*

### 1. ÚVOD

Archimedes sa považuje za objaviteľa hustoty. Vo fyzike nazývame telesom určitý objem  $V$ , v ktorom je nejakým spôsobom rozložená hmotnosť  $m$ , či už spojite alebo nespojite. Matematicko - fyzikálne úvahy nám dovoľujú zaviesť pojem hustoty telesa v danom bode ako limitu [1] (rovnica 1), rovnako ju však môžeme definovať pomocou celkovej hmotnosti telesa  $m$  integrálnym vzťahom [1] (rovnica 2).

$$\rho(x, y, z) = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad (1)$$

$$m = \int \rho(x, y, z) \Delta V \quad (2)$$

kde v rovniciach (1) a (2):

$m$  — hmotnosť (kg)  
 $V$  — objem (m<sup>3</sup>)  
 $x, y, z$  — súradnice  
 $\rho$  — hustota (kg/m<sup>3</sup>)

Uvedené matematické zápisy platia pre všetky materiály. Hustotu považujeme za najdôležitejšiu fyzikálnu charakteristiku dreva. Pri dreve prírodnom heterogénnom materiáli čo sa týka chemického zloženia a ostatných vlastností, boli zavedené aj ďalšie pojmy, ktoré sa týkajú jeho hustoty. Hustota dreva závisí aj od chemického zloženia dreva, jeho anatomickej stavby, polohy v kmeni, stanovištných, klimatických, geografických ako aj pestovateľských podmienok, ako aj samotného druhu dreviny. Drevo je materiál, ktorý obsahuje vodu. Sú zavedené pojmy, hustota dreva pre vlhkostné stavy: hustota dreva v suchom stave ( $w = 0\%$ ), hustota dreva pri vlhkosti 12%, hustota dreva vlhkého ( $w > 0\%$ ) [2]. Pre potreby praxe boli zavedené pojmy redukovaná hustota, konvenčná hustota a iné. Problematikou hustoty samotných drevín sa venuje viac autorov [3].

Táto fyzikálna vlastnosť ovplyvňuje všetky technologické procesy, od nákupu dreva, jeho sušenie [2], výrobu veľkoplošných materiálov a kompozitov [4], ako aj iných výrobkov z dreva [5], jeho impregnáciu [6]. Ovpľvňuje aj mechanické vlastnosti [7], [8], tým má priamy dopad aj na výrobu komponentov a dielcov pre drevostavby.

Problematika hustoty dreva vstupuje aj do iných činností, ktoré sú spojené s hodnotením dreva, jeho vlastností, ktoré hustota ovplyvňuje [9], [8]. Je to aj pri hodnotení požiarnotechnických vlastností a retardačných úprav. Bez ohľadu na to akú metodiku hodnotenia použijeme (či staré klasické testovacie metódy, alebo kónický kalorimeter) ak sa ako hodnotiace kritérium použije zmena hmotnosti, alebo aj tepelných vlastností, hustota môže ovplyvniť výslednú hodnotu merania.

Takmer vo všetkých metodických pokynoch pri testovacích metódach sú stanovené parametre vlhkosti dreva, podmienky klimatizácie, hodnoty hrúbky či kvality opracovania, hodnoty hustoty (aspoň v limitných hodnotách) chýbajú. Uvedený článok si kladie za cieľ zistiť vplyv hustoty skúšobných telies zo smrekového dreva na výsledné hodnoty experimentov.

<sup>1</sup> Anton Osvald, prof. Ing. CSc., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra požiarneho inžinierstva, Ul. 1. mája 32, 010 26 Žilina, anton.osvald@fbi.uniza.sk

## 2. EXPERIMENT

### 2.1 Materiál

Smrek obyčajný (*Picea abies* (L) Karst.) - je druhá najrozšírenejšia drevina na Slovensku, pričom je hospodársky najvýznamnejšia. Drevo smreka je nažltlé až žltohnedé, lesklé, bez jadrového sfarbenia, veľmi svetlé, je ľahké, mäkké, pružné, dobre štiepatelné, dobre sa morí a horšie impregnuje [10]. Vyznačuje sa súmernými a úzkymi ročnými kruhmi (1 až 4 mm) s podielom letného dreva v ročnom kruhu v rozpätí 5 až 20 %. Z dreva tejto dreviny boli vyrobené skúšobné telieska, ktoré boli vytriedené podľa hustoty. Zo 450 ks teliesok bolo vytriedených 60 ks do troch skupín hustoty.

|                         |                                 |
|-------------------------|---------------------------------|
| nízka hodnota hustoty   | (N) $369 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ |
| stredná hodnota hustoty | (S) $445 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ |
| vysoká hodnota hustoty  | (V) $577 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ |

### 2.2 Tepelné zaťažovanie

Princíp tepelného zaťažovania bol zvolený z klasickej testovacej metódy, ktorej hlavným hodnotiacim kritériom je úbytok na hmotnosti. Jednalo sa o pôsobenie plynového horáku na skúšobné telieska o rozmeroch  $200 \times 100 \times 10 \text{ mm}$  (10 mm hrúbka skúšobných teliesok). Plameň pôsobil 10 min. v strede skúšobného telieska, ktoré zvieralo s vodorovnou rovinou uhol  $45^\circ$ . Kolmá vzdialenosť stredu vzorky a ústia horáku bola 90 mm, výška plameňa bola nastavená na 100 mm. Hodnotiacim kritériom v tomto prípade nebol úbytok na hmotnosti ale rýchlosť odhorievania, ktorú umožňovalo zdokonalené meracie zariadenie prepojenie váh s počítačom a sledovanie kontinuálneho úbytku na hmotnosti (pozri obr. 1).



Obr. 1.: Schéma klasickej testovacej metódy

1-plyn propán-bután, 2-hadica, 3-držiak kahana, 4-kahan, 5-držiak vzorky, 6-váhy, 7-prepojenie váh s počítačom, 8- počítač

Druhým spôsobom tepelného zaťaženia, bolo zatiaľ da sa povedať najdokonalejšie zariadenie kónický kalorimeter. Jeho hodnotiacim kritériom je tiež zmena hmotnosti od ktorej sa potom odvodené ďalšie hodnotiace kritériá. Fotografia kónického kalorimetra (bez ďalšieho popisu nakoľko je to štandardné zariadenie) je na obr. 2.



Obr. 2.: Kónický kalorimeter

### 2.3 Hodnotiace kritériá

Hodnotiacim kritériom bola relatívna rýchlosť odhorievania, ktorú sme určili podľa vzťahov (3) (4):

$$v_r = \left| \frac{\partial \delta_m}{\partial \tau} \right| \quad (\%/s) \quad (3)$$

alebo numericky

$$v_r = \frac{|\delta_m(\tau) - \delta_m(\tau + \Delta\tau)|}{\Delta\tau} \quad (\%/s) \quad (4)$$

kde:

$v_r$  – relatívna rýchlosť odhorievania (%/s),

$\delta_m(\tau)$  – relatívny úbytok na hmotnosti v čase ( $\tau$ ) (%),

$\delta_m(\tau + \Delta\tau)$  – relatívny úbytok hmotnosti v čase ( $\tau + \Delta\tau$ ) (%),

$\Delta\tau$  – časový interval, v ktorom sa odčítavajú hmotnosti (s).

Kónickým kalorimetrom boli merané štandardné veličiny pre túto aparaturu:

kde:

(TOC) - celková spotreba kyslíka (total oxygen consumption)

(EHC) - účinné spaľovacie teplo (effective heat of combustion),

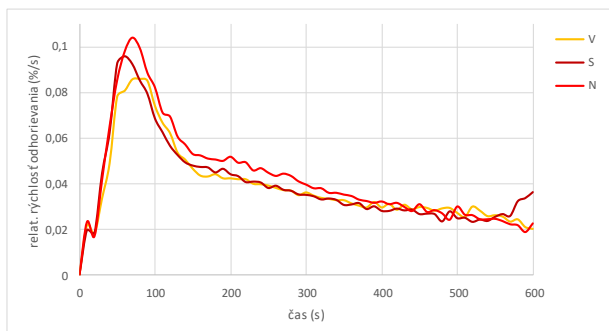
(HRR) - rýchlosť uvoľňovania tepla (heat release rate).

Výsledky, vzhľadom na rozsah článku prezentuje tabelárne a graficky v nasledujúcej kapitole.

## 3. VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Pri prvej metóde, nazvime ju „klasická“ vidieť z obr. 3, že zaznamenávame rozdiel vo veľkosti píkov v rýchlosti odhorievania v závislosti od hustoty. Rozdiel je zaznamenaný vo všetkých troch vybraných skupinách hustoty. Pri nízkej hustote (N) sme zaznamenali najvyššiu rýchlosť odhorievania  $0,1042 \text{ (%/s)}$  v 70 sekunde,

pri strednej hustote (S) to bola hodnota 0,0982 (%/s) v 65 sekunde, pri vysokej hodnote hustoty (V) sme zaznamenali najvyššiu rýchlosť odhorievania 0,0854 (%/s) až v 90 sekunde. Ďalší priebeh kriviek naznačuje podobný priebeh horenia, nakoľko sa jednalo o jednu drevinu, pričom nízka hustota si zachováva vyššie hodnoty rýchlosti odhorievania v celom priebehu merania.



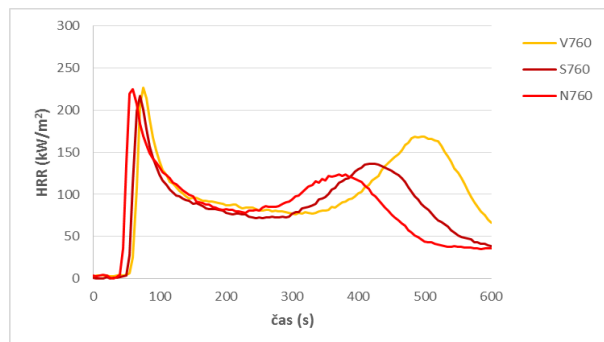
Obr. 3.: Priebeh rýchlosti odhorievania smrekového dreva podľa jeho hustoty

Pri meraní na kónickom kalorimetri sme tiež zaznamenali vplyv hustoty v rámci nami vybraných škál hustoty smrekového dreva.

Priebeh kriviek má iný charakter nakoľko išlo o iný spôsob tepelného zaťažovania. Ak v prvom prípade to bol plamenný zdroj v druhom, prípade pri kónickom kalorimetri to bol sálavý zdroj. Rovnako ostatné podmienky, ako aj veľkosť vzorky, čas expozície, otvorený a uzatvorený priestor, a iné, boli rozdielne. Nešlo o porovnanie tých dvoch testovacích metód, len o to či obe dokážu zaznamenať svojimi hodnotiacimi kritériami vplyv hustoty na merania. Sledované hodnoty na kónickom kalorimetri sú uvedené v tabuľke 1 a priebeh HRR pre jednotlivé hustoty je dokumentovaný na obr. 4. Aj keď vysoká hustota v prvom píku má len veľmi malý posuv, pri druhom píku, ktorý pri tomto meraní vzniká, je už jasne viditeľný vplyv hustoty na výsledky meraní.

Tabuľka 1.: Výsledné hodnoty pri meraní na kónickom kalorimetri

| Vzor-ka | EHC (MJ/kg) | TOC (g) | PEAK HRR (kW/m <sup>2</sup> ) |
|---------|-------------|---------|-------------------------------|
| V       | 15,35       | 41,6    | 227,03                        |
| S       | 14,42       | 31,7    | 234,93                        |
| N       | 13,34       | 30,1    | 224,24                        |



Obr. 4.: Priebeh HRR v závislosti od hustoty smrekového dreva

## ZÁVER

Záverom je možné konštatovať, že hustota drevených skúšobných telies má priamy vplyv na výsledky merania horenia dreva. Pritom nezáleží akú metódu použijeme, aký je tepelný zdroj, jeho druh či hodnota. Rovnako rozdielne podmienky tepelného zaťažovania zaznamenali rozdielne hodnoty hodnotiacich kritérií v závislosti od hustoty. V tomto experimente sme sledovali len tie hodnotiace kritériá, ktoré mali súvis s hmotnosťou, resp. s jej zmenou počas hodnotenia horenia dreva. Navyše ak nebude vykonaný kvalitný výber skúšobných teliesok podľa hustoty napr. pred náterom retardérom, resp. pre experimentom, môže nastať veľká variabilita dosiahnutých výsledkov v rámci skúmanej skupiny. Tým napr. pomocné štatistické kritériá môžu ovplyvniť celkové hodnotenie skúmaného retardéru, ak sa jeho účinnosť hodnotí podľa kritérií, ktoré sú založené na zmene hmotnosti. Je potrebné poznamenať, že hustota bude mať vplyv aj pri tých hodnotiacich kritériách, ktoré majú za cieľ sledovať zmeny teploty, resp. vplyv tepelného toku a iné.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia bola spracovaná za podpory VEGA Project 1/022/16/6) Požiarne bezpečné zatepl'ovacie systémy na báze prírodných materiálov

## ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] Danihelová, A., 2010: Physics. Krupina : Nikara, 2010, 204 s. ISBN 978-80-970363-6-2.
- [2] Trebula, P., Klement, I., 2005: Sušenie a hydrotermická úprava dreva. Zvolen : Technická univerzita, 2005, 449 s., ISBN 80-228-1421-0.
- [3] Martinka, J., Chrebet, T., 2014 a: Activation energy of Teak and Oak wood spontaneous ignition. In: Advanced Materials Research, Switzerland, vol. 1001, 2014, p. 262-266.

- [4] Barbu, M. C., Réh, R., Irle, M. 2014: Wood based composites. Source title: Research Developments in Wood Engineering and Technology, 2014, p. 45, ISBN I 978-1-4666-4554-7.
- [5] Martinka, J., Chrebet, T., Hrušovský, I., Balog, K., Hirle, S., 2014 b: Fire risk assessment of spruce pellets. Applied Mechanics and Materials Vols. 501-504 (2014) pp 2451-2454 © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/[www.scientific.net](http://www.scientific.net) /AMM. 501 504.2451, p. 2451-2454.
- [6] Veľková, V., Výbohová, E., Bubeníková, T. 2007 : Negative Effect of Wood Impregnation on Environment, Acta Facultatis Ecologiae, 2007, p. 65-70. ISSN 1336-300X.
- [7] Kuklík, P., Kuklíková, A., 2010: Design of timber structures. Guide ČSN EN 1995-1, Prague : Information Center ČKAIT, ISBN: 978-80-870938-8-7.
- [8] Osvald, A., 1997: Fire technical properties of wood and wood-based materials: Scientific Study 8/1997/A. Zvolen : Zvolen : Technical university in Zvolen,, 1997. p. 52. ISBN 80-228-0656-0.
- [9] Zachar, M., Marková, I., 2009: Monitoring of difference in thermal degradation of poplar samples [Sledovanie rozdielu v termickej degradácii vzoriek topoľa], 2009, Acta Facultatis Xylologiae 51 (1), p. 33-46. ISSN 1336-3824.
- [10] Balabán K., 1955: Wood Science, 1. Part of the Anatomy of Wood. Prague : SZN Prague, 1955.