



# VPLYV TEPELNÉHO TOKU A RETARDÉROV HORENIA NA PROCES INICIÁCIE DREVNÝCH MATERIÁLOV

## EFFECT OF HEAT FLOW AND FIRE RETARDANTS ON THE INITIATION PROCESS OF WOODEN MATERIALS

JOZEF HARANGÓZO, IVANA TUREKOVÁ

**ABSTRACT:** *The paper studies the effects of heat flow on the flammability of wood materials when flame retardants are applied. Beech and spruce wood samples were treated with phosphorus- and carbon-based flame retardants, namely  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  and  $\text{KHCO}_3$  salts. Retardants were applied by spraying them on the surface of the samples. After their thermal stabilization, the parameter time until the sample ignited when exposed to the action of a radiation panel set to a maximum power of 15 kW was investigated. The results were recorded at different distances of 50, 70, and 100 mm from the radiation panel.  $\text{KHCO}_3$  was identified as the retarder with the highest efficiency based on the obtained measurements. Thermal decomposition analysis indicated that the improvement in flame retardancy of the treated wood was achieved by dehydration of the polysaccharides and the formation of a protective char shield due to the cessation of heat and oxygen transfer.*

**KEYWORDS:** *heat flow, flame retardants, beech wood, spruce wood*

### ÚVOD

Drevo, obnoviteľný prírodný zdroj, je najuniverzálnejším materiálom na stavbu, stavbu, dekoráciu alebo nábytok vďaka svojim vynikajúcim vlastnostiam, ako sú esteticky príjemné vlastnosti, vysoký pomer pevnosti k hmotnosti, nízka tepelná vodivosť a nízke ekonomické náklady. Jedna z hlavných nevýhod sa však pravdepodobne pripisuje jeho horľavosti, ktorá obmedzuje jeho široké využitie v bytových a nebytových budovách (Sharma, 2015), (Babrauskas, 2005), (Shafizadeh, 1982), (Cai, 2019), (Hadjisophocleous, 1999). Drevo a celulózové materiály nehoria priamo, ale vplyvom dostatočne silných zdrojov tepla sa rozkladajú na zmes prchavých látok, dechtových zlúčenín a vysoko reaktívneho uhlíkatého zvyšku, čo má za následok horenie plameňom alebo tlejúce horenie (Rowell, 2012). Zistilo sa, že zlúčeniny obsahujúce bróm, chlór, fosfor, bór, dusík alebo dva alebo viac prvkov sú účinné pri spomaľovaní horenia (Lowden, 2013), (Stark, 2010), (Bai, 2014).

Aby sa znížila horľavosť a zabezpečila bezpečnosť, drevo sa ošetruje chemikáliami spomaľujúcimi horenie – retardéromi horenia. Retardéry horenia však nemôžu úplne zabrániť horeniu, ale znižujú horľavosť materiálu (Yalinkilic, 1998), (Kabát, 2000), (Bejan, 2003), (Osvald, 2005). Jedná sa o chemické látky, ktoré svojím chemickým a fyzikálnym alebo kombinovaným spôsobom bránia rýchlemu zapáleniu a horeniu dreva (Osvald, 2003). Pre retardéry horenia je charakteristické potláčanie rôznych prenosových a reakčných dejov v materiály, vyvolaných pôsobením tepelnej záťaže. Ovplyvňujú termický rozklad, zápalnosť a horenie (Šenovský, 2004).

Najúčinnejšie retardéry horenia celulózových materiálov sú také soli, ktoré katalyzujú dehydratačné reakcie pri termolýze celulózy a zabezpečujú tak priebeh konkurenčnej reakcie: depolymerizácie s tvorbou levoglukozánu. Význam katalýzy dehydratačných reakcií je tiež v tom, že týmito reakciami sa urýchľuje karbonizačný proces ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  a  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). Predpokladá sa, že aspoň niektoré anorganické soli (alebo kyseliny) katalyzujú polymerizáciu levoglukozánu alebo jeho rozklad na menej horľavé produkty (Košík, 1986).

Cieľom príspevku je štúdiom vplyvu tepelného toku generovaného radiačným panelom na zápalnosť tuhých materiálov a materiálov s aplikáciou vybraných retardérov horenia, ktoré môžu obmedziť alebo spomaliť horenie daných materiálov.

## 1. METODIKA PRÁCE

### 1.1. Príprava vzoriek

V rámci experimentu boli použité vzorky smrekového a bukového dreva, ktoré sú najpoužívanejšie drevené materiály rôznych priemyselných odvetviach. Vzorky dreva boli narezané na štvorce so stranou 165 mm a hrúbkou 25 mm a následne impregnované pripraveným roztokom  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  a  $\text{KHC}\text{O}_3$  s koncentráciou 15 hm. %. Spomaľovače boli nastriekané na vzorky pomocou elektrickej striekacej pištole.

### 1.2. Postup experimentu

Na experimentálne meranie bolo použité zariadenie nazývané elektrický radiačný panel (Obrázok 1). Tento prístroj bol skonštruovaný pre experimentálne skúšky na základe skúseností získaných z početných odborných konzultácií a porovnania existujúcich metód s cieľom určiť iniciáciu vznietenia materiálu v závislosti od veľkosti tepelného toku (Marková, 2020), (Zachar, 2021). Nejedná sa o normovanú metódu. Elektrický radiačný panel je napájaný zo siete 400 V. Elektrický výkon žiariča sa dá regulovať pomocou troch ochranných ističov, kde každý jeden istič zopína jednu fázu. Pomocou týchto ističov postupne zapíname odporové elektrické špirály po 5 kusoch a tým regulujeme výkon žiariča na 5 kW, 10 kW alebo 15 kW (Harangozó, 2011).



Obr. 1 Elektrický radiačný panel

### 1.3. Priebeh merania

Pomocou stopiek bol meraný čas od doby umiestnenia vzorky do príslušnej vzdialenosti po dobu, kým nenastalo trvalé povrchové zapálenie vzorky. Tento čas závisí od veľkosti tepelného toku, druhu vzorky (či ide o smrekové alebo bukové drevo), od povrchovej úpravy vzorky, od jej hustoty a veľkosti, ako aj od použitého retardéru. Ak trvalé povrchové zapálenie nenastalo a vzorka horela len bezplameňovým horením, po 15 minútach sa skúška prerušila.

### 1.4. Snímač tepelného toku

Pre experimentálne meranie bol použitý snímač tepelného toku typu SBG01-100. Jedná sa o vodu chladený snímač tepelného toku SCHMIDT – BOELTER SBG01 - 100 (obr. 2), ktorý slúži na meranie tepelného toku ohňa a plameňov v rozsahu vysokých úrovní žiarenia, až 200 kW/m<sup>2</sup>. SBG01 snímače sa používajú na rôzne účely; najčastejšia je aplikácia v rôznych typoch "protipožiarnej skúšky." Tieto testy zahŕňajú šírenie požiaru, testovanie horľavosti, uvoľňovanie dymu a mnohé ďalšie aspekty súvisiace s ohňom. Snímače tepelného toku tohto typu sú pôvodne určené pre prácu v prostredí, pre ktoré je dominantná radiácia.



Obr. 2 Vodou chladený snímač tepelného toku SCHMIDT-BOELTER SBG01-100

SBG01 pasívne generuje pomocou termoelektrického snímača výstupné napätie úmerné prichádzajúcemu toku. Tento tok môže byť radiačný, rovnako ako konvektívny. Snímač termoelektricky meria diferenciálnu teplotu cez malé telo vo vnútri SBG01. Vytvára malé výstupné napätie, ktoré je úmerné rozdielu teploty, ktorá poháňa prestup tepelného toku. Tento snímač je pokrytý čiernou farbou, aby mal nízku spektrálnu citlivosť (obr. 33). Použitie SBG01 je jednoduché. Pre odčítanie stačí presný voltmeter, ktorý zaznamenáva rozsah v mV.

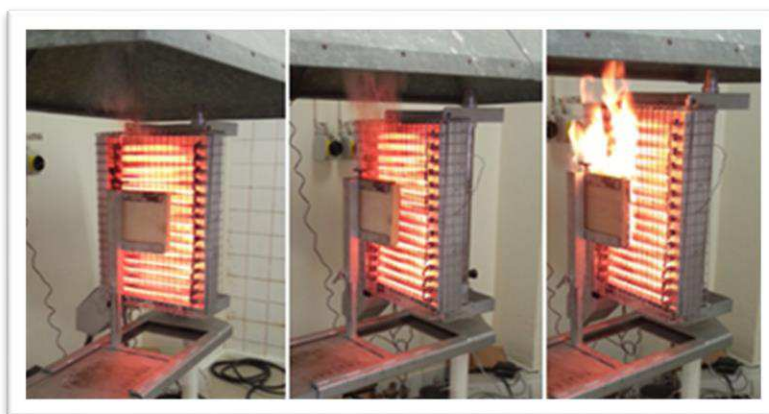
## 2. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNEHO MERANIA

Experimentálne merania boli vykonané na vzorkách prírodného dreva a vzorkách impregnovaného dreva. Radiačný panel bol nastavený na najvyšší výkon - 15 kW. Na základe experimentálnych meraní bola vykonaná skúška horľavosti vzoriek vystavených určitej úrovni sálavého tepelného toku. Zmena úrovni sálavého tepelného toku bola realizovaná zmenou vzdialenosti vzoriek od sálavého panelu. Pre každú vzdialenosť bola pomocou snímača tepelného toku určená hodnota tepelného toku. Test sa uskutočnil v prostredí bez prúdenia vzduchu. V tabuľke 1 sú uvedené namerané hodnoty tepelného toku vo vzdialenostiach 50, 70 a 100 mm.

Tabuľka 1 Namerané hodnoty tepelného toku vo vzdialenostiach 50, 70 a 100 mm (Lowden, 2013)

Výkon žiariča [kW]	Vzdialenosť vzorky od panela [mm]	Nameraný tepelný tok v danej vzdialenosti [kW/m <sup>2</sup> ]
15	50	63
	70	50
	100	42

Proces experimentálneho merania a postupný priebeh zahorenia vzorky je znázornený na obrázku 3.



Obrázok 3 Priebeh procesu zahorenia vzorky

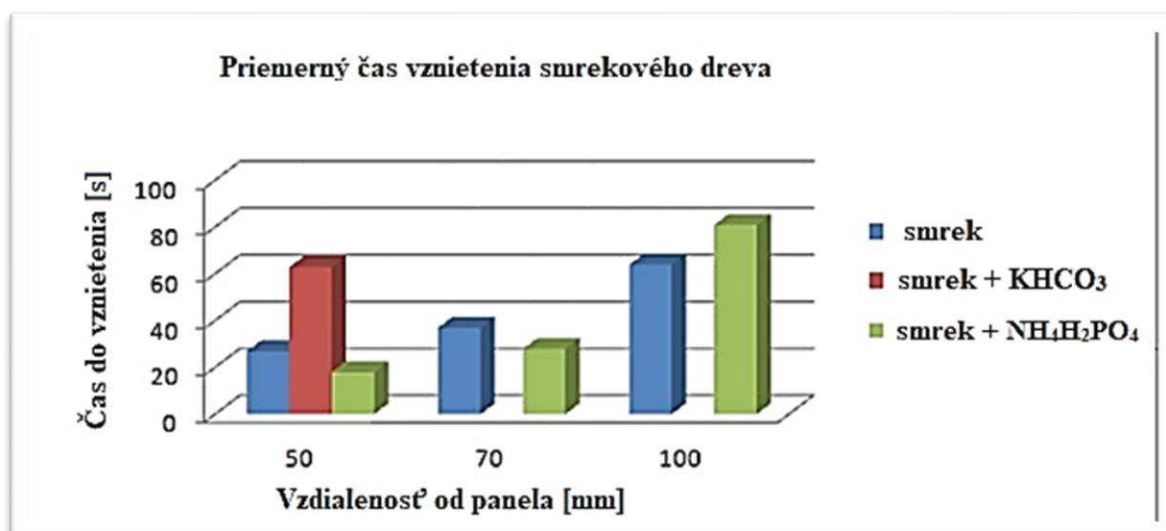
V tabuľke 2 sú znázornené priemerné hodnoty časov vznietenia čistých a impregnovaných drevených materiálov.

Tabuľka 2 Priemerné hodnoty časov vznietenia drevených materiálov

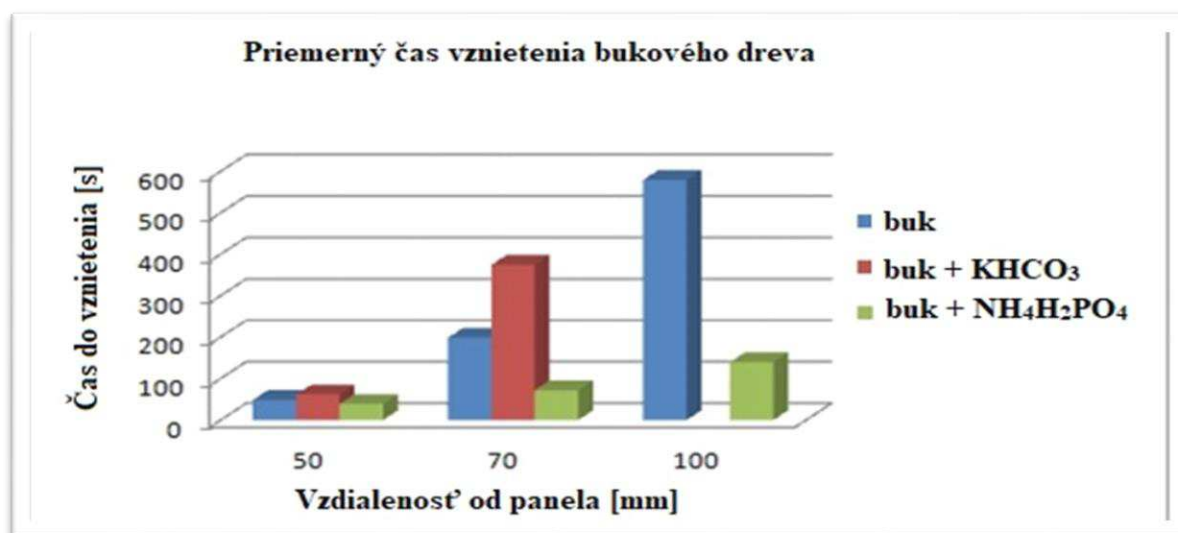
Tepelný tok [kW/m <sup>2</sup> ]	Čas vznietenia [s]					
	Smrekové drevo	Smrekové drevo + 15 % NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Smrekové drevo + 15 % KHCO <sub>3</sub>	Bukové drevo	Bukové drevo + 15 % NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Bukové drevo + 15 % KHCO <sub>3</sub>
63	27	18	63	49	39	62
50	37	28	X	119	72	375
42	64	81	X	580	140	X

X - žiadne horenie

Z nameraných hodnôt zaznamenaných v tabuľke 2 sme zistili, že retardér horenia NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> nám takmer vo všetkých prípadoch urýchlil iniciáciu vzoriek. Jedine v jednom prípade vzorky smrekového dreva umiestneného vo vzdialenosti 100 mm od panela sa prejavili retardačné účinky. Na základe výsledkov môžeme konštatovať, že nie je vhodný na použitie. Naopak u použitého retardéru horenia KHCO<sub>3</sub> sa vo všetkých meraniach potvrdili retardačné účinky. Použitý retardér horenia KHCO<sub>3</sub> výrazne spomalil iniciáciu horenia a v niektorých prípadoch dokonca zabránil horeniu vzoriek plameňom. Z výsledkov experimentu vyplýva, že retardér horenia KHCO<sub>3</sub> má pozitívny retardačný účinok a je vhodný na aplikáciu a ochranu drevených materiálov striekaním. Priemerné hodnoty času vznietenia u smrekového a bukového dreva za použitia oboch retardérov horenia sú zaznamenané na obrázku 4 a 5.



Obrázok 4 Priemerný čas vznietenia smrekového dreva



Obrázok 5 Priemerný čas vznietenia bukového dreva

## ZÁVER

Nielen retardéry horenia ale aj hustota dreva vplyva na celý proces tepelnej degradácie. Na základe experimentálnych meraní môžeme povedať, že ako sa zvyšovala hustota jednotlivých skúšaných vzoriek dreva, tak nám rástol aj čas do zapálenia danej vzorky. Pri porovnávaní čistých vzoriek bez retardérov horenia a po aplikácii retardérov sme dospeli k záveru, že každý z retardérov má odlišný vplyv na čas vznietenia použitých drevných materiálov. Na základe experimentálnych meraní možno konštatovať, že retardér horenia NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> nedosahoval požadovaný retardačný účinok a dokonca pri jeho aplikácii došlo k urýchleniu vznietenia vzoriek. Retardér KHCO<sub>3</sub> sa potvrdil ako vhodný pre aplikáciu na sledované drevné materiály, pretože experimentálnymi skúškami bol preukázaný jeho požadovaný retardačný účinok. Úpravou vzoriek retardérmí horenia sa čas do zapálenia v závislosti na použitej koncentrácii retardéru postupne zvyšoval a tým bol potvrdený ich retardačný účinok aj v závislosti od koncentrácie retardéra. Faktorom, ktorý mohol ovplyvniť získané výsledky, bol rovnomernosť nanosených roztokov retardérov. Tie boli aplikované striekacou pištolou na povrch drevných materiálov o celkovej nanesej hrúbke 1 mm. Rovnako bolo zistené, že 5 % roztoky retardérov boli na nedotatočné, výraznejší retardačný účinok sa prejavil až po aplikácii 15 % roztokov retardérov. Pre praktické použitie na základe výsledkov je vhodný 15 %-ný roztok **KHCO<sub>3</sub>**. Získané poznatky z experimentálnych meraní sa môžu využiť pre preventívne protipožiarné opatrenia v rámci ochrany dreva retardérmí horenia. Namerané výsledky môžu prispieť k zdokonaleniu a rozšíreniu testovacích metód a k novým poznatkom požiarotechnických charakteristík dreva.

## LITERATÚRA

- BABRAUSKAS, V. Charring rate of wood as a tool for fire investigations. *Fire Saf J*, 40 (6) (2005), pp. 528-554.
- Bai, G., Guo, C., & Li, L. (2014). Synergistic effect of intumescent flame retardant and expandable graphite on mechanical and flame-retardant properties of wood flour-polypropylene composites. *Construction and Building Materials*, 50, 148-153.
- BEJAN, A., KRAUS, A. D. *Heat transfer handbook*. USA: John Wiley & Sons, 2003. 1481 p. ISBN 0-471-39015-1.
- Boards by Radiant Heat. 2020. *Forests*, 13(10), 1738.
- CAI, N., CHOW, W.K. Numerical studies on fire hazards of elevator evacuation in supertall buildings. *Indoor Built Environ*, 28 (2) (2019), pp. 247-263.
- HADJISOPHOCLEOUS, G. V., BENICHOUS, N. Performance criteria used in fire safety design. *Autom Constr*, 8 (4) (1999), pp. 489-501.
- HARANGOZÓ, J., Sledovanie vplyvu retardérov horenia na proces iniciácie plameňového a bezplameňového horenia *Chemical Properties of Spruce Wood (Picea abies L.)*. *Materials*, 2021. 14(17), 4989.

- CHENG, H., G.V. HADJISOPHOCLEOUS, G.V. Experimental study and modeling of radiation from compartment fires to adjacent buildings. *Fire Saf J*, 53 (2012), pp. 43-62.
- KABÁT, E., HORÁK, M. Heat transfer. Bratislava: STU, 2000. 129 p. ISBN 80-227-1409-7.
- KOŠÍK, M. a kol., Polymérne materiály a ich požiarne ochrana. Bratislava: ALFA, 1986.
- Lowden, L. A., & Hull, T. R. 2013. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire science reviews*, 2(1), 1-19.
- MARKOVÁ, I., IVANIČOVÁ, M., OSVALDOVÁ, L. M., HARANGÓZO, J., & TUREKOVÁ, I. Ignition of Wood-Based OSVALD, A., Ochrana pred požiarimi. Zvolen, 2005, ISBN 80-228-1493-8.
- OSVALD, A., OSVALDOVÁ, L., Retardácia horenia smrekového dreva. Zvolen, 2003, ISBN 80-228-1274-9.
- Rowell, R. M., & Dietsberger, M. A. 2012. Thermal properties, combustion, and fire retardancy of wood. *Handbook of wood chemistry and wood composites*, 121-151.
- SHAFIZADEH, F. Chemistry of pyrolysis and combustion of wood. *P Biomass Conver*, 3 (1982), pp. 51-76.
- SHARMA, N.K., VERMA, C., CHARIAR, V.M., PRASAD, R. 2015. Eco-friendly flame-retardant treatments for cellulosic green building materials *Indoor Built Environ.* 24(3), 422-432.
- Stark, N. M., White, R. H., Mueller, S. A., & Osswald, T. A. 2010. Evaluation of various fire retardants for use in wood flour-polyethylene composites. *Polymer Degradation and Stability*, 95(9), 1903-1910.
- ŠENOVSÝ, M., a kol. Základy požárního inženýrství. Ostrava: SPBI Spektrum, 2004. ISBN 80-86634-50-7, s. 2-16. tuhých materiálů. Dizertačná práca, Trnava, 2011.
- Yalinkilic, M.K.; Imamura, Y.; Takahashi, M.; Demirci, Z. 1998. Effect of boron addition to adhesive and/or surface coating on fire-retardant properties of particleboard, *Wood and Fiber Science* 30(4): 348-359.
- ZACHAR, M., ČABALOVÁ, I., KAČÍKOVÁ, D., & ZACHAROVÁ, L. The Effect of Heat Flux to the Fire-Technical and

---

**Jozef Harangozó, -1, Ing. PhD.,**

UKF v Nitre, Tr. Andrea Hlinku 1, 94901 Nitra, 0903034695,  
e-mail: jharangozo@ukf.sk

**Ivana Tureková – 2, doc. Ing. PhD. MBA,**

UKF v Nitre, Tr. Andrea Hlinku 1, 94901 Nitra,  
e-mail: iturekova@ukf.sk

---