

**ČESKÁ ZEMĚDELSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCA**

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
Fakulta lesnická a dřevařská  
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Protipožární odolnost rostlého dřeva a dřeva tepelně  
upraveného (thermowoodu) ošetřeného antipyrénmi na  
přírodní báze**

Diplomová práce

Autor: Bc. Jakub Jankura

Vedúci práce: doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

2020

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Jankura

Dřevařské inženýrství

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Protipožární odolnost rostlého dřeva a dřeva tepelně upraveného (thermowoodu) ošetřeného antipyré-  
nmi na přírodní báze.**

Název anglicky

**Fire Resistance of solid wood and wood heat-treated (Thermowood) with natural retarder**

---

### Cíle práce

Základním cílem práce je ze-sumarizovat poznatky o vybraných požárních charakteristikách a jejich vlivu na rostlé a tepelně upravené dřevo ošetřené pomocí přírodního antipyrenu.

Druhá část práce je zaměřená na experimentální ověření získaných poznatků a jejich rozšíření vykonaným a vyhodnocení testů na vybraných dřevinách.

### Metodika

1. Úvod

2. Analýza problematiky:

– vliv stupně termické modifikace na změny požárních vlastností různých druhů

termicky modifikovaných dřevin,

– vliv aplikace přírodního antipyrenu na požární vlastnosti termicky

modifikovaného dřeva.

3. Experimentální část

4. Měření

5. Vyhodnocení

6. Přínosy a doporučení

7. Závěr

Diplomová práce bude vypracována ve slovenštině.

**Doporučený rozsah práce**

60

**Klíčová slova**

požární charakteristiky, antipyrén, thermowood

**Doporučené zdroje informací**

- Martinka, J., Hroncová, E., Chrebet, T., and Balog, K. (2013b). "Fire risk assessment of thermally modified spruce wood," *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 55(2), 117-128.
- Park, JS., et al. 2006.: Fire performance of laminated veneer lumber (LVL) with glued-in steel rod connections
- Reinprecht, L., and Vidholdová, Z. (2008). *Termodrevo – Příprava, Vlastnosti a Aplikácie [ThermoWood – Preparing, Properties, and Applications]*, Technical University in Zvolen, Zvolen, Slovakia. (in Slovak)
- Terzi, E. et al. 2011.: Fire performance and decay resistance of solid wood and plywood treated with quaternary ammonia compounds and common fire retardants
- Tewarson, A. (1994). "Flammability parameters of materials: Ignition, combustion, and fire propagation," *Journal of Fire Sciences* 12(4), 329-356. DOI: 10.1177/073490419401200401

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FLD

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 27. 2. 2020

**Ing. Radek Rinn**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2020

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 13. 06. 2020

## **Prehlásenie**

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému „ Protipožárni odolnost rostlého dřeva a dřeva tepelně upraveného (thermowoodu) ošetřeného antipyrénmi na přírodní báze“ vypracoval samostatne pod vedením doc. Ing. Milana Gaffa, PhD. a použil iba pramene, ktoré uvádzam v zozname použitých zdrojov.

Som si vedomý že zverejnením diplomovej práce súhlasím s jej zverejnením podľa zákona č.111/1998 Sb. o vysokých školách v platnom znení, a to bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Prahe, dňa 15. 06. 2020

.....

## **Pod'akovanie**

Chcel by som pod'akovať svojmu vedúcemu diplomovej práce, pánovi doc. Ing. Milanovi Gaffovi, PhD. za odborné prínos, trpezlivosť a cenné rady k mojej diplomovej práci.

Takisto by som chcel pod'akovať Českej zemědělskej univerzite v Prahe za podporu pri štúdiu a výborné zázemie.

## Abstrakt v štátnom jazyku

Táto diplomová práca sumarizuje a experimentálne overuje poznatky z oblasti horľavosti materiálov rastlého dreva a tiež tepelne modifikovaného. Práca sa venuje zvýšeniu odolnosti dreva vystavenému otvorenému plameňu, skúma vplyv termickej úpravy a taktiež poukazuje na vplyv antipyrénov pri ochrane dreva proti ohňu. Experimentálna časť práce je zameraná na overenie dostupných poznatkov a ich rozšírenie vykonaním a vyhodnotením testov odolnosti dreva voči ohňu na vybraných druhoch dreva. V tejto časti porovnáваме vybrané požiarne charakteristiky (úbytok hmotnosti, rýchlosť horenia, doba potrebná na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia) a ich vplyv na rastlé a termicky modifikované drevo ošetrené pomocou prírodného antipyrénu. Pre tento účel boli zvolené termicky modifikované vzorky Meranti (*Shorea*) impregnované máčaním v látke arabinogalaktán, ktoré sme porovnávali s nemodifikovanou referenčnou vzorkou a tiež porovnané so vzorkou ošetrenou syntetickým retardérom horenia Flamgard. Proces experimentálneho overenia odolnosti proti ohňu bol prevedený pomocou sledovania úbytku hmotnosti vzorky dreva počas horenia, za priameho kontaktu s plameňom. Výsledky ukazujú, že je dokázaný vzťah vplyvu antipyrénu ku sledovaným požiarным charakteristikám.

**Kľúčové slová:** požiarne charakteristiky, antipyrén, modifikácia dreva, thermowood, arabinogalaktán

## **Abstrakt v cudzom jazyku**

This diploma thesis summarizes and experimentally verifies the knowledge in the field of flammability of grown wood materials and also thermally modified wood. The work deals with increasing the resistance of wood exposed to open flame, examines the effect of heat treatment and also points to the influence of antipyrenes in the protection of wood against fire. The experimental part of the work is focused on the verification of available knowledge and their extension by performing and evaluating tests of wood resistance to fire on selected types of wood. In this section, we compare selected fire characteristics (weight loss, burning rate, time required to reach maximum burning rate) and their impact on grown and thermally modified wood treated with natural antipyrene. For this purpose, thermally modified Meranti (Shorea) samples impregnated by soaking in arabinogalactan were selected, which we compared with the unmodified reference sample and also compared with the sample treated with the Flamgard synthetic flame retardant. The process of experimental verification of fire resistance was performed by monitoring the weight loss of a wood sample during burning, in direct contact with the flame. The results show that the relationship between the effect of antipyrene and the observed fire characteristics is proven.

**Keywords:** fire characteristics, antipyrene, wood modification, thermowood, arabinogalactan



# Obsah

<b>Obsah</b> .....	<b>8</b>
<b>Zoznam ilustrácií</b> .....	<b>10</b>
<b>Zoznam tabuliek</b> .....	<b>11</b>
<b>Zoznam skratiek a značiek</b> .....	<b>12</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>13</b>
<b>1 Cieľ práce</b> .....	<b>15</b>
<b>2 Analýza literárnych poznatkov k predmetnej problematike</b> .....	<b>16</b>
2.1 TEPELNÉ VLASTNOSTI DREVA .....	16
2.1.1 Horenie dreva a degradácia dreva termickým zaťažením .....	16
2.1.2 Vplyv tepla a ohňa na drevo .....	17
2.1.3 Faktory ovplyvňujúce horľavosť dreva.....	19
2.1.4 Prenos tepla v dreve .....	22
2.1.4.1 Prenos tepla vedením .....	22
2.1.4.2 Prenos tepla prúdením.....	23
2.1.4.3 Prenos tepla žiarením .....	23
2.1.5 Zmena mikro a makroštruktúry dreva v dôsledku horenia.....	24
2.1.6 Teplota, druhy a vlastnosti plameňa.....	25
2.1.7 Požiaro-technické charakteristiky dreva.....	27
2.1.7.1 Teplota vzplanutia.....	27
2.1.7.2 Teplota vznietenia.....	27
2.1.7.3 Výhrevnosť a spalné teplo.....	27
2.1.7.4 Rýchlosť odhorievania .....	28
2.1.7.5 Rýchlosť uvoľňovania tepla .....	28
2.2 RETARDÉRY HORENIA .....	29
2.2.1 Typy retardérov horenia .....	30
2.2.2 Požiadavky na retardéry horenia.....	31
2.2.3 Organické antipyrény .....	32
2.2.4 Arabinogalaktán .....	33
2.2.5 Anorganické antipyrény .....	33
2.2.6 Aplikácia retardérov horenia .....	35
2.2.7 Stanovenie horľavosti materiálu .....	37
2.2.8 Reakcia materiálu na oheň.....	38

2.2.9	Skúšanie antipyrénnych úprav dreva .....	39
<b>3</b>	<b>Tepelná modifikácia dreva .....</b>	<b>41</b>
3.1	Výroba termicky modifikovaného dreva .....	41
3.1.1	ThermoWood .....	41
3.1.2	PLATO .....	43
3.1.3	OHT .....	43
3.1.4	Royal .....	44
3.1.5	Retifikačný proces .....	44
3.2	Vlastnosti termodreva .....	44
<b>4</b>	<b>Metodika diplomovej práce .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>Metodika experimentálnych prác .....</b>	<b>48</b>
5.1	Materiál .....	49
5.2	Príprava vzoriek .....	49
5.3	Metóda pre hodnotenie požiarneho charakteristík .....	52
5.4	Výpočet vybraných charakteristík pre účely experimentu .....	53
<b>6</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>57</b>
6.1	Úbytok hmotnosti .....	57
6.2	Rýchlosť horenia .....	59
6.3	Maximálna rýchlosť horenia .....	60
6.4	Pomer maximálnej rýchlosti horenia .....	61
6.5	Čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia .....	63
<b>7</b>	<b>Diskusia .....</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>Záver .....</b>	<b>65</b>
	<b>Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>66</b>

---

## Zoznam ilustrácií

Obrázok 1. Trojuholník horenia.....	16
Obrázok 2. Schéma horenia dreva .....	17
Obrázok 3. Degradácia bunečnej steny vplyvom tepla .....	23
Obrázok 4. Zmeny odtieňa ohorelého dreva po 1mm rezoch.....	24
Obrázok 5. Účinnosť retardéru v závislosti na jeho aplikácií.....	35
Obrázok 6. Proces výroby Thermowoodu.....	41
Obrázok 7. Tvar a rozmery vzorky .....	48
Obrázok 8. Schéma testovacieho zariadenia.....	51
Graf 1. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na úbytok hmotnosti pri horení .....	58
Graf 2. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na rýchlosť horenia .....	59
Graf 3. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na maximálnu rýchlosť horenia.....	60
Graf 4. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na pomer maximálnej rýchlosti horenia .....	62
Graf 5. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia.....	63

---

## Zoznam tabuliek

Tab. 1	Teplota horenia podľa zdroja.....	25
Tab. 2	Rýchlosť horenia pevných látok.....	25
Tab. 3	Reakcia stavebných materiálov na oheň .....	38
Tab. 4	Označenie stupňa horľavosti .....	39
Tab. 5	Parametre nanášaného ochranného prostriedku .....	49
Tab. 6	Parametre termickej modifikácie.....	50
Tab. 7	Hustota vzoriek pred a po TM.....	50
Tab. 8	Chemická analýza zložiek dreva Meranti .....	54
Tab. 9	Priemerné hodnoty parametrov horenia.....	55
Tab. 10	Vplyv jednotlivých faktorov na úbytok hmotnosti.....	58
Tab. 11	Vplyv jednotlivých faktorov na rýchlosť horenia.....	60
Tab. 12	Vplyv jednotlivých faktorov na maximálnu rýchlosť horenia .....	61
Tab. 13	Vplyv jednotlivých faktorov na pomer maximálnej rýchlosti horenia.....	62
Tab. 14	Vplyv jednotlivých faktorov na čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia .....	63

---

## Zoznam skratiek a značiek

$F_s$  – šírenie plameňa (EN 13501-1) (mm)

PSC – spalné teplo ( $\text{MJ.kg}^{-1}$ )

$Q$  – celkové množstvo uvoľneného tepla (W)

$H$  – výhrevnosť ( $\text{J.kg}^{-1}$ )

$\varepsilon$  – emisivita prostredia

$\sigma$  – Stefan-Boltzmannová konštanta  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  ( $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ )

$T$  – absolútna teplota (K)

$I$  – hustota tepelného toku ( $\text{kW.m}^{-2}$ )

TM – tepelná modifikácia

---

## Úvod

Drevo je jeden z najstarších prírodných materiálov, ktorý navyše disponuje vynikajúcimi estetickými a mechanickými vlastnosťami vďaka čomu sa hodí na všestranné použitie. Avšak aj napriek týmto vlastnostiam má drevo určité nevýhody – menovite nízku odolnosť voči biologickým činiteľom, podlieha zmenám fyzikálnych a mechanických vlastností a má vysokú horľavosť. Z týchto dôvodov je bežnou metódou ochrany dreva tepelná modifikácia.

Tepelná modifikácia ako taká je už pomerne stará metóda, už v stredoveku ľudia opaľovali drevo aby zvýšili jeho odolnosť. Samotný proces tepelnej modifikácie, ako ho poznáme dnes, bol teoreticky popísaný už v 20. rokoch minulého storočia. V súčasnosti existuje niekoľko typov, ktorých princíp sa odlišuje v závislosti od použitého média a teploty. Najviac používané typy tepelnej modifikácie sú ThermoWood, PlatoWood, olejovo-tepelné ošetrenie (OHT), Les Bois Perdure a Retiwood (Esteves a kol. 2011; Sandberg a kol.; Kutnar, 2016). Vo všeobecnosti môžeme tepelnú modifikáciu definovať ako proces, pri ktorom sa aplikujú vysoké teploty (v rozmedzí 150 – 260 °C) na drevo v prostredí s rôznymi druhmi médií (para, dusík, olej atď.) bez pridania chemických látok. Pri tomto procese sú výrazne ovplyvnené základné zložky dreva.

Celulóza a hemicelulóza sú polysacharidy, ktoré sa nachádzajú v bunkových stenách dreva. Celulóza, ktorá je kvôli svojmu vysokému stupňu polymerizácie zodpovedná za pevnosť drevných vlákien, je odolnejšia voči teplu (Pandey, 1999). Hemicelulóza je menej odolná voči teplu a jej degradácia vedie k najvýznamnejšiemu poklesu mechanických vlastností tepelne modifikovaného dreva (Osvald a Gaff, 2017). Lignín má aromatickú štruktúru a vyplňa medzery medzi lignocelulóзовými vláknami. Je zodpovedný za tuhosť materiálu a z daných zložiek je najodolnejší (Cadematori et al. 2013). Tepelná modifikácia zlepšuje rozmerovú stabilitu, trvanlivosť, hygroskopicitu, odolnosť voči poveternostným vplyvom a odolnosť voči hubám. Na druhej strane, tepelná modifikácia výrazne znižuje mechanické vlastnosti ako modul pružnosti, tvrdosť a rázovú pevnosť v ohybe (Kamdem a kol. 2002; Kačík a kol., 2015).

Mechanické vlastnosti sú však iba jedným z atribútov, ktoré sú dôležité pre výrobky z dreva. Rovnako dôležité sú aj požiarne vlastnosti, pretože oheň je jeden z najvýznamnejších faktorov fyzickej degradácie dreva (Lee a kol., 2014; Jiang a kol.,

---

2010). Aj keď existuje niekoľko štúdií, ktoré skúmali horľavosť a horenie tepelne modifikovaného dreva, ich požiarne vlastnosti sa skúmali iba v neúplnom rozsahu. Pri tepelnej modifikácii sa z dreva uvoľňujú prchavé zložky, degraduje lignín a polysacharidy, čo úzko súvisí s horľavosťou a požiarnymi vlastnosťami (Manninen a kol., 2002). V dôsledku toho má tepelne modifikované drevo výrazne menšiu pravdepodobnosť vznietenia a následného horenia a navyše môže byť modifikované aplikovaním retardérov horenia.

Retardéry horenia ovplyvňujú horenie dreva oneskorením vznietenia, spomalením šírenia plameňa a znížením uvoľňovania tepla (Östman a kol., 2001; Hagen a kol., 2009). Retardéry horenia pracujú na rôznom princípe, ale väčšinou používajú súčasne niekoľko mechanizmov. Najčastejšie vytvárajú, pod vplyvom teploty, na povrchu dreva nehorľavé vrstvy uhlia a fyzicky zamedzujú prístupu kyslíka k drevu.

V tejto práci sa z pohľadu protipožiarnej odolnosti venujeme drevu rastlému, ale aj drevu tepelne modifikovanému, ktoré je v súčasnosti veľmi populárne a používané v prvkoch v interiéri, konštrukčných prvkoch a drevostavbách. Vzájomne ich porovnáваме a skúmame vplyv použitia antipyrénu na prírodnej báze.

---

## 1 Cieľ práce

Cieľom práce je porovnať požiaru odolnosť termicky modifikovaného dreva s drevom ošetreným prírodným antipyrénom. Sledované sú najmä požiarne charakteristiky úbytok hmotnosti, rýchlosť horenia, maximálna rýchlosť horenia a čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia.

Ďalším cieľom práce je zosumarizovať poznatky o vybraných požiarnych charakteristikách a následne experimentálnym spôsobom overiť získané poznatky a potvrdiť účinok retardéru horenia na prírodnej báze. Výsledky meraní budeme porovnávať s referenčnou vzorkou, ktorá nebola ošetrená antipyrénom. Pre uvedený cieľ je nutné zvoliť vhodnú metodiku stanovovania horľavosti podľa platných noriem.

Posledným cieľom diplomovej práce je vyhodnotenie experimentálne overených poznatkov a poukázanie na prínos pre vedu a prax.



---

## 2 Analýza literárnych poznatkov k predmetnej problematike

### 2.1 TEPELNÉ VLASTNOSTI DREVA

#### 2.1.1 Horenie dreva a degradácia dreva termickým zaťažením

Termický rozklad dreva vzniká pôsobením zvýšených teplôt (spravidla nad 100°C) na drevo. V prípade pôsobenia teploty vyššej ako 275°C a súčasnej prítomnosti kyslíku, môže dochádzať k horeniu. Horenie dreva je chemický proces, pri ktorom vznikajú plynné produkty počas prvotného termolytického rozkladu polysacharidov a lignínu a reagujú s kyslíkom v exotermických reakciách za uvoľňovania tepelnej a svetelnej energie. Najskôr dochádza k uvoľňovaniu vody a vysúšaniu, následne sa v dreve vytvára napätie a začínajú vznikať výsušné trhliny. Dochádza k zmene kryštalickej štruktúry a tiež uvoľňovaniu horľavých plynov. Nakoniec vzniká proces vzplanutia, šírenia plameňa a záverečného tlenia (Reinprecht, 1996). Aby k horeniu vôbec došlo, musia byť splnené podmienky tzv. trojuholníka horenia na obrázku 1.



Obrázok 1. Trojuholník horenia

Trojuholník horenia hovorí o tom, že horľavý súbor začne horieť, ak sú látky v potrebnom kvantitatívnom pomere a zohrejú sa na teplotu vznietenia. Na túto teplotu ich zohreje iniciačný zdroj (plameň, iskra, teplo vzniknuté pri trení, atď. ).

---

Proces horenia dreva je charakterizovaný tromi fázami:

1. **Iniciácia** – vzplanutie. Je to počiatočná fáza horenia. V prípade, že sa teplota dreva zvýši nad 275°C, drevo už horí samo bez zdroja horenia, ide teda o exotermickú reakciu.
2. **Propagácia** – dochádza k rozširovaniu plameňa a k intenzívnemu termickému rozkladu dreva. Tvorí sa horľavé plyny a začína termooxidačná reakcia s kyslíkom za produkcie tepelnej a svetelnej energie.
3. **Terminácia** – bezplamenné horenie dreva – tlenie, dochádza k útlmu horenia.

(Holan, 2005)

### 2.1.2 Vplyv tepla a ohňa na drevo

Ak chceme dosiahnuť čo najlepšie výsledky v oblasti ochrany dreva pred požiarom a úplne pochopiť správanie dreva v ohni, tak musíme podrobne poznať proces degradácie dreva pod vplyvom tepelnej energie a ohňa. Chemické zmeny, ktoré vplyvajú aj na fyzikálne a mechanické vlastnosti dreva, môžu byť stanovené podľa teploty pôsobenia. Dlhodobým termickým zaťažením, teplotami 80 - 120°C, sa drevo prevažne len vysušuje (uvoľňuje vodu voľnú a vodu viazanú), čím sa zväčšuje jeho vnútorný povrch, ktorý prichádza do styku s kyslíkom. Preto je vysušené drevo ľahšie zápalné ako drevo s vyšším podielom vody. Povrchovým efektom je tvorba trhlín, uvoľňovanie živice z dreva ihličnatých drevín a čiastočné zhnednutie dreva. V tejto fázy sa mechanické vlastnosti dreva nemenia (VVUD Praha, 2005).

Pri teplotách 150 - 200°C môžeme pozorovať prvý stupeň vlastnej termickej degradácie drevnej hmoty (dehydratácia polysacharidov – hemicelulózy a celulózy). Drevo počas tejto fázy výrazne mení farbu do odtieňov hnedej a nastáva pozorovateľný pokles mechanických vlastností dreva, najmä modulu pružnosti. K významnému

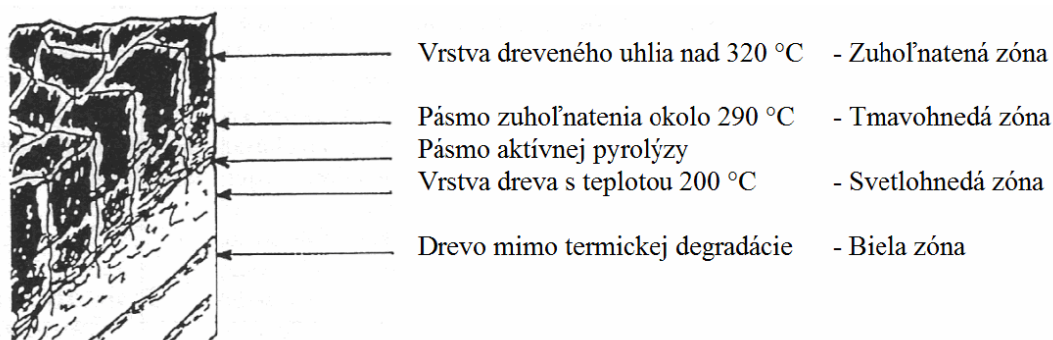
---

uvoľňovaní horľavých plynných produktov pri týchto podmienkach ešte nedochádza (VVUD Praha, 2005).

Pri pôsobení teplôt nad 220°C začína prebiehať druhý stupeň termickej degradácie drevnej hmoty (depolymerizácia – pyrolýza polysacharidov a lignínu). Výsledkom tohto procesu je tvorba plynných produktov ako sú vodík, metán, oxid uhoľnatý, aldehydy, ketóny a iné nízkomolekulárne produkty. Po difúzii nad povrch dreva tieto horľavé látky reagujú so vzdušným kyslíkom za vývoja tepla spolu so svetelnými efektmi. Nastáva proces horenia. Pyrolýzou drevnej hmoty sa významne znižujú mechanické vlastnosti, najmä pevnosť dreva (VVUD Praha, 2005).

Výsledkom pyrolýzy (termickej degradácie drevnej hmoty) je drevné uhlie, ktoré pri teplotách nad 350°C a za prítomnosti vzdušného kyslíka horí samovoľne ale bez plameňa, čím uvoľňuje ďalšiu tepelnú energiu potrebnú pre pyrolýzu ďalších vnútorných vrstiev dreva. Konečným produktom horenia dreva je anorganický zvyšok a drevný popol (VVUD Praha, 2005).

Posudzovanie drev podľa odolnosti voči pôsobeniu plameňa, prípadne tepla, je často spojované s ich hustotou. No schopnosť dreva neprehoriať v žiadnom prípade nie je daná jeho hustotou ale jeho anatomickou stavbou, prípadne orientáciou vlákien v ploche (Holan, 2005). Schému horenia dreva môžeme vidieť na obrázku 1.



**Obrázok 2. Schéma horenia dreva**

Zdroj: VVUD Praha, 2005

---

### 2.1.3 Faktory ovplyvňujúce horľavosť dreva

Okrem chemického zloženia ovplyvňuje horľavosť dreva najmä anatomická stavba, hustota, vlhkosť a kvalita povrchu. Okrem toho, že anatomická stavba dreva ovplyvňuje tepelné vlastnosti dreva, takisto má priamy vplyv aj na jeho horenie. Veľkosť tohto vplyvu je daná pórovitosťou dreva, veľkosťou mikro a makrokapilár ktoré napomáhajú transportu kyslíka do dreva a odvodu plynných produktov pyrolýzy. Degradácia dreva termickým rozkladom sa teda zvyšuje spolu s rastúcou pórovitosťou dreva (ÚNoD, 2010).

Hustota dreva ovplyvňuje množstvo energie potrebnej na zapálenie a horenie dreva. Vplyv hustoty sa však prejaví len pri rovnakom chemickom zložení dreva. Napríklad drevo s vyšším obsahom celulózy je horľavejšie aj v prípade, že má vyššiu hustotu než drevo s nižšou hustotou. Dôležitejším faktorom než hustota dreva je teda vždy chemické zloženie dreva (ÚNoD, 2010).

So zvyšujúcou vlhkosťou sa zvyšuje aj odolnosť dreva voči zapáleniu a horeniu. Je to spôsobené tým, že časť tepelnej energie je spotrebovávaná na odparovanie vody voľnej, narušenie väzieb a tiež na odparovanie vody viazanej. Navyše horľavé plyny, ktoré sú zriedené vodnou parou, majú v dôsledku nižšej koncentrácie aj horšiu zápalnosť. Voda obsiahnutá v dreve teda pôsobí ako dobrý retardér horenia, avšak pre negatívny vplyv na väčšinu fyzikálnych a mechanických vlastností je v praxi táto vlastnosť nevyužitelná (ÚNoD, 2010).

Ďalšou fyzikálnou vlastnosťou, ktorá významne ovplyvňuje horenie, je povrch materiálu. Drevo ako kapilárne-pórovitý materiál sa vyznačuje drsnosťou, ktorá je daná anatomickou stavbou a spôsobom opracovania. Kvalita povrchu má významný vplyv na koeficienty prestupu tepla a vlhkosti z dreva do prostredia, čo má význam pri difúzií vody a tepla v dreve. Kvalitný a hladký povrch odráža tepelnú energiu a tým je horšie zápalný než drsný povrch pri rovnakých záťažových podmienkach. Brúsené povrchy preto lepšie odolávajú pôsobeniu tepelného zdroja a čas vzplanutia dosahuje najvyššie hodnoty. Dôležitým faktorom z hľadiska šírenia tepla v dreve je aj pomer objemu telesa k jeho povrchu. S klesajúcou hodnotou tohto pomeru (štiepka, triesky, prachové častice) je zápalnosť omnoho jednoduchšia (ÚNoD, 2010).

---

Hlavné faktory ovplyvňujúce horľavosť dreva:

1. Chemické zloženie dreva – v priemere tvorí asi 30% zloženia dreva celulóza, nasleduje hemicelulóza 20 – 35% a lignín s 15 – 35%. Z pohľadu chemického zloženia majú vplyv na horľavosť dreva taktiež sprievodné látky, ktoré sú percentuálne málo zastúpené. Veľkosť zastúpenia sprievodných látok sa líši podľa dreviny a je ním daná odolnosť konkrétnych drevín voči termickému rozkladu. Rôzne dreviny sa správajú rôzne v priebehu horenia pri rovnakých zaťažovacích podmienkach (Blažej, 1975)
2. Štruktúra dreva – má priamy vplyv na fyzikálne vlastnosti dreva a tiež na horľavosť. Vplyv štruktúry dreva je daný veľkosťou otvorov mikro a makrokapilár, ktoré ovplyvňujú prenos kyslíka do drevnej hmoty a únik prchavých produktov (Požgaj a kol., 1997)
3. Hustota dreva – atribút, ktorý má významný vplyv na fyzikálne a mechanické vlastnosti dreva a tiež horľavosť. Je to dané tým, že hustejší materiál potrebuje väčšie množstvo energie na zapálenie a horenie. Súčasne ale nie je možné tvrdiť, že hustejšie drevo je menej horľavé, pretože veľkú rolu zohráva spomínané chemické zloženie (dôležitý je obsah hemicelulózy, ktorá je termicky najlabilnejšia) (Dubovský a Berešová, 1996).
4. Kvalita povrchu – drevo je kapilárno-pórovitý materiál, ktorý vykazuje drsnosť povrchu danú nielen spôsobom opracovania ale aj anatomicky. Na kvalitu povrchu vplývajú anatomické chyby, chyby vzniknuté opracovaním, mechanické poškodenia, nečistoty a podobne. Všetky tieto faktory udávajú súčiniteľ prestupu tepla a súčiniteľ prestupu látky. Hladké drevo s kvalitným povrchom odráža energiu sálavého a plamenného zdroja a je ťažšie zapáliteľné ako drevo s nekvalitným a drsným povrchom pri tých istých zaťažovacích podmienkach (Kačíková, 2005).
5. Obsah vody v dreve – rastúca vlhkosť dreva znižuje jeho horľavosť. Je to spôsobené tým, že časť energie sa spotrebuje na odparovanie vody voľnej. Vzniknutá vodná para zriedňuje horľavé plyny a znižuje zápalnosť. Voda

---

obsiahnutá v dreve teda funguje ako dobrý retardér horenia, avšak významne ovplyvňuje ostatné vlastnosti (Kačíková, 2005).

6. Termodynamické veličiny – menovite ide o špecifickú tepelnú kapacitu, tepelnú vodivosť, súčiniteľ prestupu tepla prúdením. Pri požiaroch sú tieto hodnoty pre nás neznáme a tým sú sťažené výpočty podľa teoretických vzťahov. Pri komplexných materiáloch ako je drevo musíme rozpoznať mikro a makro procesy termodynamických pochodov. Túto tematiku podrobne rozoberá Reinprecht, ktorý v prácach uvádza okrem matematických postupov na výpočet teoretických hodnôt aj hodnoty výhrevnosti dreva a kôry jednotlivých drevín (Reinprecht, 1996; Kačíková, 2005; Marková, 2002).
7. Geometrický tvar materiálu – významný vplyv na horľavosť dreva. Ide najmä o rozmery, hrúbku materiálu, priemer, počet hrán, uhly zaoblenia a pomer objemu k povrchu. Všetky tieto parametre určujú odolnosť dreveného prvku voči zapáleniu, rýchlosť a intenzitu horenia, no najmä posledný menovaný (pomer objemu k povrchu = triesky, úlomky, prach) výrazne zvyšuje zápalnosť (Osvald, 1997).

Všetky vyššie zmienené vlastnosti sa priamo odzrkadľujú v hodnotení reakcie dreva na oheň (kapitola 2.2.8). Hodnoty reakcie na oheň sú dané triedami B až E, v závislosti na vlastnostiach a použitej retardačnej úprave. Drevo aplikované v konštrukčných prvkoch je obvykle v triede B až D, avšak do výroby nábytku, interiérov a drevostavieb vstupujú aj materiály na báze dreva. Drevené kompozitné materiály (drevotrieskové dosky, dosky z orientovaných triesok, preglejky, drevovláknité dosky) vykazujú požiaro-technické vlastnosti ovplyvnené použitou drevinou, technológiou výroby a samotnou konštrukciou (hustota, hrúbka, retardačná úprava) (Kačíková, 2005).

Ak si chceme vytvoriť správnu predstavu o horení dreva, musíme perfektne poznať jeho chemické zloženie a reakcie jeho základných zložiek počas termického rozkladu. Celková predstava o stavbe dreva sa v posledných rokoch výrazne spresnila aj napriek tomu, že drevo je zložitý heterogénny koloidný súbor látok s pestrým chemickým zložením – celulóza, hemicelulóza, lignín a sprievodné zložky (Reinprecht, 2008).

---

## 2.1.4 Prenos tepla v dreve

V dreve sa vyskytujú všetky tri doposiaľ známe formy prenosu tepla: vedenia tepla (kondukcia), je formou prenosu energie hmotným prostredím, ktorého objemové elementy zostávajú v kľude. Prúdenie tepla (konvekcia) je formou prenosu energie hmotným prostredím avšak jeho objemové elementy vykonávajú translačný pohyb. Sálanie tepla (žiarenie, radiácia) je schopnosť telesa vyžarovať a prijímať energiu formou žiarenia pričom na prenos energie medzi telesami nie je potrebné hmotné prostredie. Pri dreve (najmä absolútne suchom) v najväčšej miere uplatňované vedenie tepla (ÚNoD, 2010).

### 2.1.4.1 Prenos tepla vedením

Vedenie tepla v dreve je fyzikálny jav podobný difúzií vody viazanej. Stacionárne vedenie tepla v dreve je definované Fourierovým zákonom, ktorý je alternatívou Fickovho zákona pre popis pohybu vody v dreve.

$$Q / (S \times t) = \lambda \times (\Delta T / L) \quad (1)$$

t – čas (s)

Q – množstvo tepla (J)

S – plocha kolmá k tepelnému toku (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  – teplotný rozdiel na koncoch telesa (°F)

L – vzdialenosť rozdielných teplôt (m)

$\lambda$  – koeficient tepelnej vodivosti (W.m-1.K-1)

Z tohto vzťahu je možné vyjadriť tepelný tok v telese vo Wattoch:

$$q = \lambda \times (\Delta T / L) \times S \quad (2)$$

---

Koeficient tepelnej vodivosti vyjadruje množstvo tepla, ktoré pretečie jednotkovou plochou za jednotku času pri jednotkovom gradiente teploty. Tento koeficient teda popisuje zmenu teploty v priestore a predpokladá konštantný priebeh v čase, čo odpovedá stacionárnym podmienkam deja. Drevo, obzvlášť v smere naprieč vlákien, je relatívne dobrým tepelným izolátorom. Na dobrých tepelno-izolačných vlastnostiach dreva sa podieľa v značnej miere jeho pórovitosť a výsledkom je napríklad značná odolnosť konštrukčných drevených prvkov voči ohni. Dlhá doba potrebná k zmene teploty v objeme dreva spoločne s merným teplom činí z dreva ideálny materiál pre hrubé obvodové steny (ÚNoD, 2010).

#### **2.1.4.2 Prenos tepla prúdením**

Prenos tepla prúdením (konvekciou) nastáva vtedy, keď tekutina (vzduch alebo voda) je v styku s predmetom vyššej teploty. Teplota tekutiny v styku s týmto predmetom rastie a tekutina sa rozťahuje, čím jej hustota klesá. Pretože sa tým stáva ľahšou než okolitá chladná tekutina, začne ohriata tekutina vplyvom vztlaku stúpať nahor. Časť chladnejšej tekutiny sa dostane na jej miesto, tam sa zahreje a proces môže pokračovať. (Halliday, 2001) Prenos tepla prúdením v našom prípade prebieha na rozhraní pevnej látky (dreva) a plynným, prípadne kvapalným prostredím. Voľné prúdenie sa uplatňuje pokiaľ prenos tepla spôsobuje zmenu hustoty kvapaliny a teplejšia časť stúpa nahor ako výsledok rastúceho vztlaku. Nútené prúdenie sa aplikuje aj vtedy, keď vonkajší zdroj, napríklad ventilátor chladenia, uvádza kvapalinu či plyn do pohybu. Prúdenie je teda tepelný tok v tekutinách alebo na rozhraní tekutiny a pevnej látky (Halliday, 2001).

#### **2.1.4.3 Prenos tepla žiarením**

Žiarenie (sálanie alebo radiácia) je spôsob prenosu energie medzi telesami s rôznou teplotou za pomoci elektromagnetických vln. K prenosu energie nie je potrebné na rozdiel od kondukcie a konvekcie, žiadne hmotné prostredie. Tepelný tok



---

vyžarujúceho predmetu závisí na veľkosti jeho povrchu  $S$  a teplote  $T$  v Kelvinoch a je daný Stefan-Boltzmannovým zákonom:

$$I = \sigma \times \varepsilon \times S \times T_o^4 \quad (3)$$

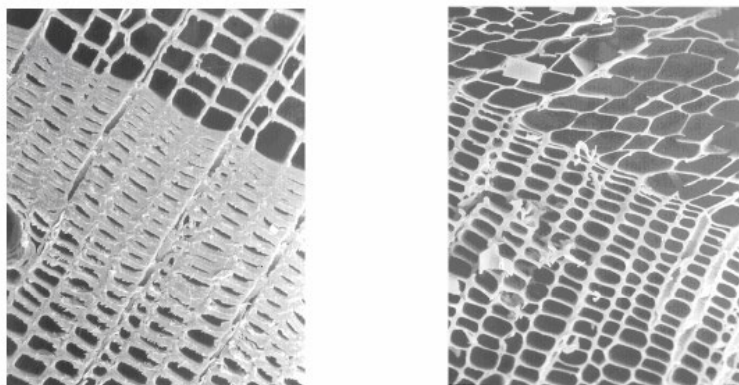
$\sigma$  – Stefan-Boltzmannova konštanta =  $5,6703 \times 10^{-8} \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K}^4)$

$\varepsilon$  - emisivita povrchu (0-1)

Emisivita povrchu predmetu nadobúda hodnoty v intervale 0 – 1 podľa zloženia povrchu. Predmet s najvyššou emisivitou by pohlcovavšetku energiu. Predmet teploty  $T$  vyžaruje energiu do svojho okolia a súčasne energiu z okolia prijíma (Halliday, 2001).

### 2.1.5 Zmena mikro a makroštruktúry dreva v dôsledku horenia

Medzi najmenej odolné zložky dreva patria hemicelulózy u ktorých zmena chemického zloženia a rozklad začína pri teplote 170 - 240°C, maximálny rozklad pri teplote 250 - 300°C. Celulóza je o čosi stabilnejšia a začína sa rozkladať pri teplote 250 - 350°C, maximálna rýchlosť uvoľňovania rozkladných produktov prebieha pri teplote 325°C. Najodolnejšou zložkou dreva je lignín, ktorého aktívny rozklad prebieha pri teplote až 300 - 400°C, zatiaľ čo plastifikácia lignínu sa odohráva už v endotermickej fáze pri teplote 100 - 200°C. Tepelný rozklad postupuje z lumenov cez vrstvu S3, ktorá obsahuje najviac hemicelulóz. Stenčenie bunečnej steny a degradáciu jej zložiek môžeme vidieť na obrázku 3. (Kačíková, 2005).



**Obrázok 3. Degradácia bunečnej steny vplyvom tepla**

Zdroj: Kačíková, 2005

---

Mikroskopické zmeny sa začínajú prejavovať už v bielej a svetlohnedej zóne. V týchto vrstvách začínajú praskať membrány na stenčeninách tracheíd, odlupujú sa tórusy a v svetlohnedej zóne začína výrazná degradácia týl. Bunečná stena si zachováva pôvodnú hrúbku. V tmavohnedej zóne sú zachované stopy priebehu fibríl, v zuhoľnatenej zóne sú výrazne stenčené bunečné steny. Takisto prebieha tvorba krištáľov v dreňových lúčoch a rýchla tepelná degradácia týl (Marková, 2002).

Na makroskopickej úrovni dochádza k viditeľným zmenám v tvorbe mikro až makrotrhlín, pozdĺžne i naprieč a takisto dochádza k zmenám farebného odtieňa dreva – obrázok 4 (Marková, 2002).

Farba sa mení v závislosti na rýchlosti a teplote ohrevu. Postupuje intenzívne od svetlej farby cez hnedú až čiernu, ktorou označujeme zuhoľnatenie dreva. Táto čierna vrstva vznikne ako dôsledok odbúrania polysacharidového podielu zložiek a ide o konečnú fázu horenia. Nachádza sa na celom povrchu degradovaného dreva a má retardačný účinok, pretože nevedie dobre teplo (Osvald, Štefko, 2013).



**Obrázok 4. Zmeny odtieňa ohorelého dreva po 1mm rezoch**

Zdroj: Marková, 2002

### **2.1.6 Teplota, druhy a vlastnosti plameňa**

Plameň je objem plynu, v ktorom prebieha proces horenia. Vzniká pri homogénnom horení, čo znamená že oxidovadlo a horľavina sú v plynnom štádiu. Látky v plynnom skupenstve a navzájom miešajú a vytvárajú horľavý celok. Vďaka prejavu tohto horenia, plameňa, ho nazývame plamenné horenie (Svatoň, 2000).

Druhým typom horenia je horenie heterogénne, teda horenie pevnej horľaviny s plynným kyslíkom. Tento dej prebieha na povrchu horľaviny a je charakteristický neprítomnosťou plameňa (Svatoň, 2000).

Teplota plameňa sa líši podľa rôznych zdrojov plameňa. Rozloženie teplôt v objeme a výške plameňa je následkom koncentrácie reagujúcich látok. Keďže je teplo spotrebúvané na ohrev a rozklad oxidovadla, nedosahuje teplota maximum ani v dolnej

časti plameňa kde sa nachádza stechiometrická zmes s najvyššou výhrevnosťou. Porovnanie teplôt plameňa môžeme vidieť v tabuľke 1. (Svatoň, 2000)

**Tabuľka 1 Teplota horenia podľa zdroja (Svatoň, 2000)**

Zdroj plameňa	Teplota °C
plynový horák	1 700 – 1975
horiaca zápalka	650 – 800
sviečka	850 – 950
cigareta	450 – 600
acetylén	± 2200

Pri horení pevnej látky, teda aj dreva, rozoznávame dva druhy horenia. Ide o hmotnostnú rýchlosť horenia a lineárnu rýchlosť horenia. **Hmotnostná rýchlosť horenia** označuje hmotnosť zhorenej látky za jednotku času na zvolenom priereze ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ). **Lineárna rýchlosť horenia** označuje hmotnostnú rýchlosť horenia v pomere k hustote ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (Bučko, Osvald, 1997).

Príklady rýchlosti horenia pevných látok môžeme vidieť v tabuľke 2.

**Tabuľka 2 Rýchlosť horenia pevných látok (Bučko, Osvald, 1997)**

Názov	Stredná rýchlosť horenia [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
drevo (14% vlhkosť)	50
prírodný kaučuk	30
fenoplasty	10
papier	30

---

## **2.1.7 Požiarno-technické charakteristiky dreva**

Požiarno-technické charakteristiky udávajú vlastnosti a správanie materiálu pri teplotnom namáhaní. Ide najmä o teplotu vzplanutia, teplotu vznietenia, výhrevnosť, spalné teplo, rýchlosť odhorievania a rýchlosť uvoľňovania tepla. Aby sme dokázali predpokladať ako sa bude drevo správať v podmienkach požiaru, je dôležité tieto charakteristiky poznať (PECL, Jan, 2011. Rozdělení hořlavých látek a jejich požárně technické charakteristiky. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/soubor/1-1-02-pdf.aspx>)

### **2.1.7.1 Teplota vzplanutia**

Teplota vzplanutia horľavej látky je definovaná ako najnižšia teplota vzduchu prúdiaceho okolo testovanej vzorky, pri ktorej sa z testovanej vzorky uvoľní také množstvo plynných produktov rozkladu, ktoré pôsobením zápalného zdroja vzplanie (PECL, Jan, 2011. Rozdělení hořlavých látek a jejich požárně technické charakteristiky. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/soubor/1-1-02-pdf.aspx>).

### **2.1.7.2 Teplota vznietenia**

Teplota vznietenia je daná ako najnižšia teplota vzduchu prúdiaceho okolo testovanej vzorky, pri ktorej dôjde k vznieteniu pár a plynov uvoľnených z horľavej látky v zmesi so vzduchom (PECL, Jan, 2011. Rozdělení hořlavých látek a jejich požárně technické charakteristiky. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/soubor/1-1-02-pdf.aspx>).

### **2.1.7.3 Výhrevnosť a spalné teplo**

Výhrevnosť dreveného materiálu je definovaná množstvom tepelnej energie, ktorá sa uvoľní dokonalým spálením jedného kilogramu materiálu. Výhrevnosť je udávaná v jednotkách MJ/kg. Pri výhrevnosti sa nepočíta s kondenzačným teplom vodnej pary vytvorenej pri spaľovaní.

---

Spalné teplo je definované rovnako ako výhrevnosť, ale pri spalnom teple sa počíta s kondenzačným teplom vodnej pary vytvorenej z vody pri spaľovaní dreva (PECL, Jan, 2011. Rozdělení hořlavých látek a jejich požárně technické charakteristiky. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/soubor/1-1-02-pdf.aspx>).

#### **2.1.7.4 Rýchlosť odhorievania**

Rýchlosť odhorievania je charakteristická pre všetky materiály. Uvádza sa hmotnostným úbytkom tepelne namáhaného materiálu, alebo lineárnym úbytkom materiálu. Hmotnostný úbytok je vyjadrený úbytkom hmotnosti za časovú jednotku na meter štvorcový ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), zatiaľ čo lineárna rýchlosť odhorievania je vyjadrená časovou jednotkou ( $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (PECL, Jan, 2011. Rozdělení hořlavých látek a jejich požárně technické charakteristiky. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/soubor/1-1-02-pdf.aspx>).

#### **2.1.7.5 Rýchlosť uvoľňovania tepla**

V súčasnosti ide o najpoužívanejšiu veličinu udávanú pri horení materiálu. Rýchlosť uvoľňovania tepla je používaná pre postupy popisujúce javy, ku ktorým dochádza pri požiaroch v uzavretých priestoroch. Je vyjadrená ako množstvo uvoľneného tepla zo spaľovaného materiálu za jednotku času. Jednotkou tejto veličiny teda je  $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$  alebo  $\text{W}$ . Rýchlosť uvoľňovania tepla nie je v priebehu horenia konštantná a mení sa v závislosti na čase (PECL, Jan, 2011. Rozdělení hořlavých látek a jejich požárně technické charakteristiky. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/soubor/1-1-02-pdf.aspx>).

---

## 2.2 RETARDÉRY HORENIA

Retardéry horenia sú látky, ktoré svojou reakciou pri pôsobení zvýšenej teploty znižujú horľavosť a teda degradáciu dreva. Retardéry horenia majú obvykle funkciu katalyzátora, ktorý dokáže ovplyvniť rýchlosť potrebnú k dosiahnutiu chemickej rovnováhy a takisto môže meniť proces tvorby paliva a jeho zapáliteľnosť, nedokáže ale meniť intenzitu tepelného toku. Pre zabezpečenie účinnej retardácie horenia je nevyhnutné ovplyvniť reakcie, ktoré prebiehajú na začiatku jednotlivých etáp horenia (iniciácia, propagácia, terminácia) (Svatoň, 2000).

Antipyrény znižujú a spomaľujú horenie dreva rôznymi spôsobmi:

1. Vytvorením ochranného obalu = drevo chránené proti zahriatiu.
2. Zabránením prístupu kyslíka = narúšanie trojuholníka horenia.
3. Podporovaním zuhoľnatenej vrstvy = chráni drevo a spomaľuje horenia.
4. Úpravou povrchu a spojov dreva = oddialenie iniciácie horenia (Svatoň, 2000).

Tieto látky na základe niekoľkých fyzikálnych a chemických spôsobov spomaľujú termický rozklad a horenie dreva. Znamená to, že dokážu rôznym spôsobom narušiť trojuholník horenia:

1. Aplikované retardéry horenia sa pri tepelnom pôsobení rozkladajú, pričom odoberajú z okolitého prostredia teplo a tak znižujú teplotu prostredia a tiež atakovaného dreva (Reinprecht, 1995).
2. Retardéry horenia znižujú množstvo kyslíku použiteľného pre horenie. Svojím rozkladom uvoľňujú do prostredia veľké množstvo nehorľavých plynov, ktoré sa riedia s horľavými plynmi uvoľnenými z dreva pri horení (napríklad z amónnych solí sa pri zvýšených teplotách uvoľňuje nehorľavý amoniak, vodná para i CO<sub>2</sub>), a týmto spôsobom obmedzia prístup kyslíku k drevu. Podobne tak znižujú koncentráciu kyslíku v blízkosti dreva i priamo v dreve (napríklad chloridy sú schopné naviazať na seba kyslík) (Reinprecht, 1995).

- 
3. Na povrchu dreva vytvárajú zuhoľnatenú vrstvu, ktorá funguje ako tepelne izolačná vrstva pred ohňom (tuhá zuhoľnatená pena vznikne z penotvorných intumescentných náterov, respektíve drevné uhlie sa rýchlejšie tvorí za podpory síranov, fosforečnanov alebo chloridov) (Reinprecht, 1995).
  4. Zabraňujú prístupu kyslíka k vonkajšiemu i vnútornému povrchu dreva (napríklad vodné sklo, ktoré vytvára na povrchu dreva nepriepustnú taveninu, respektíve vo vnútri buniek dreva z boritanov) (Reinprecht, 1995).
  5. Podporujú dehydratáciu celulózy a iných zložiek dreva (fosforečnany usmerňujú rozklad dreva viac na vodu a menej na horľavé plyny) a bránia rozpáleniu drevného uhlia, ktoré je potenciálnym zdrojom opätovného zapálenia dreva a pokračovania požiaru (Reinprecht, 1995).

Retardéry horenia sa spravidla vyrábajú ako koncentrované roztoky anorganických solí alebo vodné disperzie polymérov s prísadou penotvorných a retardačných zložiek. Dnes sa na ochranu dreva používajú intumescentné nátery a amónne soli ako chlorid amónny, síran či hydrogenfosforečnan amónny (Svatoň 2000).

### **2.2.1 Typy retardérov horenia**

Retardéry horenia je možné rozdeliť do štyroch skupín:

1. Prvá skupina – retardéry, ktoré pracujú na princípe uvoľňovania nehorľavých plynov v tepelnom rozsahu, kedy sa tvoria horľavé plyny v dôsledku tepelného rozkladu dreva. To spôsobuje zriedenie horľavých plynov, znižuje sa ich koncentrácia a sťažuje sa ich zapálenie. Najpoužívanejšími zlúčeninami používanými na ochranu dreva pred ohňom sú rôzne anorganické soli. Medzi výhody patrí dobrá rozpustnosť vo vode a teda použitie v rôznych impregnačných postupoch (Osvald, 1997).

- 
2. Druhá skupina – retardéry, ktoré kumulujú teplo zo zdroja a tým tepelný zdroj znižuje svoju teplotu. Nie sú veľmi používané, pretože rýchlo podliehajú starnutiu čo spôsobuje ich neúčinnosť (Osvald, 1997).
  3. Tretia skupina – intumescentné retardéry, ktoré vytvárajú na povrchu materiálu penu. Majú najvyššiu účinnosť čo im zaisťuje najširšie uplatnenie. Účinnosť je spôsobená dvomi úrovňami (fyzikálne-chemická). V prvej úrovni sa počas pôsobenia tepla vytvorí z retardéru hrubá, niekoľko centimetrová pena. Táto úroveň ochrany je fyzikálna, pretože vzniknutá pena odďaľuje povrch dreva od zdroja tepla a súčasne je pena slabý vodič tepla takže sa drevo nezahrieva. Druhá úroveň spočíva v chemickej ochrane, kedy pri pôsobení tepla dochádza k chemickým reakciám, ktoré spomaľujú proces horenia (Osvald, 1997).
  4. Štvrtá skupina – mechanické retardéry, ktoré fungujú na princípe mechanického zamedzenia kontaktu ohňa s povrchom materiálu. Ide o rôzne nehorľavé fólie alebo obklady (Osvald, 1997).

### **2.2.2 Požiadavky na retardéry horenia**

Na retardéry horenia sú kladené požiadavky rovnako ako na všetky ostatné látky upravujúce vlastnosti dreva. Vzhľadom na účel použitia dreva ošetreného retardérom horenia je nutné správne evaluovať vhodný ošetrojúci prostriedok. Najčastejšie požiadavky na vlastnosti sú rozdelené na základné a vedľajšie (Svatoň, 2000)

Základné požadované vlastnosti:

1. Odolnosť proti ohňu.
2. Spomaľovanie horenia.
3. Zhášanie horenia.
4. Zamedzenie dodatočného zhavenia zuhoľnatenej vrstvy (Svatoň, 2000)

Vedľajšie požadované vlastnosti:

1. Trvanlivosť antipyrénu v dreve.



- 
2. Priľnavosť k drevu, penetrácia do dreva.
  3. Zachovanie mechanických vlastností prírodného dreva.
  4. Zachovanie možnosti povrchovej úpravy dreva.
  5. Zdravotná nezávadnosť.
  6. Jednoduchá príprava, nízka cena (Svatoň, 2000).

### 2.2.3 Organické antipyrény

V súčasnosti sú antipyrény na báze organických zlúčenín používané v menšej miere, uprednostňujú sa vodné roztoky anorganických zlúčenín. Správny účinok týchto látok nezávisí len na spôsobe použitia, spôsobe nanášania ale aj na výbere vhodného typu antipyrénu. Žiadna látka nespĺňa všetky požiadavky a tak dochádza k vývoju nových, lepších zmesí pre konkrétny účel (Svatoň, 2000).

Medzi najbežnejšie používané organické antipyrény patria:

1. Citráty – účinnú látku tvoria soli kyseliny citrónovej, majú však malú účinnosť.
2. Umelé živice – nátery na močovino-formaldehydovej báze majú vďaka andiaminovej živici dobrú účinnosť voči horeniu, používajú sa ale v súčinnosti s fosforečnanom amonným . Táto prímies pomáha živiciam pri ochrane dreva vytvorením penovej vrstvy, z rovnakého dôvodu sa ale nepoužíva pri hĺbkových impregnáciách (Svatoň, 2000).

Iné látky organického pôvodu sa pre ochranu dreva pred ohňom nepoužívajú, kvôli nízkej účinnosti. Ich použitie sa zužuje na prímiesy alebo pre doplnenie množstva iných retardérov (Horský, 1987).

Retardéry sú účinné iba vtedy, keď sú použité v dostatočnom množstve. Laboratórne sa teda určuje množstvo ochrannej látky ku ktorému sa pridáva ochranný faktor, takže takmer vždy je nutné aplikáciu opakovať viackrát po sebe (Svatoň, 2000).

---

#### 2.2.4 Arabinogalaktán

Arabinogalaktán je prírodný polysacharid, ktorý je zložený z galaktóz a arabinového cukru. Je to taktiež mix vetiev polysacharidov s vysokým stupňom vetvenia. Proteíny obsahujú hydrolázy, proteázy, glykosidázy, peroxidázy, esterázy, stenami spojené kinázy, hydroxyprolín – bohaté glykoproteíny. Arabinogalaktanproteín (AGP) je jednou z najzložitejších rodín makromolekúl nájdených v rastlinách. Zložitost' vyplýva z veľkej rozmanitosti glykánov zdobených chrbticu bielkovín, ktoré tvoria 90 – 98% z celkového masy. Z tohto dôvodu je nemožné riešiť presnú funkciu jedného AGP. Je známe, že sa podieľa na rade procesov vraste a vývoji rastlín, vrátane D-glukózy, D-galaktózy, L-arabínózy, L-ramnózy, D-fukosy COOH [8]. Môžeme ho avšak nájsť vo väčšine rastlín. Viaže sa na proteín a tvorí súčasť pevnej bunkovej steny. Smrekovcový arabinogalaktán sa extrahuje z rastlinnej bunky vo svojom prirodzenom stave. Extrakčný proces na báze vody je úplne bez rozpúšťadiel. To dohromady robí z arabinogalaktánu ekologicky šetrný výrobok (Makovická Osvaldová, Čiernik, Osvald, 2017).

Makovická Osvaldová s kolektívom experimentálne overili, že látka arabinogalaktán môže byť použitá ako prírodný retardér horenia. Výsledkom tohto experimentu bolo preukázanie pozitívneho účinku retardéra na spomalenie horenia pre drevovláknité dosky.

#### 2.2.5 Anorganické antipyrény

Na ochranu dreva pred ohňom sa najčastejšie používajú vodné roztoky anorganických zlúčenín. Ide najmä o:

1. Amonné soli – hlavne fosforečnan amónny, síran amónny a bromid amónny. Fosforečnany majú dobré protipožiarne vlastnosti aj pri náterovej aplikácii, narozdiel od síranov a ostantých solí, ktoré vyžadujú tlakovú impregnáciu. Medzi hlavné negatíva patrí korozívny účinok, na druhej strane účinne znižujú zhavenie dreveného uhlia (Horský, 1987).

- 
2. Fosforečnany – používa sa najmä veľmi účinný terciálny fosforečnan draselný, ktorý je hygroskopický. Medzi hlavné negatíva patrí korozívny účinok na kovové predmety (Horský, 1987).
  3. Chloridy a bromidy – najpoužívanejšie sú chlorid horečnatý, chlorid zinečnatý, chlorid vápenatý a chlorid hlinitý, chlorid a tiež bromid amónny. Vyžadujú aplikáciu tlakovou impregnáciou, pri aplikácii náterom nie sú dostatočne účinné (Horský, 1987).
  4. Sírany – najúčinnější je síran amónny a síran hlinitý, síran hlinito-draselný a síran horečnatý. Tieto látky sú hygroskopické, medzi negatíva ale patrí rýchle zvetrávanie, čím strácajú svoj účinok a tiež korozívny účinok na kovy (Horský, 1987).
  5. Uhličitan – najúčinnější uhličitan sú uhličitan draselný a uhličitan sodný. Na rozdiel od uhličitanu sodného má uhličitan draselný retardačný účinok už pri aplikácii náterom. Uhličitan sodný vyžaduje aplikáciu tlakovou impregnáciou aby mal dostatočný účinok. Obe látky majú korozívny účinok a sú hygroskopické (Horský, 1987).
  6. Boritany – použitím boritanov tlakovou impregnáciou môžeme dosiahnuť vysokú odolnosť a to nielen voči ohňu ale aj biologickým činiteľom (huby, plesne). K účinným látkam patrí kyselina boritá, tetraboritan amónny, tetraboritan sodný. Medzi pozitívne vlastnosti patrí, že nespôsobujú koróziu, ale môžu sa ľahko vylúhovať vo vode (Horský, 1987).
  7. Vodné sklo – ide o koloidný roztok kremičitanu sodného, prípadne kremičitanu draselného. Jeho použitie je najčastejšie vo forme náteru alebo postreku, takže nejde aplikovať pomocou tlakovej impregnácie. Princíp fungovania je založený na tom, že vodné sklo sa pri vysokých teplotách rozpúšťa a vytvára ochrannú vrstvu na povrchu dreva. Vďaka tomu patrí k dnes najpoužívanejším prostriedkom na ochranu dreva pred ohňom. Medzi negatíva patrí rýchle

---

zvetrávanie na vzduchu, čím sa narušuje súvislá vrstva náteru a odlupuje sa. Prevenciou je aplikovanie opakovaných náterov a vlhké prostredie (Horský, 1987).

### 2.2.6 Aplikácia retardérov horenia

Rovnako dôležitou súčasťou procesu ochrany dreva pred požiarom je nielen vhodne zvolená látka s retardačnými účinkami, ale jej aplikácia na drevo. Rovnako ako pri výbere retardéra, je dôležité mať na zreteli konečné použitie dreveného výrobku a na tomto základe zvoliť relevantnú aplikáciu ochrannej látky. Pri použití dreva do vonkajších priestorov, kde je vystavené nepriaznivým atmosférickým vplyvom, je vhodné zvoliť hĺbkovú ochranu. Na druhú stranu drevo určené do interiéru môže byť ošetrené povrchovou ochranou (Horský, 1987).

Retardéry horenia sa najbežnejšie vyskytujú vo forme kvapalín a teda sa pri ich aplikácií používajú dva spôsoby – **povrchové ošetrenie** dreva a **hĺbková impregnácia**.

Pri **povrchovom ošetrení** dreva sa ochranná látka aplikuje náterom, striekaním, ponáraním alebo máčaním. Z fyzikálneho hľadiska sú tieto metódy založené na difúzií a kapilárnom tlaku a teda je hrúbka ošetrenej vrstvy  $\pm 2\text{mm}$ . Pri povrchovej aplikácií je nutné zaistiť rovnomernú vrstvu aplikovanej látky a v niekoľkých vrstvách. Na dosiahnutie tejto podmienky je dôležité pri aplikácií striekaním zaistiť rovnomernú vzdialenosť striekacích trysiek od ošetrovaného dreva po celý čas aplikácie. Výhodou striekania ochrannej látky je v rýchlosti nanosenia a aplikácií aj na menej dostupné miesta. Z tohto dôvodu sa striekanie hodí na konštrukčné prvky a zložitejšie konštrukcie. Bežne sa pri nanášaní používa aj proces máčania alebo ponárania. Obidve metódy je takisto možné aplikovať v niekoľkých vrstvách, je nutné ale zamedziť tvorbe vzduchových bubliniek. Rozdiel medzi máčaním a ponáraním je v čase aplikácie – ponáranie trvá niekoľko sekúnd zatiaľ čo máčanie 15 a viac minút (Reinprecht 2008).

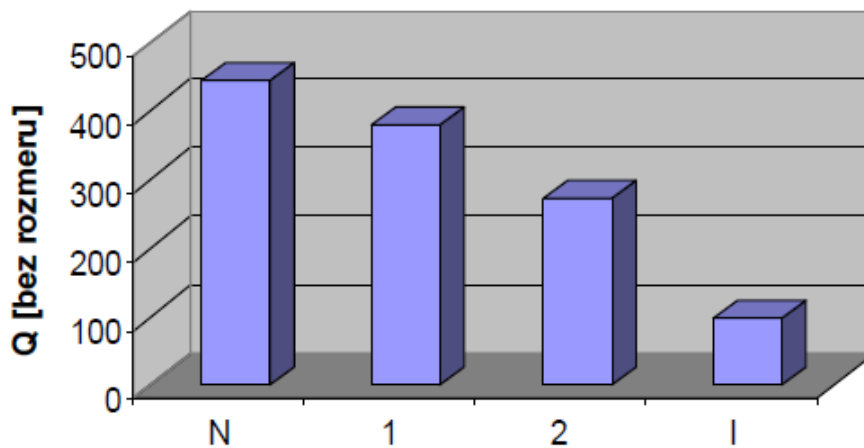
Pri **hĺbkovom ošetrení** dreva, tlakovej impregnácií, dochádza k oveľa hlbšej aplikácií ochrannej látky (väčšinou k beli až k jadru). Pri dobrých vlastnostiach dreva je touto metódou možné impregnovat' aj jadro. Táto metóda je založená na zvýšení tlaku (0,8MPa) alebo vákua (0,2MPa) prípadne kombinácií obidvoch zmienovaných. Impregnáciou je možné aplikovať iba tie druhy antipyrénov, ktoré obsahujú pevné

---

častice, ktoré vniknú do dreva(to znamená, že napríklad nie je možné impregnovat' vodným sklom). Týmto sa dosahuje vyššia účinnosť ochrany dreva v porovnaní s povrchovým ošetrením (Holan, 2006).

Pri impregnácií sa používajú tlakové kotle rovnako ako pri impregnácií dreva proti biotickým činiteľom, vďaka čomu je pri aglomerovaných materiáloch možnosť aplikovať ochrannú látku priamo do hmoty materiálu (Horský 1987).

Z uvedených poznatkov vyplýva, že nielen výber, ale aj vhodná aplikácia ochranej látky má významný vplyv na účinnosť retardačného procesu. Toto overila Makovická-Osvaldová s Osvaldom a výsledok účinnosti retardéru v závislosti od jeho aplikácie môžeme vidieť na obrázku 5.



N – neupravený materiál, 1 – jednostranný náter, 2 – dvojstranný náter, I – impregnácia ,  
Q – hodnote pre zaradenie do triedy horľavosti podľa STN 73 0862

### **Obrázok 5. Účinnosť retardéru v závislosti na jeho aplikácií**

Zdroj: Retardačné úpravy horenia dreva (Osvald, Makovická-Osvaldová, 2011)

Z uvedeného obrázku môžeme vidieť, že vplyv technológie použitej pri aplikácií retardéru na drevo, je veľmi veľký za významne ovplyvňuje hodnotu Q pri teste horľavosti (Osvald, Makovická-Osvaldová, 2011).

---

### 2.2.7 Stanovenie horľavosti materiálu

Bežné, prakticky používané postupy na stanovenie horľavosti materiálu sú tri. Ide o hodnotenie tendencie šírenia zóny horenia, hodnotenie uvoľňovaného tepla a stanovenie kyslíkového čísla (Filipi, 2003).

Horľavosť materiálu popisuje jeho správanie po zapálení a je posudzovaná na základe vonkajších prejavov procesu horenia. Zmyslom stanovenia horľavosti je určenie, do akej miery prispievajú horľavé materiály k šíreniu a rozvoju požiaru (Filipi, 2003).

Definovanie šírenia plameňa po povrchu materiálu je v protipožiarnej ochrane veľmi dôležité. Existuje mnoho metód, akými je možné túto charakteristiku určiť, pretože žiadna z nich nie je univerzálna. Dôvodom je, že skúšky sú závislé na tvarovej modifikácii materiálu, prípadne tiež na účele použitia daného materiálu. Hlavná odlišnosť medzi existujúcimi metódami pre stanovenie šírenia plameňa, je predovšetkým v používaní rôznych zdrojov zapálenia. Vo všeobecnosti teda môžeme povedať, že schopnosť materiálov šíriť plameň závisí na teple uvoľnenom pri horení materiálu, fyzikálne vlastnosti materiálu a vplyv okolitých podmienok (Filipi, 2003).

Ďalšími metódami slúžiacimi na stanovenie horľavosti materiálu sú tie, pri ktorých je rozhodujúcim činiteľom množstvo uvoľneného tepla, ktoré sa v priebehu horenia uvoľňuje. Tieto metódy sú nazývané kalorimetrické. Používajú sa veľkorozmerové (požiarna výhrevnosť) a častejšie malorozmerové, ktoré prebiehajú v laboratóriách na skúšobných prístrojoch ako sú kyslíkový kalorimeter, spaľovací mikrokolorimeter a kónický kalorimeter. Skúšobné metódy malorozmerové sú vzdialenejšie od reálneho priebehu požiaru, ale umožňujú testovanie viacerých druhov materiálov, výsledné hodnoty majú väčšiu presnosť sú lepšie spracovateľné. Veľkorozmerové skúšobné metódy sa používajú vo výnimočných prípadoch, pretože sú ekonomicky náročné (Filipi, 2003).

Rozlišujeme tiež skúšobné metódy statické, kam patrí skúška na kyslíkovom kalorimetri, ktorý stanovuje spalné teplo, ktoré udáva maximálne množstvo tepla uvoľneného pri spaľovaní testovaného materiálu. Ďalšie skúšobné metódy sú dynamické, ktoré poskytujú širokú škálu nameraných údajov, príkladom tejto metódy je skúška na kónickom kalorimetri. Podľa normy ISO 5660 – 1 je táto skúška najužitočnejšia a najprogressívnejšia spomedzi skúšobných postupov. Jej podstatou je stanovenie rýchlosti uvoľňovania tepla v priebehu horenia horľavých materiálov. Údaje sú

---

zaznamenávané od zapálenia materiálu až po zhasnutie. Môžeme teda konštatovať, že meranie veličiny rýchlosť uvoľňovania tepla tvorí jednu z najdôležitejších vlastností horľavých materiálov (Filipi, 2003).

Stanovenie kyslíkového čísla je založené na princípe, kedy materiál horí definovaným spôsobom v atmosfére, v ktorej je nastavená najnižšia koncentrácia zmesi kyslíka a dusíka. Materiál je zapálený vo zvislej polohe pomocou zapalovacieho horáku. K ďalšiemu horeniu je nutné aby v zóne horenia vznikalo dostatočné množstvo tepla, ktoré je závislé na koncentrácií kyslíka v prostredí horenia materiálu. Kyslíkové číslo materiálu teda vyjadruje koncentráciu kyslíka, pri ktorej materiál zhasne do troch minút od zapálenia. Ak ale množstvo kyslíka mierne zvýšime, horenie bude pokračovať. Bežne používané materiály majú kyslíkové číslo v rozmedzí hodnôt 17 – 40 (Filipi, 2003).

### **2.2.8 Reakcia materiálu na oheň**

Reakcia materiálu na oheň je vlastnosť materiálu, na základe ktorej sú tieto materiály rozdelené do jednej zo siedmich tried. Reakcia na oheň je definovaná ako príspevok výrobku k rozvoju požiaru, ktorému je exponovaný. Pri vyhodnocovaní reakcie na oheň sledujeme viacero ukazovateľov – schopnosť zapáliť materiál aj malým plameňom, množstvo tepla a dymu vznikajúcich pri horení, najvyššia rýchlosť uvoľňovania tepla a dymu, odpadávanie prípadne odkvapkávanie horiaceho materiálu.

Triedy reakcie na oheň sú: A1, A2, B, C, D, E, F. Trieda reakcie A1 popisuje materiál ktorý je nehorľavý, resp. neprispieva k rozvoju požiaru, ktorému je exponovaný. Do tejto triedy spadajú konštrukčné materiály ako tehly, betón a oceľ. Na opačnej strane stupnice sa nachádza trieda F, do ktorej môžeme zaradiť neupravený polystyrén (ktorý by sa už nemal na trhu nachádzať). Vhodnou úpravou materiálu, napríklad polystyrén s aplikovaným samozhášaním (trieda E), sa môže konštrukčný materiál posunúť o niekoľko tried vyššie. Rastlé drevo spadá do triedy D avšak vhodnými úpravami sa môže kategorizovať až do triedy B (Kačíková, 2005). Príklady reakcie na oheň rôznych stavebných materiálov môžeme vidieť v tabuľke č. 3.

**Tabuľka 3 Reakcia stavebných materiálov na oheň**

<b>Stavebný materiál</b>	<b>Reakcia na oheň</b>
Kameň, betón, tehly, keramika, sklo, kovy	A1
Sadrokartón, drevo-cementové dosky	A2
Listnaté drevo, preglejky	B
Ihličnaté drevo, drevotrieskové dosky	C,D
DTD laminované, DVD dosky, lepenky	E

### **2.2.9 Skúšanie antipyrénnych úprav dreva**

Odolnosť jednotlivých druhov drevín voči ohňu a účinnosť jednotlivých ochranných látok sa skúša rôznymi skúšobnými metódami. Tieto metódy sa delia na:

1. Orientačné – ide o rýchle ale iba orientačné stanovenie účinnosti ochrannej látky
2. Laboratórne – vykonáva sa za rovnakých (normovaných) podmienok, ktoré dávajú veľmi presný obraz o účinnosti ochrannej látky
3. Praktické – tieto skúšky sú vykonávané v podmienkach veľkých skúšobní, na kompletných výrobkoch alebo priamo v teréne. Získava sa nimi ešte presnejší a názornejší obraz o ochrannom prostriedku (Svatoň, 2000).

Normatívne predpisy týkajúce sa požiarnej odolnosti dreva a ďalších stavebných materiálov stanovujú množstvo skúšok a meraní požiarnej vlastností všetkých používaných materiálov a metodiku na skúšanie ich kombinácií. Najdôležitejšími skúškami pri určovaní požiarnej technických charakteristík pevných materiálov sú:

1. Stanovenie stupňa horľavosti ČSN 73 08 62.
2. Stanovenie šírenia plameňa po povrchu materiálu modifikácie ASTM E 84.
3. Stanovenie horľavosti metódou kyslíkového čísla (OI) ČSN 64 07 56 (Svatoň, 2000).



---

Pre drevársky priemysel má veľký význam stupeň horľavosti – hodnota s ktorou sa bežne stretávame. V norme ČSN 73 08 62 je presne stanovený postup zisťovania stupňa horľavosti. Pre lepšiu predstavu, tento proces spočíva v týchto krokoch:

1. Skúška prebieha v presne definovanej skúšobnej komore, opatrenej dvomi tyčovými výhrevnými telesami a pozdĺžnym plynovým horákom, zapisovačom teplôt, regulačným transformátorom, ampérmetrom a tlakovou nádobou s propánbutanom. Ďalej sú potrebné stopky, váha, dĺžkové meradlo a prietokový plynomer. Počas skúšky sa sníma teplota unikajúcich plynov a tiež teplota povrchu vzorky. Zariadenia musia byť kalibrované (podľa normy).
2. Skúšobný súbor je tvorený piatimi vzorkami s rozmermi 22 x 19,5 cm. Hrúbka vzorky je 5 – 20 mm. Vzorky sa klimatizujú (20°C, 60%) a presne odvážia. Umiestnenie vzoriek je v predpísanej vzdialenosti od horáku.

Skúška začína zapálením plynového horáku po dobu presne troch minút (prebieha meranie teploty a času) a po uplynutí tejto doby sa horák na dve minúty vypne. Následne sa zapne horák a takisto aj výhrevné telesá na 15 minút, potom sa zariadenie vypne a vzorka sa odoberie. Pokiaľ vzorka horí, je uhasená. Z každej skúšky je vypracovaný normou presne stanovený záznam (Svatoň, 2000).

Pri vyhodnocovaní sa počítajú rozdiely teplôt oproti kalibračnej skúške (v 3. minúte, v 5. minúte a pri maximálnom rozdiely) a vzorky sa znovu zväžia. Spočítajú sa aritmetické priemery hodnôt a dosadia sa do vzorca na výpočet stupňa horľavosti daného normou. Zo vzorca sa vypočítava hodnota čísla Q (Svatoň, 2000).

**Tabuľka 4 Označenie stupňa horľavosti (Svatoň, 2000)**

Hodnota čísla Q	Označenie stupňa horľavosti
< 50	A nehorľavé
50 – 150	B neľahko horľavé
150 – 300	C1 ťažko horľavé
300 – 600	C2 stredne horľavé
> 600	C3 ľahko horľavé

---

## 3 Tepelná modifikácia dreva

Tepelná modifikácia dreva je proces, pri ktorom cielene zvýšime jeho teplotu aby sme zlepšili jeho vlastnosti. Typicky je drevo po termickej modifikácii odolnejšie proti biologickým škodcom (huby, plesne) a odolnejšie voči vode. Pokiaľ zvýšime teplotu dreva do rozmedzia 180 - 280 °C v časovom úseku 15 minút až 24 hodín tak nastávajú najzreteľnejšie zmeny v štruktúre dreva, ktoré sa následne odzrkadľujú v jeho vlastnostiach. Ide hlavne o zníženie pevnosť, zvýšenie odolnosť voči biotickým činiteľom, zvýšenie hygroscopicitu a v neposlednom rade je rozmerovo stabilnejšie. Vo všeobecnosti sa drevo stane odolnejším voči biologickým škodcom, poveternostným vplyvom, ale znížia sa jeho mechanické vlastnosti. Miera a rozsiahlosť týchto zmien je daná podmienkami prostredia a tiež vlhkosťou dreva. Podmienkami prostredia sú oxidačná atmosféra alebo prostredie bez prítomnosti vzduchu. Drevo sa pôsobením týchto faktorov stáva rozmerovo stabilnejším, a to vďaka tomu, že tvorba esterových a ďalších chemických väzieb v lignínovo-sacharidovej matici dreva prebieha už pri teplote 110 °C (Reinprecht 2008).

### 3.1 Výroba termicky modifikovaného dreva

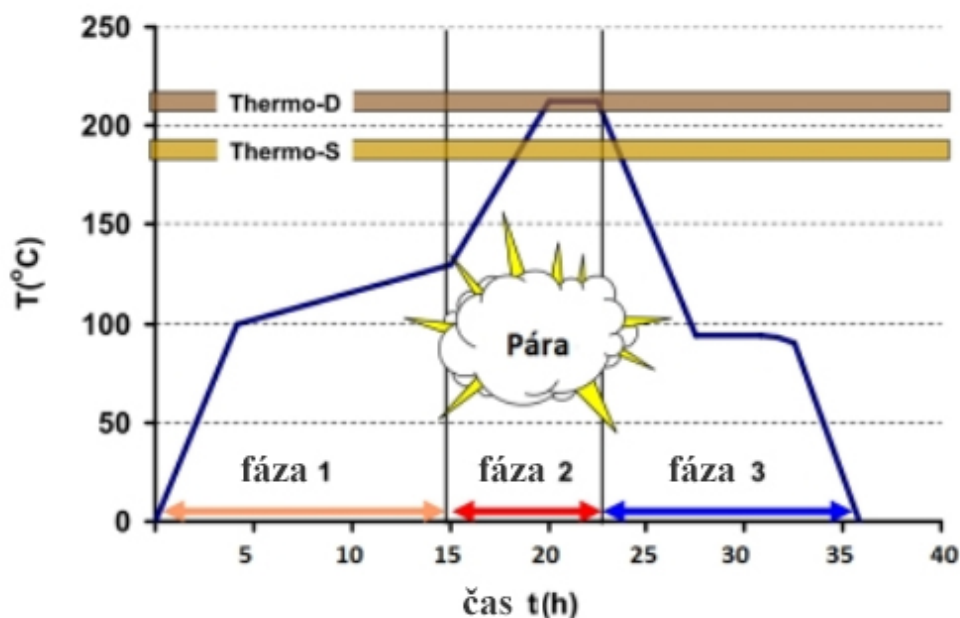
Výroba termicky modifikovaného dreva prebieha rôznymi technológiami. Najčastejšie sa v Európe používajú technológie ThermoWood, PLATO, OHT, Royal a retifikačný proces.

#### 3.1.1 ThermoWood

ThermoWood sa vyrába tepelným spracovaním (160 – 215 °C). Tento proces zahŕňa zahriatie dreva na teplotu presahujúcu teplotu samovoľného vznietenia, pomocou vodnej pary, ktorá má pri tomto procese tiež ochrannú funkciu. Celý proces využíva iba teplo a vodnú paru bez pridania akýchkoľvek chemikálií. Samotný proces tepelného spracovania trvá približne 36 hodín a delí sa na 3 fázy (Reinprecht 2008).

1. Prvá fáza – v komorách prebieha vysokoteplotné sušenie za pomoci vodnej pary, kedy sa drevo prudko zahreje na 100 °C a následne je teplota pozvoľne zvyšovaná až na 130 °C, kedy drevo dosiahne približne nulovú vlhkosť. Doba tejto sušiacej fázy je výrazne ovplyvnená počiatočnou vlhkosťou dreva, druhom dreviny a hrúbkou reziva. V priebehu tohto sušenia sa voda voľná uvoľňuje v dôsledku rozdielu povrchového napätia a tlaku pary (Reinprecht 2008).
2. Druhá fáza – v ďalšej komore dochádza k samotnému tepelnému spracovaniu, kde je teplota zvyšovaná na 185 – 215 °C v závislosti na stupni tepelnej úpravy (Thermo-S alebo Thermo-D). Pri dosiahnutí cieľovej teploty je táto teplota udržiavaná po dobu 2 – 3 hodín (Reinprecht 2008).
3. Tretia fáza – drevo je po tepelnom ošetrení kontrolovane ochladzované na teplotu 80 – 90 °C a súčasne zvlhčované aby dosiahlo konečnú vlhkosť približne 6% (Reinprecht 2008).

Proces výroby ThermoWoodu môžeme vidieť na obrázku 6.



**Obrázok 6. Proces výroby Thermowoodu**

Zdroj: [www.prokom.cz](http://www.prokom.cz)

---

### 3.1.2 PLATO

Proces výroby termicky modifikovaného dreva technológiou PLATO je zložený zo 4 fáz. Každá fáza sa navzájom líši zmenou tlaku, teploty alebo doby trvania. Tieto parametre sú ovplyvnené druhom dreveniny, hrúbkou reziva a tiež geometrickým tvarom (Reinprecht, 2008).

1. Prvá fáza – tiež označovaná ako hydrotermolýza, prebieha tak, že pri zvýšenom tlaku (0,6 – 1MPa) a zvýšenej teplote (150 – 190 °C) je drevo hydrotermicky upravené pomocou vodnej pary alebo horúceho vzduchu. Celkový čas tejto fázy je približne 5 hodín (Reinprecht, 2008).
2. Druhá fáza – sušenie, ktoré prebieha až na vlhkosť 8 – 10%. Táto časť procesu trvá najdlhšie a môže zabráť až 5 dní (Reinprecht, 2008).
3. Tretia fáza – vytvrdzovanie dreva, prebieha približne 12 – 16 hodín pri teplote 150 – 190 °C a tlaku 0,1MPa. Počas tejto fázy je zamedzený prístup vzduchu k drevu a vlhkosť klesá pod 1% (Reinprecht, 2008).
4. Štvrtá fáza – kondicionovanie, počas ktorého prebieha zvlhčovanie dreva na konečnú vlhkosť 4 – 6%. Táto fáza trvá približne 3 dni (Reinprecht, 2008).

### 3.1.3 OHT

Termická úprava dreva pomocou procesu OHT (Oil Heat Treatment) prebieha v impregnačnom kotle, v ktorom sa nachádza rastlinný olej (najbežnejší je ľanový) s teplotou 220 – 230 °C. Olej postupne preniká do dreva a zahrieva ho, cieľová teplota je 180 – 200 °C, ktorá je udržiavaná 2 – 4 hodiny. Následne prebieha kontrolované ochladzovanie ošetreného dreva, čo spôsobí rozmerovú stálosť (Reinprecht, 2008).

---

### 3.1.4 Royal

V súčasnosti najmenej využívaný spôsob tepelnej modifikácie dreva. Prebieha takisto v impregnačnom kotle, pri nižšej teplote (60 – 90 °C) a pri zníženom tlaku. V impregnačnom kotle je rastlinný olej, ktorý ale nevniká do bunkových stien dreva a po ukončení procesu sa odsáva pri vákuu (Reinprecht, 2008).

### 3.1.5 Retifikačný proces

Drevo je najprv vysušené na vstupnú vlhkosť 12%. V inertnom prostredí dusíka je drevo zahrievané až na teploty 210 – 260 °C a pri tejto teplote mierne pyrolyzuje. Keďže termooxidačné procesy prebiehajú iba v nižšej miere, tak sa do určitej miery zachováva pôvodná pevnosť dreva (Reinprecht, 2008).

## 3.2 Vlastnosti termodreva

**Hygroskopicitá** je veľmi dôležitá vlastnosť termodreva, ktorá ovplyvňuje aj ostatné vlastnosti, najmä rozmerovú stabilitu a odolnosť voči biologickým škodcom. Táto vlastnosť je definovaná ako schopnosť dreva prijímať a odovzdávať vodu do okolitého vzduchu. Je reprezentovaná rovnovážnou vlhkosťou. Termodrevo má v porovnaní s tepelne neupraveným drevom menšiu hygroskopicitu. V bežnej klíme interiéru pri teplote 20 °C a relatívnej vlhkosti vzduchu približne 60% je rovnovážna vlhkosť dreva rastlého dreva na úrovni 10% zatiaľ čo u termodreva vyrobeného retifikačným alebo Thermowood procesom výrazne nižšia 3 - 5%. Obdobne je to aj u Plato dreva, ktorého rovnovážna vlhkosť sa vzhľadom k neupravenému drevu charakterizuje zníženými sorpčnými krivkami, pričom táto vlhkosť sa pomerne najviac znižuje pri relatívnych vlhkostiach vzduchu 70 - 90%. Termodrevo má tiež lepšiu rozmerovú stabilitu, čo sa prejavuje pri napúčaní a následnom zosychaní kde dosahuje iba 50 - 90% z hodnôt pôvodného dreva. Z toho vyplýva, že termicky modifikované drevo je vhodné na používanie tam, kde sa požaduje iba minimálne vlhkosťné pracovovanie, napríklad pre parkety v interiéri, terasové podlahy a podobne (Reinprecht, 2008).

---

**Biologická odolnosť** termodreva významne závisí od procesu jeho výroby a expozičných podmienok. Vo väčšine prípadov sa zlepšuje, to znamená že v porovnaní s rastlým drevom lepšie odoláva hubám, hmyzu a iným škodcom. Druhy dreva, ktoré sú málo trvanlivé alebo netrvanlivé (podľa EN350-1) sa po termickej úprave stanú trvanlivými prípadne až veľmi trvanlivými. Výrazné zlepšenie bioodolnosti termodreva bolo zistené hlavne voči celulózoformným a lignínovorným druhom drevokazných húb a to hlavne pri použití dlhších a tvrdších režimov termickej úpravy (Reinprecht, 2008).

**Odolnosť voči poveternostným vplyvom** u termodreva tiež výrazne závisí od technologického postupu výroby. Pri tmavších termodrevách sa vplyvom UV žiarenia, zrážok, pôsobením kyslíka, emisií a ostatných atmosférických činiteľov mení pôvodne hnedá farba na šedú. Z tohto dôvodu je nutné termodrevo povrchovo ošetriť olejmi alebo farbami. Naopak vďaka nižšej rovnovážnej vlhkosti a zvýšenej rozmerovej stabilite majú dobrú odolnosť voči tvorbe povrchových trhlín (Reinprecht, 2008).

**Protipožiarna odolnosť** termodriev je približne rovnaká ako u rastlých driev. Významnejší vplyv na zníženie šírenia plameňa má drevo vyrobené procesom OHT, čo je spôsobené prítomnosťou zvyškových olejov a voskov (Reinprecht, 2008).

**Pevnosť dreva** upraveného vysokými teplotami je vo väčšine prípadov horšia ako u rastlých driev. Dôvodom je že zvýšená teplota narúša komponenty dreva, hlavne hemicelulózu, ktorá má významný vplyv na pevnostné vlastnosti. Pevnosť termodreva sa znižuje v závislosti od výrobného procesu a špecificky aj od druhu dreva. Drevo je po termickej úprave krehkejšie, klesá jeho ohybová a ťahová pevnosť približne o 10 - 30%. Z uvedeného vyplýva, že termodrevo nie je vhodné používať pre nosné prvky drevených konštrukcií (Reinprecht, 2008).

**Farba a vôňa** sú zmenené a sú pre termodrevo charakteristické. Takto upravené drevo získava hnedú farbu v závislosti na dĺžke výrobného procesu a pôsobiacej teplote. Farba termodreva je obdobná ako u exotických drevín a drevo získava typický zápach (Reinprecht, 2008).

**Technické vlastnosti** sú väčšinou dobré, avšak vplyvom zníženia hustoty a narušenia hemicelulózy sa zhoršujú niektoré vlastnosti ako napríklad odolnosť voči abrazívnym vplyvom. Z pohľadu lepenia sú vhodné polyuretánové a fenol-formaldehydové lepidlá zatiaľ čo PVAC neposkytujú dostatočný lepený spoj. Termodrevo je vhodné na aplikovanie protipoveternostných náterov, negatívom ale je

---

zvýšená korózia kovových spojovacích prostriedkov, pravdepodobne v dôsledku prítomnosti kyseliny mravčej a octovej (Reinprecht, 2008).

**Akustické vlastnosti** niektorých termodriev sú veľmi zaujímavé. Pre hudobné nástroje možno pri miernejších teplotných podmienkach pripraviť špeciálne druhy termodriev, ktorých štruktúra a vlastnosti sú zhodné s dlhodobo prirodzene skladovaným drevo. Typicky ide o mierny nárast modulu pružnosti a tiež mierny pokles hmotnosti v dôsledku odbúrania hemicelulóz. Akustické vlastnosti termicky modifikovaných driev sú veľakrát obdobné drevu historických hudobných nástrojov, čo sa často využíva pri reštaurovaní (Reinprecht, 2008).

---

## 4 Metodika diplomovej práce

Na základe poznatkov získaných z odbornej literatúry, odborných časopisov a tiež z dôveryhodných internetových zdrojov (napríklad vedecký portál BioResources dostupný na <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/> alebo výskumná platforma ResearchGate dostupná na <https://www.researchgate.net/>) vytvoriť rozbor technológií používaných pri výrobe termicky modifikovaného dreva. Vytvoriť prehľad o druhoch retardérov horenia, ich použití a vlastnostiach a zmapovať oblasť požiarneho testovania. V experimentálnej časti vykonať testovanie vzoriek dreva podľa vhodnej už existujúcej metodiky, ktorá sa skladá z týchto krokov:

1. Príprava vzoriek,
2. Sušenie vzoriek,
3. Termická modifikácia
4. Ošetrovanie vzoriek retardérom horenia,
5. Testovanie vzoriek na overenie účinnosti retardéru horenia.

V závere diplomovej práce na základe experimentu zhodnotiť vplyv termickej modifikácie, porovnať účinky prírodného retardéru horenia a syntetického antipyrénu.



---

## 5 Metodika experimentálnych prác

Výskum prebehol na drevine Meranti (*Shorea*), pochádzajúcej z juhovýchodnej Ázie. Ide o jednu z najpoužívanejších tropických drevín, ktorá sa používa na stolárske a nábytkárske výrobky, podlahy a konštrukcie. Drevo má hrubú, vlákniťú textúru s otvorenými pórmí a má rovné vlákna. Vďaka tomu stromy Meranti produkujú vhodnú surovinu pre dlhé a rovné kusy reziva. Podobne ako teak a ďalšie tvrdé dreviny, je Meranti odolné voči hmyzu, hubám a plesniam. Drevo Meranti je rozmerovo stabilné a odolné voči krúteniu či iným tvarovým zmenám, avšak na zvýšenie odolnosti voči otvorenému ohňu je nutné jeho dodatočné ošetroenie. Veľmi populárnym a tiež ekologickým spôsobom je tepelná modifikácia dreva, ktorej zmyslom je znížiť obsah horľavých látok nachádzajúcich sa v dreve. Ďalším benefitom je, že tepelná modifikácia môže byť vhodnou alternatívou na zvýšenie fyzikálnych a estetických vlastností, ktoré zvyšujú trhovú hodnotu a tiež použiteľnosť dreva. Táto úprava prebieha pri pôsobení teplôt v rozmedzí 180 – 260 °C z dôvodu, že teploty pod 140 °C nemajú významný vplyv na štruktúru materiálu a prchavé látky sublimujú až pri vyšších teplotách. Proces tepelnej modifikácie musí byť veľmi šetrný a presný aby nedošlo k zníženiu kvality upravovaného materiálu (teploty nad 260 °C môžu mať za následok nežiadúcu degradáciu).

Viacerí autori sa zhodujú, že teplota má kľúčový vplyv na výsledné vlastnosti modifikovaného dreva. Certifikované technológie, ktoré sa komerčne využívajú na tepelnú modifikáciu dreva, sa líšia nielen v použitej teplote ale aj v čase pôsobenia teploty, okolitej vlhkosti, použití plynného alebo kvapalného prostredia a ďalších parametroch. Všetky menované parametre majú významný vplyv na výsledok modifikácie.

Cieľom experimentu bolo preskúmať vplyv teploty použitej pri termickej modifikácii (20 °C, 160 °C, 180 °C a 210 °C) na požiarne charakteristiky (úbytok hmotnosti počas 600 s, rýchlosť horenia počas 600 s, maximálna rýchlosť horenia, pomer maximálnej rýchlosti horenia a čas, potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia) a tiež overiť vplyv prírodného (arabinogalaktán) a syntetického (Flamgard) retardéru horenia. Aby bolo možné objasniť vzťah teploty použitej pri tepelnej modifikácii a požiarnych charakteristík, je nutné poznať chemické zloženie testovaného dreva (extraktívne látky, lignín, holocelulóza, hemicelulóza a celulóza). Vzťah teploty použitej pri tepelnej modifikácii a požiarnymi charakteristikami bol analyzovaný Spearmanovou koreláciou.

---

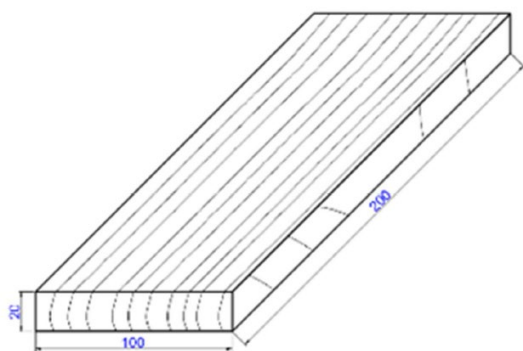
## 5.1 Materiál

Pre experiment boli vytvorené tri súbory skúšobných vzoriek. Vstupnou surovinou bolo drevo Meranti, z ktorého boli narezané radiálne rezivo s rozmermi 20 x 100 x 200 mm (obrázok 7). Následne bola zmeraná dĺžka, šírka a hrúbka vzorky s presnosťou na dve desatinné miesta.

## 5.2 Príprava vzoriek

Vzorky boli označené spôsobom MERANTI, typ termickej úpravy a použitý typ retardéru horenia (teda MERANTI 160 PRR = prírodný retardér horenia). Následne bola zmeraná hustota pred vykonaním experimentu a všetky vzorky boli vysušené na rovnovážnu vlhkosť 12% v kontrolovaných podmienkach (relatívna vlhkosť  $65 \pm 3\%$  a teplota  $20 \pm 2$  °C) a rozdelené do troch súborov podľa použitého retardéru horenia:

1. Termicky upravené vzorky (TM).
2. Vzorky s aplikovaným syntetickým retardérom horenia (SRR).
3. Vzorky s aplikovaným prírodným retardérom horenia (PRR).



**Obrázok 7. Tvar a rozmery vzorky**

Zdroj: Čekovská a kol.,2017

Po vysušení boli vzorky ošetrené antipyrénom. Z dôvodu jeho vlastností ako sú jednoduchá extrakcia z rastlín a ekologická nezávadnosť bol ako prírodný retardér

horenia zvolený arabinogalaktán. Ide o polysacharid prirodzene sa vyskytujúci v rastlinách, ktorý je známy svojim retardačným účinkom.

Ďalší súbor vzoriek bol ošetrený syntetickým retardérom horenia, látkou Flamgard. Ide o dvojzložkovú speniteľnú, vodou-riediteľnú náterovú látku, ktorá obsahuje koksotvornú zložku, zložku kyseliny fosforečnej, speňujúcu zložku, spojivá, plnidlá a aditíva. Vrstva náteru vytvára na povrchu materiálu biely matný povlak. Flamgard bol na vzorky aplikovaný v troch vrstvách tak aby výsledný náter tvoril výdatnosť aspoň 500 g/m<sup>2</sup>. Druhá zložka, akrylový vrchný náter, bol aplikovaný v jednej vrstve tak aby výdatnosť bola aspoň 80 g/m<sup>2</sup>. Sušenie aplikovanej vrstvy prebiehalo podľa inštrukcií výrobcu pri teplote 20 °C. Parametre nanášaného ochranného prostriedku sú zobrazené v tabuľke 5.

**Tabuľka 5. Parametre nanášaného ochranného prostriedku**

Zložka náteru	pH	Hustota	Typ riedidla	Maximálna vlhkosť dreva	Obsah neprchavých zložiek	Teplota prostredia pri aplikácii	Doba vytvrdzovania
Povrchová zložka	2 - 3	1.2 g/cm <sup>3</sup>	horúca voda	10 %	min. 62%	10 – 35 °C	12 h/vrstva
Akrylový vrchný náter	-	0.97 g/cm <sup>3</sup>	C 6000	-	31.5%	20 °C	4 h

Termická modifikácia vzoriek prebehla použitím procesu ThermoWood, ktorý bol vyvinutý spoločnosťou VTT (Fínsko). V prvom kroku boli zahriate v termickej komore typu S400/03 (výrobca LAC s.r.o., Rajhrad, Česká Republika) s nastavenými teplotami 160,180 a 210 °C. Proces termickej úpravy prebiehal v ochrannej atmosfére za pomoci vodnej clony, aby sa predišlo prehriatiu a spáleniu materiálu. Termická modifikácia prebiehala v troch fázach, ktoré sú znázornené v tabuľke 6. Všetky vzorky boli vysušené použitím sušiarne typu ULM 400 (výrobca Memmert GmbH&Co. KG, Schwabach, Nemecko) pri teplote 103 ± 2 °C. Týmto krokom sa zjednotila vlhkosť vzoriek a boli zaistené rovnaké vstupné podmienky pre experiment.

**Tabuľka 6. Parametre termickej modifikácie**

Parametre termickej modifikácie			
Teplota (°C)	160	180	210
Ohrievanie (h)	13.5	13.6	18.7
Termická úprava (h)	3.0	3.0	3.0
Ochladzovanie (h)	9.6	11.1	11.2
Celkový čas úpravy (h)	26.1	27.7	32.9

Termická modifikácia prebiehala v troch fázach:

1. Prvá fáza termickej modifikácie spočíva v zahrievaní dreva. Počas tejto fázy je drevo postupne zahrievané až kým nedosiahne požadovanú výslednú hodnotu 160,180 a 210 °C.
2. V druhej fázy je výsledná teplota udržiavaná po dobu troch hodín. Tento čas je rovnaký pre všetky výsledné teploty.
3. Tretia fáza spočíva v postupnom ochladzovaní materiálu až na teplotu 40 °C tak, aby nedošlo k teplotnému a vlhkosťnému šoku po otvorení komory.

Po procese termickej modifikácie boli vzorky uložené na 3 hodiny v miernom prostredí a znovu zistená hustota materiálu. Hodnoty hustoty pred tepelnou úpravou a po tepelnej úprave sú uvedené v tabuľke 7. Parametre na základné určenie kvality vzoriek, obsah vlhkosti a hustota, boli stanovené podľa ISO 13061-2 a 13061-1.

**Tabuľka 7. Hustota vzoriek pred a po TM**

Teplota	Teplota termickej modifikácie (°C)			
	neupravené	160°C	180°C	210°C
Hustota pred TM (kg/m <sup>3</sup> )	526	462	534	626
Hustota po TM (kg/m <sup>3</sup> )	526	425	508	450

---

### 5.3 Metóda pre hodnotenie požiarnych charakteristík

Pre experiment bola zvolená metóda simulovania skutočných podmienok požiaru podľa ČSN 73 0862/B. Táto hodnotiacia metóda dobre simuluje proces horenia dreva so stálym prístupom vzduchu a voľným prúdením spalín. Túto metódu popísala Čekovská a kol., 2017 a spočíva v použití otvoreného plameňa propánového horáku USBEC 1011/1. Testovaná vzorka je umiestnená pod uhlom 45° voči horizontálnej rovine a exponovaná plameňu z propánového horáku. Veľkosť plameňa je 10cm od ústia horáku a je umiestnený doprostred testovanej vzorky zo spodnej strany. Základné meranie trvá 10 minút, avšak v druhej časti metódy je vzorka odsunutá ďalej od plameňa a ďalej sa zaznamenáva úbytok hmotnosti a rýchlosť odhorievania po dobu 5 minút. Týmto krokom sa zisťuje priebeh odhorievania kvôli predpokladu, že rozžhavená časť dreva bude ďalej pokračovať v degradácii dreva a môže nastať opätovné vznietenie a vzplanutie. Schéma testovacieho zariadenia je zobrazená na obrázku 8.



**Obrázok 8. Schéma testovacieho zariadenia**

Zdroj: Čekovská a kol.,2017

Vysvetlivky: 1 – propánový horák, 2 – trubica na prívod plynu, 3 – držiak horáku, 4 – horák, 5 – držiak vzorky, 6 – váha, 7 – prepojenie váhy s PC, 8 - PC

Horák funguje ako zdroj regulovaného plameňa s výkonom 1,7 kW. Hmotnosť bola meraná pomocou váhy Mettler-Toledo (MS1602S / MO1, Mettler-Toledo, Geneva, Švajčiarsko) a zmeny hmotnosti boli zaznamenávané pomocou software BalanceLink 4.2.0.1 (Mettler-Toledo, Geneva, Švajčiarsko). V priebehu testu boli zmeny hmotnosti

---

zaznamenávané každých 10 sekúnd. Zo získaných hodnôt následne môžeme zistiť veličiny úbytok hmotnosti a priemernú rýchlosť odhorievania.

#### 5.4 Výpočet vybraných charakteristík pre účely experimentu

Všetky dáta požiarных charakteristík boli vyhodnotené použitím software Statistica 13 (Statsoft Inc., Tulsa, USA) pomocou dvojfaktorovej metódy rozptylu ANOVA. Proces zistenia hustoty dreva vzoriek bol prevedený podľa ISO 13061-2 a meranie vlhkosti prebehlo podľa ISO 13061-1. Obidve veličiny boli namerané pred a takisto po termickej modifikácií.

Na základe vzorca (4) bola vypočítaná **hustota** vzoriek.

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w * b_w * l_w} = \frac{m_w}{V_w} \quad (4)$$

$\rho_w$  – hustota pri určitej vlhkosti  $w$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$m_w$  – hmotnosť pri určitej vlhkosti  $w$  (kg)

$a_w, b_w$  a  $l_w$  – rozmery vzorky pri určitej vlhkosti  $w$  (m)

$V_w$  – objem pri určitej vlhkosti  $w$  ( $\text{m}^3$ )

**Vlhkosť** vzoriek bola stanovená a overená pred testovaním a tiež po testovaní. Tieto výpočty boli vykonané podľa ISO 13061-1 (2014), uvedené v nasledujúcom vzorci 5.

$$w = \frac{m_w - m_0}{m_0} \times 100 \quad (5)$$

$w$  – vlhkosť vzorky (%)

$m_w$  – hmotnosť vzorky pri určitej vlhkosti (kg)

$m_0$  – hmotnosť vzorky pri 0% vlhkosti (kg)

---

Výpočet **úbytku hmotnosti** (6) prebehol podľa ČSN 73 0862/B-2 (1991) :

$$m = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (6)$$

$m$  – úbytok hmotnosti (%)

$m_0$  – hmotnosť vzorky pred experimentom (g)

$m_1$  – hmotnosť vzorky počas časového intervalu 10 s (g)

Výpočet **rýchlosti odhorievania** (7) prebehol podľa vzorca:

$$v = \frac{m_t - m_{t+10}}{m_{t_0}} \times 100 \quad (7)$$

$v$  – rýchlosť horenia (%/s)

$m_t$  – hmotnosť vzorky v čase  $t$  (g)

$m_{t+10}$  – hmotnosť vzorky o 10 sekúnd neskôr (g)

$m_{t_0}$  – hmotnosť vzorky v čase 0 (g)

Pomer **maximálnej rýchlosti** (8) bol vypočítaný:

$$P = \frac{v_{\max}}{T_{\max}} \quad (8)$$

$P$  = pomer maximálnej rýchlosti horenia (%)

$v_{\max}$  = maximálna rýchlosť horenia (%.s)

$T_{\max}$  = čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia (s)

V tabuľke 9. sú uvedené stredné hodnoty účinku sledovaných parametrov horenia spolu s variačným koeficientom v zátvorkách (uvedené v %).

Všetky vzorky boli mechanicky roztrieskované na piliny s veľkosťou 0,5 – 1 mm a následne sa extrahovali v Soxhletovom prístroji pomocou zmesi etanolu a toluénu podľa normy ASTM D1107-96. Obsah lignínu bol stanovený podľa normy ASTM D1106-96. Obsah holocelulózy a celulózy bol zistený pomocou Seifertovej metódy a na základe rozdielu týchto dvoch veličín bol stanovený obsah hemicelulózy. Dáta boli prezentované ako percentá hmotnosti dreva po sušení v sušiarňi na neextrahované drevo. Získané

---

hodnoty sledovaných charakteristík horenia a percentuálne obsahy chemických látok v dreve boli vyhodnotené softvérom Statistica 13. Chemickú analýzu zložiek dreva Meranti môžeme vidieť v tabuľke 8.

**Tabuľka 8. Chemická analýza zložiek dreva Meranti**

<b>T (°C)</b>	<b>Extraktívne látky (%)</b>	<b>Lignín (%)</b>	<b>Holocelulóza (%)</b>	<b>Celulóza (%)</b>	<b>Hemicelulóza (%)</b>
<b>20</b>	2.51 (2.37)	32.41 (0.25)	79.47 (0.52)	53.04 (0.89)	26.43 (3.25)
<b>160</b>	3.22 (1.94)	36.81 (0.26)	74.19 (0.96)	51.02 (0.19)	23.18 (3.44)
<b>180</b>	3.20 (1.47)	36.42 (0.24)	73.05 (0.21)	52.04 (0.31)	21.26 (1.46)
<b>210</b>	3.92 (2.32)	35.32 (0.37)	62.96 (0.54)	59.07(0.60)	4.43 (13.26)

Štatistický význam vplyvu termickej modifikácie a retardérov horenia na hodnoty sledovaných požiarnej charakteristiky je zobrazený v tabuľke pod grafom sledovanej požiarnej charakteristiky. Tabuľka opisuje štatistický význam účinkov požiarnej charakteristiky na termickú modifikáciu a ošetrovanie antipyrénom vrátane ich interakcie s drevom Meranti.



**Tabuľka 9. Priemerné hodnoty parametrov horenia**

Faktory		Parameter horenia				
Ošetrovanie vzorky	Teplota (°C)	WL 600 s (%)	BR - 600 s (%·s <sup>-1</sup> x 10 <sup>-5</sup> )	MBR (%·s <sup>-1</sup> )	RMBR (%)	TRMBR (s)
Termická modifikácia	(referenčná vzorka)	5 (19.8)	0.37 (8.0)	3 (19.3)	0.0 (8.5)	72 (6.2)
	160	6 (10.6)	0.38 (11.1)	4 (18.5)	0.1 (15.0)	53 (15.9)
	180	7 (12.9)	0.45 (7.0)	3 (12.8)	0.1 (5.5)	60 (11.8)
	210	4 (17.8)	0.23 (10.7)	3 (12.9)	0.0 (15.1)	68 (15.7)
Syntetický retardér horenia	(referenčná vzorka)	2 (20.7)	0.46 (18.1)	1 (19.0)	0.1 (19.5)	27 (10.1)
	160	2 (12.3)	0.32 (6.9)	2 (13.7)	0.1 (13.7)	16 (8.6)
	180	2 (18.3)	0.67 (14.4)	2 (18.6)	0.1 (15.0)	16 (8.6)
	210	2 (11.7)	0.66 (12.3)	2 (13.4)	0.2 (13.4)	16 (8.6)
Prírodný retardér horenia	(referenčná vzorka)	8 (8.9)	0.54 (11.0)	3 (18.5)	0.1 (17.0)	44 (12.4)
	160	8 (8.5)	0.80 (14.3)	4 (5.9)	0.1 (17.5)	58 (19.0)
	180	8 (5.4)	0.74 (15.3)	4 (8.7)	0.1 (14.7)	38 (11.8)
	210	8 (13.9)	0.65 (13.7)	5 (6.8)	0.1 (11.2)	32 (14.0)

Legenda:

- WL – weight loss = úbytok hmotnosti,
- BR – burning rate = rýchlosť odhorievania,
- MBR – maximum burning rate = maximálna rýchlosť odhorievania,
- RMB – ratio of the maximum burning rate = pomer maximálnej rýchlosti odhorievania,
- TRMBR – time to reach maximum burning rate = čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti odhorievania.

---

## 6 Výsledky

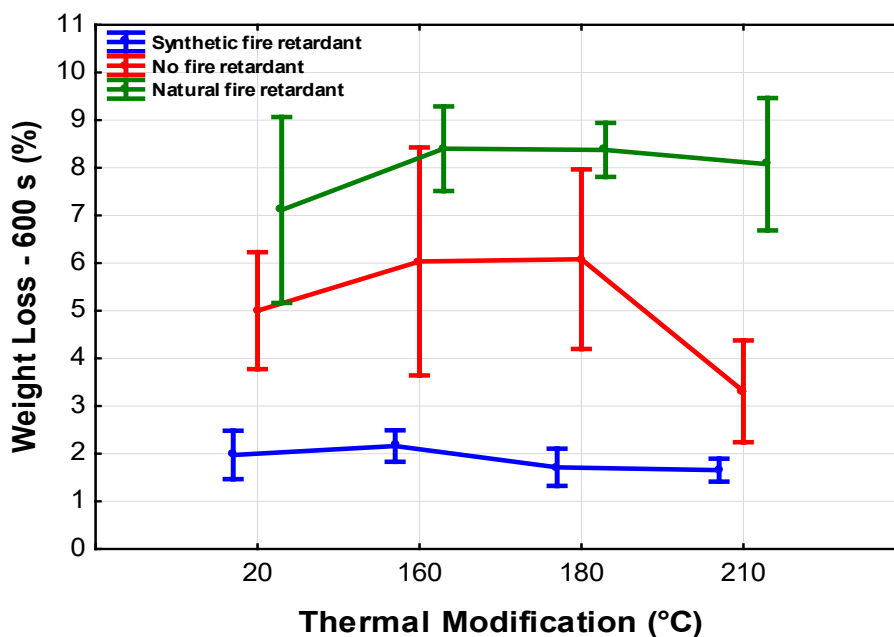
Pre vyhodnotenie nameraných hodnôt bola použitá dvojfaktorová analýza rozptylu, kde sú hodnotené jednak účinky jednotlivých sledovaných faktorov (účinkov antipyrénu a tiež tepelná modifikácia), ale aj účinky dvojfaktorovej interakcie (účinkov antipyrénu x tepelná modifikácia). Bola stanovená hladina významnosti  $p = 0,05$  podľa ktorej boli určované štatisticky významné a štatisticky nevýznamné faktory. Pokiaľ je hodnota hladiny významnosti  $p = <0,05$  tak ide o štatisticky významné faktory. V opačnom prípade keď je hladina významnosti  $p = >0,05$  ide o štatisticky nevýznamné faktory. Hodnota závislej premennej, pokiaľ sú všetky ostatné vysvetľujúce premenné hypoteticky nulové, je v tabuľkách označená ako „Intercept“.

Na základe nameraných výsledkov vidíme, že termická modifikácia spolu s retardérom horenia mali významný vplyv na vybrané sledované požiarne charakteristiky (úbytok hmotnosti, pomer maximálnej rýchlosti horenia a čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia). Na ostatné charakteristiky (rýchlosť horenia a maximálna rýchlosť horenia) mala termická modifikácia zanedbateľný vplyv.

### 6.1 Úbytok hmotnosti

Z nameraných hodnôt vidíme, že aplikácia retardéru horenia má výrazný vplyv na úbytok hmotnosti počas horenia. Najnižšiu hodnotu úbytku hmotnosti dosahovala vzorka s aplikovaným syntetickým retardérom horenia a naopak najvyššiu hodnotu úbytku hmotnosti počas horenia dosahovala vzorka s aplikovaným prírodným antipyrénom. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na úbytok hmotnosti počas horenia je zobrazený v grafe 1 a vplyv jednotlivých faktorov na úbytok hmotnosti pri horení je zobrazený v tabuľke 10.

**Graf 1. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na úbytok hmotnosti pri horení**



**Tabuľka 10. Vplyv jednotlivých faktorov na úbytok hmotnosti**

Sledovaný faktor	Súčet štvorcov	Stupne voľnosti	Rozptyl	Fisherov test F	P - Hladina významnosti
<b>Úbytok hmotnosti – 600 s (%)</b>					
Intercepcia	1495.404	1	1495.404	1430.428	***
Retardér	374.391	2	187.196	179.062	***
TM	14.324	3	4.775	4.567	***
Retardér xTM	17.222	6	2.870	2.746	***
Chyba	50.180	48	1.045		
Model opisuje približne <b>89.0%</b> z celkového súčtu štvorcov.					

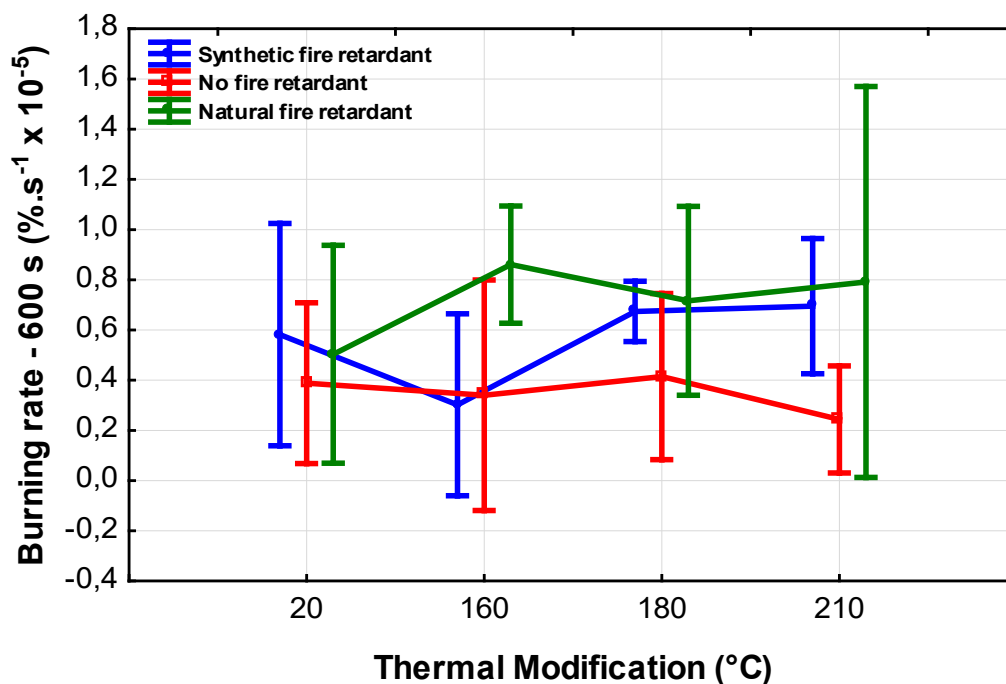
\*\*\* – hladina významnosti  $P < 0,05$  = štatisticky významná

NS – štatisticky nevýznamná

## 6.2 Rýchlosť horenia

Z nameraných dát je viditeľné, že v prípade charakteristiky rýchlosti horenia sa očakávaný efekt znižovania rýchlosti horenia aplikovaním retardérov horenia nepotvrdil. Takmer vo všetkých prípadoch boli hodnoty rýchlosti horenia dreva ošetreného retardérom horenia rovnaké alebo vyššie ako hodnoty iba tepelne modifikované dreva. Syntetický a prírodný antipyrén vykazujú podobné správanie pri 160 °C, ale syntetický antipyrén dosahuje lepší výsledok – nižšiu rýchlosť horenia. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na rýchlosť horenia je zobrazený v grafe 2 a vplyv jednotlivých faktorov na rýchlosť horenia je v tabuľke 11.

Graf 2. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na rýchlosť horenia



Tabuľka 11. Vplyv jednotlivých faktorov na rýchlosť horenia

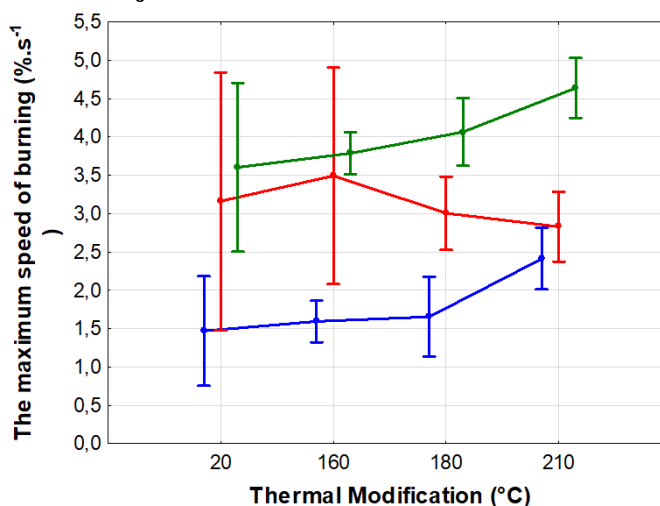
Sledovaný faktor	Súčet štvorcov	Stupne voľnosti	Rozptyl	Fisherov test F	P - Hladina významnosti
<b>Rýchlosť horenia - 600 s (<math>\% \cdot s^{-1} \times 10^{-5}</math>)</b>					
<b>Intercepcia</b>	17.66190	1	17.66190	174.4060	<b>***</b>
<b>Retardér</b>	1.38970	2	0.69485	6.8615	<b>***</b>
<b>TM</b>	0.13538	3	0.04513	0.4456	<b>NS</b>
<b>Retardér x TM</b>	0.79910	6	0.13318	1.3151	<b>NS</b>
<b>Chyba</b>	4.86091	48	0.10127		
Model opisuje približne <b>32.3 %</b> z celkového súčtu štvorcov.					

\*\*\* – hladina významnosti  $P < 0,05$  = štatisticky významná NS – štatisticky nevýznamná

### 6.3 Maximálna rýchlosť horenia

Analyzovaním získaných hodnôt môžeme vidieť, že vplyv termickej modifikácie a aplikovaných antipyrénov na charakteristiku maximálnej rýchlosti horenia je významný. Vyšší účinok tepelnej úpravy dreva na maximálnu rýchlosť horenia je zrejmy najmä pri vyšších teplotách (180 a 210 °C) použitých pri modifikácií. Aplikácia syntetického retardéru horenia významne znižuje hodnoty tejto vlastnosti v porovnaní s iba tepelne modifikovaným drevom, hlavne pri teplotách 20, 160 a 180 °C. Použitie prírodného antipyrénu má pri nižších teplotách veľmi podobný účinok ako u tepelne upraveného dreva a maximálna rýchlosť horenia sa výrazne zvyšuje pri 180 a 210 °C. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na maximálnu rýchlosť horenia je zobrazený v grafe 3 a vplyv jednotlivých faktorov je viditeľný v tabuľke 12.

Graf 3. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na maximálnu rýchlosť horenia



**Tabuľka 12. Vplyv jednotlivých faktorov na maximálnu rýchlosť horenia**

Sledovaný faktor	Súčet štvorcov	Stupne voľnosti	Rozptyl	Fisherov test F	P - Hladina významnosti
<b>Maximálna rýchlosť horenia (%.s<sup>-1</sup>)</b>					
<b>Intercepcia</b>	531.7951	1	531.7951	1244.976	<b>***</b>
<b>Retardér</b>	50.8410	2	25.4205	59.511	<b>***</b>
<b>TM</b>	2.3821	3	0.7940	1.859	<b>NS</b>
<b>Retardér * TM</b>	4.6048	6	0.7675	1.797	<b>NS</b>
<b>Chyba</b>	20.5033	48	0.4272		
Model opisuje približne <b>73.8%</b> z celkového súčtu štvorcov.					

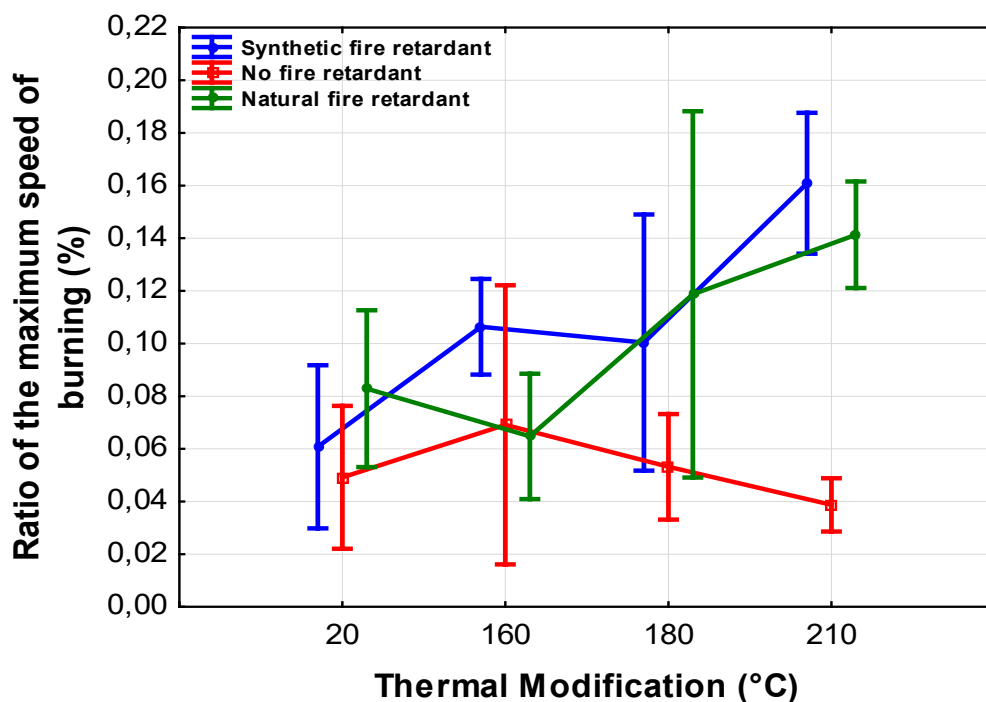
\*\*\* – hladina významnosti  $P < 0,05$  = štatisticky významná

NS – štatisticky nevýznamná

#### **6.4 Pomer maximálnej rýchlosti horenia**

Pomer maximálnej rýchlosti horenia je významne ovplyvnený teplotou použitou pri tepelnej úprave dreva. Rozdiel medzi tepelne modifikovaným drevom a drevom ošetreným antipyrénom sa prejaví až vplyvom vyšších teplôt tepelnej modifikácie. V prípade tepelne modifikovaného dreva má charakteristika klesajúci trend od 180 °C, zatiaľ čo v prípade dreva ošetreného antipyrénom má stúpajúci trend. Experiment neukázal výraznejšie rozdiely medzi použitými retardérmi horenia, najväčšia odchýlka nastáva okolo 160 °C kedy prírodný antipyrén spôsobuje nižší pomer maximálnej rýchlosti horenia dreva. Výsledky experimentu overujúceho pomer maximálnej rýchlosti horenia dreva tepelne upraveného a ošetreného antipyrénmi sú zobrazené v grafe 4 a vplyv jednotlivých faktorov na pomer maximálnej rýchlosti horenia je viditeľný v tabuľke 13.

Graf 4. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na pomer maximálnej rýchlosti horenia



Tabuľka 13. Vplyv jednotlivých faktorov na pomer maximálnej rýchlosti horenia

Sledovaný faktor	Súčet štvorcov	Stupne voľnosti	Rozptyl	Fisherov test F	P - Hladina významnosti
<b>Pomer maximálnej rýchlosti horenia (%)</b>					
Intercepcia	0.456095	1	0.456095	558.1834	***
Retardér	0.036244	2	0.018122	22.1784	***
TM	0.019321	3	0.006440	7.8817	***
Retardér * TM	0.026381	6	0.004397	5.3810	***
Chyba	0.039221	48	0.000817		
Model opisuje približne <b>67.6 %</b> z celkového súčtu štvorcov.					

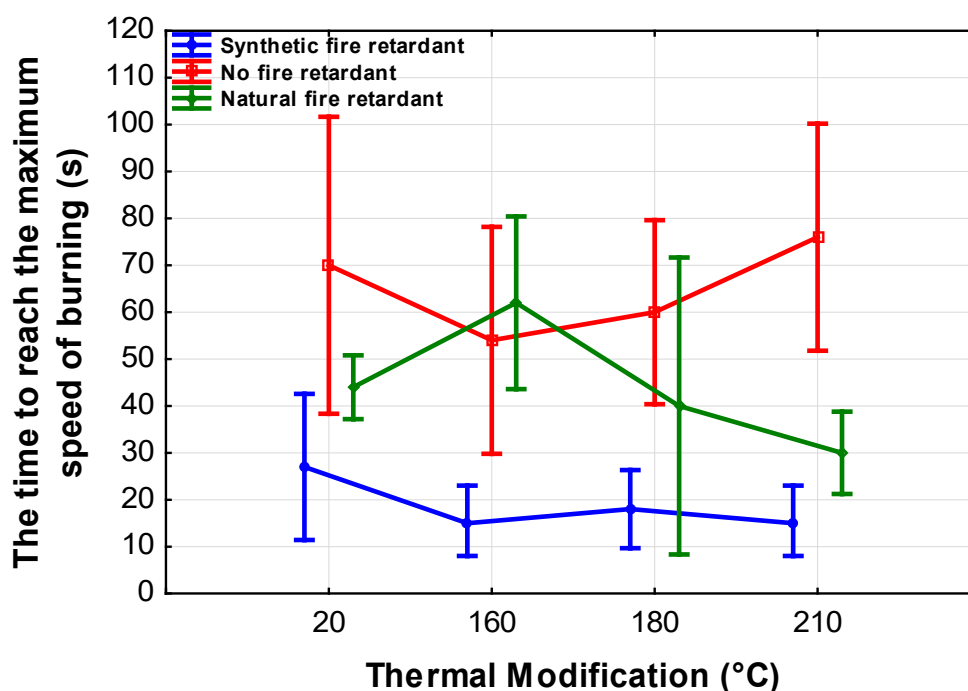
\*\*\* – hladina významnosti  $P < 0,05$  = štatisticky významná

NS – štatisticky nevýznamná

## 6.5 Čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia

Výsledky namerané pre definovanie charakteristiky čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia sú zobrazené v grafe 5 a vplyv jednotlivých faktorov na čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia je viditeľný v tabuľke 14.

**Graf 5. Vplyv termickej modifikácie a retardéru horenia na čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia**



**Tabuľka 14. Vplyv jednotlivých faktorov na čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia**

Sledovaný faktor	Súčet štvorcov	Stupne voľnosti	Rozptyl	Fisherov test F	P - Hladina významnosti
<b>Čas potrebný na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia</b>					
Intercepcia	108800.4	1	108800.4	464.2151	***
Retardér	21450.8	2	10725.4	45.7618	***
TM	544.6	3	181.5	0.7745	<b>NS</b>
Retardér * TM	4079.2	6	679.9	2.9007	***
Chyba	11250.0	48	234.4		
Model opisuje približne <b>69.9 %</b> z celkového súčtu štvorcov.					

\*\*\* – hladina významnosti  $P < 0,05$  = štatisticky významná NS – štatisticky nevýznamná



---

## 7 Diskusia

Hodnoty úbytku hmotnosti sa značne zvýšili v dôsledku tepelnej modifikácie, ale nemali štatisticky významný vplyv na hodnoty upraveného dreva. Hodnoty úbytku hmotnosti sa môžu znížiť impregnáciou matice syntetickým retardérom horenia. Pre porovnanie, pri ošetrení dreva prírodným antipyrénom nebol zaznamenaný výrazný vplyv na hodnoty úbytku hmotnosti.

Vplyv tepelnej modifikácie na rýchlosť horenia mal podobný priebeh ako pri úbytku hmotnosti. Tepelná modifikácia mala významný vplyv na rýchlosť horenia vo forme zvýšenia všetkých hodnôt, avšak faktor teploty použitej pri tepelnej modifikácii nemal štatisticky významný vplyv na hodnoty rýchlosti horenia. Výrazne pozitívny efekt na zníženie rýchlosti horenia bol viditeľný pri všetkých vzorkách ošetrených syntetickým retardérom horenia. Vplyv prírodného antipyrénu nebol štatisticky významný, avšak bol pozorovaný štatisticky významný účinok vyšších teplôt použitých pri tepelnej modifikácii (180 a 210 °C), a to vo forme zníženia rýchlosti horenia.

Termická modifikácia nemala vplyv na hodnoty maximálnej rýchlosti horenia. Znovu bolo viditeľné významné zníženie hodnôt tejto charakteristiky pri vzorkách ošetrených syntetickým retardérom horenia. Na druhej strane pri použití prírodného retardéru horenia došlo k zníženiu hodnôt maximálnej rýchlosti horenia, avšak nie tak výrazným ako u syntetického antipyrénu.

Tepelne modifikované vzorky ošetrené syntetickým antipyrénom vykazovali štatisticky významný vplyv na pomer maximálnej rýchlosti horenia. Pri použití prírodného retardéru horenia nebol vplyv štatisticky významný, rovnako ani medzi teplotami použitými pri tepelnej modifikácii dreva. Výsledky ukazujú, že medzi hodnotami času na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia nie je významný efekt.

Relatívny obsah extraktívnych látok, lignínu a celulózy, sa zvýšil po tepelnej modifikácii, zatiaľ čo hodnoty holocelulózy a hlavne hemicelulózy sa výrazne znížili. Nebol teda potvrdený pozitívny vplyv tepelnej modifikácie na požiarne charakteristiky.

Prejavili sa pozitívne účinky na všetky sledované požiarne charakteristiky pri vzorkách ošetrených syntetickým antipyrénom v porovnaní so vzorkami ošetrenými prírodným retardérom horenia. V prípade použitia arabinogalaktánu (prírodného antipyrénu) a jeho maximálneho potenciálneho retardačného účinku je nutné optimalizovať podmienky experimentu pre tento účel.

---

## 8 Záver

Cieľom práce bolo porovnať požiaru odolnosť termicky modifikovaného dreva s drevom ošetreným prírodným antipyrénom. Bolo nutné zvoliť správnu metodiku pre porovnanie. V experimentálnej časti práce došlo k porovnaniu vzoriek dreva z tropickej dreviny Meranti s aplikovaným prírodným a tiež syntetickým retardérom horenia voči referenčným vzorkám dreva bez ošetrenia antipyrénom. Skúmal sa tiež vplyv termickej modifikácie dreva na odolnosť proti otvorenému plameňu. Na základe experimentu sa potvrdilo, že zvolená metodika je vhodná na hodnotenie požiarnej charakteristiky v laboratórnych podmienkach a poskytuje dostatočnú senzitivitu na zachytenie zmien, ktoré sa v dreve udiali počas termickej modifikácie.

Z výsledku analýzy priemerných hodnôt jednotlivých sledovaných požiarnej charakteristiky je zrejme, že termicky modifikované drevo má horšie požiarne vlastnosti ako drevo rastlé. Túto negatívnu vlastnosť tepelne upraveného dreva je možné výrazne korigovať aplikovaním retardérov horenia. Rovnako z výsledkov vyplýva, že experiment potvrdil účinky náterovej látky Flamgard ako retardér horenia, zatiaľ čo vzorky ošetrené prírodným antipyrénom vykazovali zlepšenie hodnôt oproti referenčným vzorkám iba pri jednej požiarnej charakteristike – maximálnej rýchlosti horenia.

---

## Zoznam použitej literatúry

ANONYM. 2003. ThermoWood Handbook, Finnish Thermowood Association, c/o WoodFocus Oy. Helsinki, Finland, 2003. 66s.

BUČKO, J. – OSVALD, A. 1997. Požiarnotechnické vlastnosti dreva a materiálov na báze dreva. 1 vydání. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 1997. 52 s. ISBN 8022806560.

DEJMAL A., Sušení a modifikace dřeva. Učební text. MZLU, Brno, 2009.

HILL, CALLUM A. S., Wood Modification: Chemical Thermal and Other Processes. Willey, Wales, Bangor 2006: ISBN-10 0-70-02172-1 (H/B).

HOLAN, J. – TESAŘOVÁ, D. – VAVRČÍK, H. 2006. Dřevo v domácnosti. 1. vydání. Brno: ERA. 2006. 108 s. ISBN 80-7366-049-0.

HORSKÝ, D. 1987. Hydrotermická úprava a ochrana dřeva. 3. vydání. Zvolen: Vysoká škola lesnická a dřevařská Zvolen. 1987. 272 s.

KAČÍKOVÁ D., KAČÍK F., Chemické a mechanické zmeny dreva při termickej uprave. 1. vyd. Technická univerzita vo Zvolene, 2011. 71s. ISBN 978-80-228-2249-7.

KAČÍKOVÁ D., NETOPILOVÁ M.; OSVALD, A. Drevo a jeho termická degradácia. 1. vyd. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava 2006. 79s. ISBN 80-86634-78-7.

KUKLÍK, P. – KUKLÍKOVÁ, A. 2010. Navrhování dřevěných konstrukcí. 1. vydání. Praha: ČKAIT. 2010. 140 s. ISBN 978-80-87093-88-7. ŠTROCH, P. 2010. Procesy hoření a výbuchů. 1. vydání. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2010. 157 s. ISBN 978-80-554-0187-4.

KUPILÍK, V. 2006. Stavební konstrukce z požárního hlediska. 1. vydání. Praha: Grada. 2006. 272 s. ISBN 80-247-1329-2.

OSVALD, A. – ŠTEFKO, J. 2013. Modelový požiar dvojpodlažnej dřevostavby. 1 vydání. Ostrava: Žilinská univerzita v Žilině. 2013. 129 s. ISBN 978-80-87427-85-9.

---

OSVALD, A. a kol. 2009. Hodnotenie materiálov a konštrukcií pre potreby protipožiarnej ochrany. 1 vydání. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 2009. 355 s. ISBN 978-80-228-2039-4.

REINPRECHT, L. 2008. Ochrana dreva. 1 vydání. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 2008. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.

REINPRECHT, L. 2001. Procesy degradácie dreva. 3. vydání. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 2001. 162 s. ISBN 80-228-1070-3.

REINPRECHT L., VIDHOLDOVÁ, Z. Termodrevo – príprava, vlastnosti a aplikácie. 1. vyd. Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 89s. ISBN 978-80-228-1920-6.

SVATONĚ, J. 2000. Ochrana dřeva. 1 vydání. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 2000. 203 s. ISBN 80-7157-435-X.

VVÚD Praha, Výzkumný a vývojový ústav dřevařský Praha. Ochrana dřeva, Sborník přednášek. Březnice 2005. Výrobová zkušební laboratoř Březnice.

### **Internetové zdroje**

ČEKOVSKÁ H., GAFF M., OSVALD A., KAČÍK F., KUBŠ J., KAPLAN L. Fire resistance of thermally modified spruce wood. Dostupné z WWW: <[http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_12\\_1\\_947\\_Cekovska\\_Fire\\_Resistance\\_Thermally\\_Modified\\_Spruce\\_Wood/4993](http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_12_1_947_Cekovska_Fire_Resistance_Thermally_Modified_Spruce_Wood/4993)>

GAŠPARÍK, M. a kol. 2017. Flammability characteristics of thermally modified oak wood treated with fire retardant. bioresources.com. 2017. Dostupné z WWW: <[https://www.researchgate.net/publication/320041761\\_Flammability\\_characteristics\\_of\\_thermally\\_modified\\_oak\\_wood\\_treated\\_with\\_a\\_fire\\_retardant](https://www.researchgate.net/publication/320041761_Flammability_characteristics_of_thermally_modified_oak_wood_treated_with_a_fire_retardant)>

KAFKOVÁ I. Protipožární nátěry na ochranu dřevěných konstrukcí. [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media, s.r.o., 2006, číslo 3/2006, ISSN 1803-8433 [cit. 2017-

---

04-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/clanek/protipozarni-natery-naochranu-drevenych-konstrukci/>>

KLAAS P. Wood Treatment Technology A/S [online]. PDF. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z WWW: <[http://www.wtt.dk/app/webroot/uploads/Documents/ThermoTreat%202.0\\_Product%20Presentation.pdf](http://www.wtt.dk/app/webroot/uploads/Documents/ThermoTreat%202.0_Product%20Presentation.pdf)>

MARTINKA, J. a kol. 2014. Fire risk assessment of thermally modified spruce wood. Dostupné z WWW: <[https://www.researchgate.net/publication/260123500\\_Fire\\_risk\\_assessment\\_of\\_thermally\\_modified\\_spruce\\_wood](https://www.researchgate.net/publication/260123500_Fire_risk_assessment_of_thermally_modified_spruce_wood)>

### **Technické normy**

ČSN EN ISO 13943 Požární bezpečnost – Slovník Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2011. 84s.

ČSN EN 13501-1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň Praha: Český normalizační institut 2003. 44s.

ČSN EN ISO 1182 Zkoušení reakce výrobků na oheň – zkouška nehořlavosti Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2010. 36s.

ČSN EN ISO 11925-2 Zkoušení reakce na oheň - Zápalnosť stavebných výrobků vystavených přímému působení plamene - Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2011. 32s.

STN EN 13501-1. 2010. Klasifikácia požiarňych charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 1: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok reakcie na oheň.