

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**



**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta lesnická  
a dřevařská**

**Přírodní retardéry hoření pro dřevěné  
výrobky a konstrukce**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracovala: Veronika Zoubková

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

2018

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Veronika Zoubková

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

**Přírodní retardéry hoření pro dřevěné výrobky a**

Název anglicky

**Natural-based fire retardants for wood products and**

---

### Cíle práce

Hlavním cílem práce je analýza současných retardérů hoření (antipyrénů) na přírodní bázi pro dřevěné výrobky a konstrukce.

### Metodika

1. Teoretická analýza současného stavu z pohledu využívání retardérů hoření ve dřevařském průmyslu.
2. Teoretický rozbor jednotlivých typů přírodních retardérů hoření pro dřevěné výrobky a konstrukce z pohledu účinnosti, aplikací a vlivu na vlastnosti dřeva.
3. Porovnání trvanlivosti dřeva ošetřeného přírodními retardéry hoření s dřevem ošetřeným syntetickými retardéry.

## **Doporučený rozsah stránek**

40-50 stránek

## **Klíčová slova**

retardéry hoření, dřevěné konstrukce, hoření dřeva, teplota hoření

## **Doporučené zdroje informací**

1. HORROCKS, A. R., PRICE, D. *Advances in Fire Retardant Materials*. 1 ed., Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2008, 632 s. ISBN: 978-1-84569-262-9
2. HORROCKS, A. R., PRICE, D. *Fire Retardant Materials*. 1 ed., Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001, 429 s. ISBN: 978-1-85573-419-2
3. NETOPILOVÁ, M., KAČÍKOVÁ, D., OSVALD, A. *Reakce stavebních výrobků na oheň. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství*, 2010, 126 s. ISBN: 978-80-7385-093-7
4. NICHOLAS, D. D. *Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments: Degradation and Protection of Wood*. Syracuse University Press, 1982, 380 s. ISBN: 978-0-81562-285-7
5. NPCS Board of Consultants & Engineers. *The Complete Book on Construction Materials*. Delhi: Niir Project Consultancy Services, 2007, 672 s. ISBN: 978-81-904398-3-1
6. ROWELL, R. M. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. 2. vydání, CRC Press, 2012, 703 s. ISBN: 978-1-43985-380-1
7. WILKIE, C. A., MORGAN, A. B. *Fire Retardancy of Polymeric Materials*. 2. ed., CRC Press, 2009, 853 s. ISBN: 978-1-4200-8400-9

**Předběžný termín obhajoby**

2017/18 LS – FLD

**Vedoucí práce**

Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

**Garantující pracoviště**

Katedra základního zpracování dřeva

---

Elektronicky schváleno dne:15.12.2017

---

**doc. Ing. Milan Gaff, PhD.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne:27.2.2018

---

**Prof. Ing. Marek Turčáni, PhD**

Děkan

## **Čestné prohlášení**

"Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Přírodní retardéry hoření pro dřevěné výrobky a konstrukce vypracovala samostatně pod vedením Ing. Miroslava Gašparíka, PhD. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby."

V..... dne.....

Podpis autora: .....

## **Poděkování**

Děkuji panu Ing. Miroslavovi Gašparíkovi, PhD za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a vypracovávání bakalářské práce.



## **Abstrakt**

Zaměřila jsem se na všechny přírodní retardéry hoření dřevěných výrobků a konstrukcí. Začínala jsem tím, co je vlastně samotné dřevo jako materiál. Poté jsem se zaměřila na dřevěné konstrukce a jejich ochranu proti požáru a rozebrala jednotlivé typy přírodních a syntetických retardérů a jaké mají vliv na dřevo.

Provedení analýz přírodních a syntetických retardérů hoření prokázalo, že se tyto dva druhy navzájem doplňují.

Klíčová slova: retardéry hoření, dřevěné konstrukce, hoření dřeva, teplota hoření

## **Abstract**

I focused on all natural retardants of burning wooden products and structures. I started with what is actually wood itself as a material. Then I looked at the wooden structures and their protection against fire. Then I chose individual types of natural and synthetic retarders and their influence on wood.

Performing analyzes of natural and synthetic retarders have shown that they are much related and complementary.

Key words: fire retardants, wood structures, wood burning, burning temperature

## Obsah

<b>1.</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>Cíle práce .....</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>Struktura dřeva.....</b>	<b>8</b>
3.1	Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva .....	9
3.1.1	Hořlavost dřeva.....	11
<b>4.</b>	<b>Dřevěné konstrukce na bázi dřeva .....</b>	<b>14</b>
4.1	Metody návrhu dřevěných konstrukcí proti požáru.....	16
<b>5.</b>	<b>Ochrana dřeva a dřevostaveb vůči ohni .....</b>	<b>17</b>
5.1	Ochrana dřevostaveb .....	17
5.1.1	Ochrana spojů .....	19
5.1.2	Protipožární nátěry.....	19
5.1.3	Dřevěné protipožární obklady .....	21
5.1.4	Desky na bázi minerálně vláknitých plniv.....	22
5.2	Retardéry hoření dřeva .....	23
5.2.1	Přírodní retardéry hoření dřeva.....	24
5.2.1.1	Vlna.....	25
5.2.1.2	Hedvábí.....	27
5.3.1.1	Bavlna .....	28
5.3.1.2	Sisal .....	29
5.3.1.3	Konopí .....	30
5.3.1.4	Kokos.....	31
5.3.1.5	Vlákna z rostliny Sansevieria cylindrica .....	31
5.3.1.6	Přírodní kaučuk.....	32
5.3	Syntetické retardéry hoření dřeva .....	33
5.3.1	Biopolymery .....	33
5.3.2	Polyamid.....	33
5.3.3	Polypropylen.....	34
5.3.4	Polyester .....	35
5.3.5	Systém HTPC – bavlna s chemickou složkou .....	35
5.3.6	Existují reaktivní nebo aditivní retardéry .....	36
<b>6.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>41</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Struktura dřeva .....	9
Obrázek 2 Směry zkoušení vlastností dřeva .....	11
Obrázek 3 Hoření dřeva .....	12
Obrázek 4 Jednotlivé vrstvy vzniklé tepelným zatížením dřeva .....	13
Obrázek 5 Skeletová dřevostavba .....	14
Obrázek 6 Dřevěná konstrukce-srub .....	15
Obrázek 7 Dřevěná konstrukce č.2 .....	16
Obrázek 8 Azbest .....	25
Obrázek 9 Izolace z vlny .....	26
Obrázek 10 Vyčesaná organická vlna .....	27
Obrázek 11 motýl morušový a hedvábná vlákna .....	27
Obrázek 12 Plod bavlníku .....	28
Obrázek 13 Agave sisalana .....	29
Obrázek 14 Izolace z konopného vlákna .....	30
Obrázek 15 Kokosová vlákna .....	31
Obrázek 16 Sansevieria cylindrica .....	32
Obrázek 17 Kaučuk po vytlačení .....	32

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Návrhové rychlosti zuhelnatění viz eurokód 5 .....	18
Tabulka 2 Technické vlastnosti lepených obkladů ORDEXAL .....	23

## Seznam zkratk a symbolů

Wabs – absolutní vlhkost

Wrel – relativní vlhkost

mm – milimetr

mm.min<sup>-1</sup> – milimetr za minutu

kg.m<sup>-3</sup> – kilogram za metr krychlový

F – fluor

Cl – chlor

Br – brom

I – jód

TBBPA - Tetrabromobisfenol A  
PBDE - Polybromované difenylethery  
PBB - Polybromované bifenyly  
HBCD - Hexabromcyklododekan  
PVC - Polyvinylchlorid  
UV – ultrafialové záření  
CMF - 5-Chloromethylfurfural  
CO<sub>2</sub> – oxid uhličitý  
H<sub>2</sub>O – voda  
HFPO - Hexafluorpropylenoxid  
DMDHEU – dimethylol dihydroxyethylen močovina  
MDPA – hydrochlorid  
LOI - Letter of Intent  
TMM – Trimethylenemethan  
FR – radioaktivní prvek  
CNT - Uhlíkové nanotrubičky  
POSS - Polyhedrální oligomerní silsesquioxan  
MMT – Montmorillonit  
MMNO - N-methyl-morfolin-N-oxid  
PIGP - fosfatidylinositol N-acetylglukosaminyltransferáza  
PLA - polymléčná kyselina  
CP – copernicium  
PET - Polyethylentereftalát  
PP – Polypropylen  
FQ – Fluorochinolony  
PBo – oxid olovnatý  
CONH - Certificate Of No Harrassment

# 1. Úvod

V posledním desetiletí se dřevo postupně začíná znovu využívat jako konstrukční materiál a na výrobu masivního nábytku. Je to díky tomu, že má kladné mechanické a fyzikální vlastnosti. Velkou pozornost získává výroba příhradových, lamelových konstrukcí nebo aglomerovaných, vrstvených, kompozitních výrobků. Dřevo má výborné nosné vlastnosti, které se dají využívat k nosným prvkům.

Dřevo už od úplných začátků je spojováno s ohněm a požáry. Je to logické. Proto, když uvažujeme o dřevostavbě nebo jiných dřevěných výrobcích, řešíme i jeho ochranu. Jak níže zjistíme, máme několik způsobů, jak si ochránit náš dřevěný majetek.

Pro rozšíření používání dřeva ke stavebním konstrukcím, velmi přispěla vědeckovýzkumná činnost v oblasti protipožární ochrany. Tyto informace, co byly získány, se využívají ve všech oborech, kde se vyrábí ze dřeva. Výzkum ale není ukončen, z důvodu vyřešení negativních vlastností lignin-celulóзовých materiálů související s jejich tepelnou degradací.

Jeho velkým kladem je nízká hmotnost a vysoká pevnost. Jeho objemová pevnost je poměrně stejná jako u kovu. Co se týká jeho plastičnosti, tak na rozdíl od kovu, se dřevo vyznačuje malou plastickou deformací a značnou odolností vůči rázovému namáhání a kmitání.

U dřeva nás v praxi trápí hydroskopičnost, která má za příčinu bobtnání a sesychání. Tyto deformace nám pak narušují další funkce jako jsou např. mechanické vlastnosti, objemovou hmotnost, životnost, stálost jeho rozměrů, tepelné vlastnosti atd. K jeho nevýhodě patří, že fyzikální a mechanické vlastnosti nejsou stálé, z důvodu jeho vláknité struktury (Netopilová 2010).

## 2. Cíle práce

Hlavním cílem této práce je analýza současných retardérů hoření na přírodní bázi pro dřevěné výrobky a konstrukce.

K splnění tohoto cíle, jsme si musela určit dílčí cíle:

- Teoretická analýza současného stavu z pohledu využívání retardérů hoření v dřevařském průmyslu.
- Teoretický rozbor jednotlivých přírodních retardérů hoření pro dřevěné výrobky a konstrukce.
- Porovnání trvanlivosti dřeva ošetřeného přírodními retardéry hoření s dřevem ošetřeným syntetickými retardéry.

### 3. Struktura dřeva

Dřevo je složená hmota z více buněk, které tvoří pletiva. Existují tři druhy pletiv: pletivo pokožkové (nachází se na povrchu), pletivo cévních svazků (uvnitř kmene) a pletivo základní (v němž je uloženo pletivo cévních svazků). V kmeni je vyvinut čtvrtý typ pletiva, a to pletivo dělené (kambium). Kambium tvoří vrstvu živých buněk, které jsou mezi dřevem a kůrou. Během růstu se na vnitřní straně tvoří dřevo a na vnější straně kůra. Činnost kambia se zastaví před zimním obdobím a znovu růst začne na jaře. Jarní dřevo je světlejší a měkké a letní dřevo je tmavší a tvrdší. Jarní dřevo slouží k vedení vody a letní dřevo má mechanickou funkci (Kupilík 2006).

Skládá se z makroskopické a mikroskopické stavby. V makroskopické stavbě se nachází: letokruhy, dřev, dřevné paprsky, dřevné skvrny, jádro, vyzrálé jádro, běl, pryskyřičné kanálky, cévy, kambium, lýtko a kůra. Jejich rozmístění posuzujeme podle základních řezů ve kmeni, a to jsou: transverzální (příční), radiální a tangenciální (obr.1).

Mikroskopickou stavbu dřeva vidíme pouze pod mikroskopem. Dřevo je složeno ze tří typu buněk, a to jsou libriformní vlákna, tracheje a tracheidy a parenchymatické buňky. U jehličnatých dřevin se navíc nacházejí pryskyřičné kanálky (Dřevaři humlak 2018).

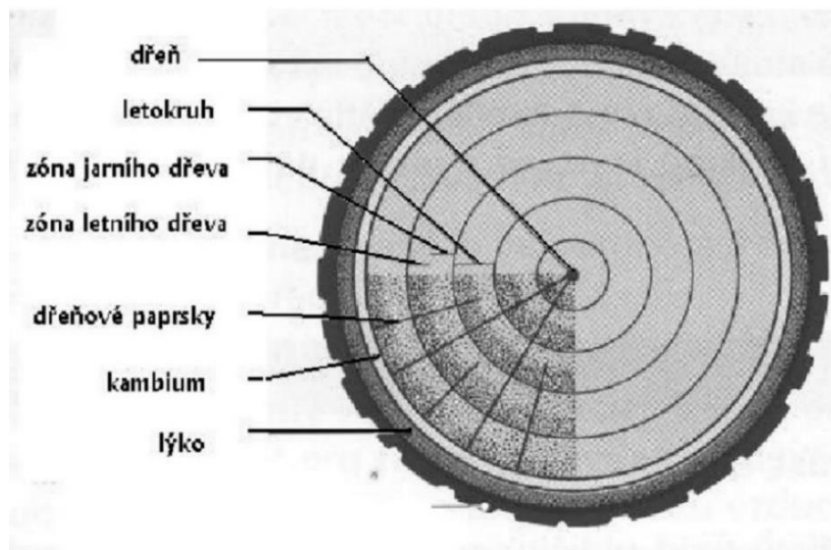
Složení dřeva je z cca 50 % uhlíku, 43 % kyslíku, 6 % vodíku, 0,3 % dusíku a ostatní jsou minerální látky jako popel s výskytem draslíku, sodíku, vápníku, fosforu aj. Látky buněčných stěn tvoří sušinu dřeva asi z 94 %. Je to cca 50 % celulózy, 22 % hemicelulózy, 22 % ligninu. Ostatní ve dřevě jsou látky pryskyřičné, dusíkaté, tuky, vosky, alkaloidy, barviva apod. Dřevo obsahující více pryskyřice a třísloviny, je tmavší a odolnější proti hnilobě (Kupilík 2006).

Dřevo je rozděleno na dva druhy: tvrdé dřevo a měkké dřevo.

- Tvrdé dřevo – nachází se u listnatých dřevin (nepodléhá hnilobám a plísním) např. buk, bříza, javor, dub, teak, ořech atd.
- Měkké dřevo – nachází se u jehličnatých dřevin (snáze se opracovává) např. jedle, borovice, modřín atd.

Ne vždy platí, že tvrdé dřevo je tvrdší než měkké dřevo, např. Balsa je nejznámější tvrdé dřevo, ale ve skutečnosti je velmi měkké (Kupilík 2006).





Obrázek 1 Struktura dřeva (MSDK 18.4.2018)

### 3.1 Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva

Fyzikální vlastnosti lze zkoumat bez narušení chemického složení. Dřevo je anizotropní materiál, což znamená, že v různých směrech má různé vlastnosti (Kupilík 2006).

#### Vnější fyzikální vlastnosti

- Barva dřeva – barvu určuje lignin, barviva, pryskyřice a třísloviny, také věk dřeviny ovlivňuje barvu.
- Lesk dřeva – odraz světelných paprsků od jeho povrchu
- Textura dřeva – jehličnaté má jednoduchou stavbu a jeho textura závisí na letokruzích. Listnaté mají stavbu složitější
- Vůně dřeva – u některých slouží jako rozpoznávací znak, vyskytuje se u čerstvého dřeva.
- Očka – zarostlé pupeny
- Kořenice – oddenková část kmene

#### Vlastnosti určující hmotnost

- Hustota dřeva – udává se v  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , závisí na vlhkosti dřeva
- Měrná hmotnost dřevní substance – dřevní hmota bez veškerých otvorů a mezer

#### Vlastnosti určující teplo

- Měrné teplo – množství tepla, které je třeba k ohřátí 1 kg látky o 1 °C
- Měrná tepelná vodivost – udává množství tepla, procházející jednotkou plochy a tloušťky materiálu za jednotku času při jednotkovém tepelném spádu

### **Vlastnosti určující zvuk**

- Zvuková vodivost dřeva – rychlost šíření zvuku v  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , rychlost závisí na anatomii dřeva.
- Průzvučnost dřeva – vyjadřuje se koeficientem zvukové propustnosti, udává poměr mezi intenzitou zvuku procházejícího materiálem a intenzitou zvuku dopadajícího na materiál
- Rezonanční schopnost dřeva – schopnost přijímat zvukové vlny

### **Vlastnosti určující vztah k elektrice**

- Elektrická vodivost – se zvyšováním vlhkosti, se vodivost snižuje
- Poměrná permitivita – u dřeva je rozdílná

### **Vlastnosti určující vztah k vodě**

Dřevo je hygroskopický materiál, který přijímá nebo odvádí vodu v kapalném nebo plynném skupenství. Když se změní množství vody ve dřevě, má vliv i na hustotu dřeva, rozměr, odolnost proti hmyzu a houbám, fyzikální a mechanické vlastnosti. Voda ve dřevě se nazývá vlhkostí ve dřevě, je to hmotnost vody k hmotnosti dřeva v wabs nebo wrel. Pro zjištění vlastností se používá wabs. Je náročné zjistit hustotu dřeva z důvodu jeho hygroskopicity. K výpočtům nejčastěji používáme vlhkost o 12 % (Kučera 2010).

- Voda volná – vyskytuje se v dutinách uvnitř buněk a mezibuněčných prostorech
- Voda vázaná – vyplňuje mikroskopické dutinky v buněčných stěnách
- Voda chemicky vázaná – součást chemického složení dřeva
- Vlhkost dřeva – množství vody ve dřevě
- Hygroskopicitu a rovnovážná vlhkost
- Nasákavost dřeva vodou – pohlcování vody
- Bobtnání a sesychání – je-li vysušené dřevo uloženo do vlhkého prostředí, tak se rozměry zvětšují
- Borcení dřeva – tvoření drobných trhlin

### **Mechanické vlastnosti dřeva**

Ke své nízké hmotnosti, má relativně vysokou pevnost. Až 40krát vyšší pevnost má ve směru s rovnoběžnými vlákny než ve směru napříč vlákny. Proto dokážeme snadno rozštípnout dřevo podél vláken než na kolmo vlákna. Za to pevnost máme větší napříč vlákny. Hodnota smykové pevnosti dřeva je poměrně malá. U pružnosti je napříč vlákny o 25krát nižší než ve směru vláken (obr.2). U plastičnosti je to jinak, tam závisí na obsahu vázané vody ve dřevě. Pro nás praktické je ohýbání dřeva. Při konstantním zatížení se projevuje tečením dřeva – *creepem*, kdy vznikne pružná deformace. Její velikost je závislá na velikosti a směru zatížení, vlhkosti dřeva a druhu dřeviny. Houževnatost pak nazýváme to, jak s mechanickou prací vytvoříme plastickou deformaci. Vznik plastické

deformace je energeticky náročný. Při určitých způsobech zatížení je plastická deformace výrazně viditelná (Kučera 2010).

Máme tu další okolnosti, co ovlivňují mechanické vlastnosti jako je třeba stavba dřeva, druh dřeviny, vlhkost, hustota, teplota, letní dřevo, vady dřeva, rozměry a geometrie (Kučera 2010).



Obrázek 2 Směry zkoušení vlastností dřeva (ZSMV, 10.4.2018)

### 3.1.1 Hořlavost dřeva

Základní stavební prvky dřeva, ale i jiných organických hmot tvoří makromolekuly, které musí obsahovat uhlík, vodík a kyslík. Za normálních teplot a tlaku mají pevné vazby odolnost vůči vzdušnému kyslíku. Když ale dřevo zahřejeme, dojde k rozkmitání makromolekul, a tím se naruší vazby. Makromolekuly se rozpadají na menší stavební částice. V konečné fázi vzniknou monomery, které se vyskytují převážně v plynném skupenství a reagují se vzdušným kyslíkem. K této konečné fázi se dostaneme za pomoci:

- a) endotermická reakce – dochází k sušení dřeva, dřevo absorbuje teplo
- b) exotermická reakce - tady se uvolňuje značné množství tepla a probíhá oxidace rozkladných produktů

Pokud oxidační proces probíhá pomalu, převládající část uvolněného tepla uniká do okolního prostoru. Když dosáhneme určité rychlosti uvolněného tepla, které se nestačí rozptýlit do okolního prostoru, tak dojde k samo zahřívání dřeva, které může vyvrcholit samovznícením. Když nemáme přístup vzduchu, tak se dřevo umí tepelně rozkládat. Tento děj se nazývá suchou destilací. Pokud máme chráněnou dřevní hmotu, tak probíhá proces rozkládání s omezeným přístupem vzduchu se světelným efektem bez plamenů tzv. žhnutí (obr.3), (Kupilík 2006).

### Zvýšená teplota má vliv na změnu struktury dřeva:

- +80 °C až +120 °C – začátek vysušování dřeva a vytvářejí se trhliny
- +150 °C až +200 °C – začátek termické degradace dřeva, dehydratace hemicelulóz a celulózy
- nad 220 °C – termická degradace je už ve větším stádiu, vznik plyných produktů (vodík, methan, oxid uhelnatý, aldehydy, ketony a další)
- nad 350 °C – rozpad ligninu, zuhelnatění dřevní hmoty

Hoření dřeva ovlivňuje jeho tvar, povrch a rozměr. Také závisí na poměru povrch/objem. Čím je větší tento poměr, tím se plamen rozšiřuje rychleji. Je-li dřevo vystaveno vysokému ohni, tak začne silně hořet a brzy vznikne zuhelnatělá vrstva dřeva. Tato vrstva slouží jako izolant, takže dřevo pod ní se zahřívá pomaleji. Pokud požár trvá kolem 20 ti minut, tak se vytvoří 30 mm vrstva dřeva zasažena ohněm (obr.4). Její část s teplotou 200 °C je nazvána vrstvou *pyrolýzy*. V této vrstvě je dřevní substance, která je změněna ohněm, ale není rozložena. Pod tou vrstvou se nachází dřevo, které má pokojovou teplotu. Tato přeměna probíhá lineární závislostí (Kupilík 2006).

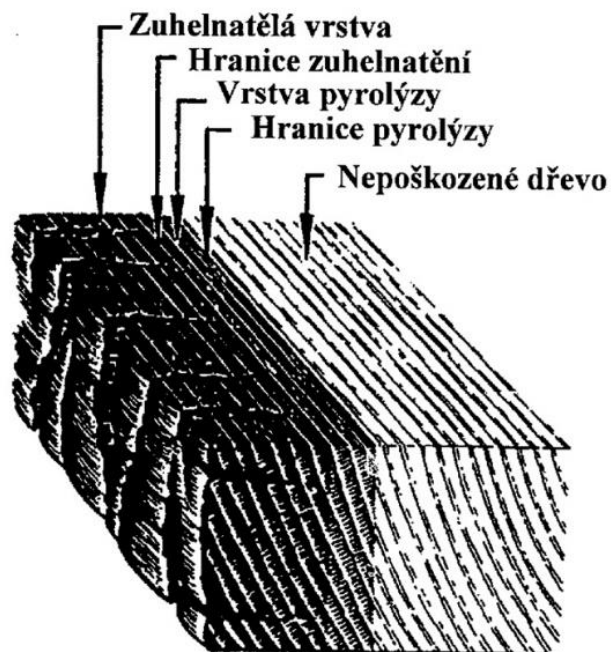
Zvyšování teploty ovlivňuje mechanické vlastnosti dřeva. Tyto následky mohou být přechodné ale i trvalé. Kupříkladu pevnost se snižuje, když probíhá zahřívání a zvyšuje se, pokud dřevo ochlazujeme. Když na dřevo působí krátkodobý ohřev, tak vlastnosti jsou návratné, když je ale dřevo vystaveno po delší dobu ohřevu, tak se nám trvale snižují vlastnosti dřeva (Kupilík 2006).

Odolnost vůči vzplanutí a hoření se udává v minutách a sekundách a platí od počátku působení určité teploty na dřevo do jeho vzplanutí nebo hoření (Kupilík 2006).



Obrázek 3 Hoření dřeva (inspirati, 10.4.2018)

Povrchová zuhelnatělá vrstva brání přístupu vzduchu a tím pádem má dobré izolační vlastnosti. Tím nedochází k brzké změně mechanických a fyzikálních vlastností dřeva, takže úbytek únosnosti je dán pouze redukcí průřezu, která přináší i redukci únosnosti nechráněných spojů.



Obrázek 4 Jednotlivé vrstvy vzniklé tepelným zatížením dřeva (Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství, 11.4.2018)

## 4. Dřevěné konstrukce na bázi dřeva

Dřevo se začíná více používat pro stavební účely, a proto nám i koluje určitá nedůvěra k jeho hořlavosti. Ano, dřevo je sice hořlavý materiál, ale může mít i kladnější prvky než ocel a jeho chování při požáru je předvídatelné. Ocel při dosažení kritické teploty ztrácí únosnost, a tím vzniká reakce nevratná. Kdežto dřevo se tepelně degraduje postupně. Když konstrukce je porušená jen částečně, je možné ji využívat znovu.

K současným trendům, kde se používá materiál dřevo: montované rodinné domy, bytové domy, administrativní budovy, školy, lehké střešní konstrukce, sportovní a zemědělské haly, kostely, lávky pro pěší zónu nebo cyklisty (obr.5).

Pro životní prostředí jsou dřevostavby menší zátěží než konstrukce z ostatních materiálů. Jejich likvidace nebo výstavba má nejmenší náročnost. Jak už víme, tak dřevo má jedinečné tepelně technické vlastnosti. Tato vlastnost je vynikající pro obvodovou konstrukci. Velkou výhodou je nízká hmotnost stavebních prvků, která sníží náklady na přepravu a na zemní práci. Je to výhodou jak pro manipulaci, tak pro nenáročnou úpravu (Kučera 2010).



Obrázek 5 Skeletová dřevostavba (dřevostavby, 17.4.2018)

## Základní členění konstrukcí na bázi dřeva

dle typu konstrukce:

- Lehká rámová konstrukce
- Těžký skelet
- Masivní konstrukce
- Ostatní konstrukční typy

dle způsobu výstavby:

- Prvková montáž
- Prefabrikace nebo částečná prefabrikace

Skeletové konstrukce: lehké dřevěné skelety a dřevěné skelety

Sruby jsou jednovrstvé konstrukce, která je z masivních dřevěných bloků (kulatý průřez). Za to roubenky jsou jednovrstvé konstrukce sestavené z masivních profilů, opracovaných do tvarů rámu. Panelové neboli sendvičové dřevěné stavby se vyrábějí ve výrobních halách. Dům se smontuje nanečisto a až pak se dopraví k pozemku a proběhne výstavba (Kučera 2010).



Obrázek 6 Dřevěná konstrukce-srub (přírodní domy, 10.4.2018)



Obrázek 7 Dřevěná konstrukce č.2 (Alpmont, 17.4.2018)

#### 4.1 Metody návrhu dřevěných konstrukcí proti požáru

Musíme se řídit dle stanovené normy ČSN EN 1995-1-2, u nichž je požadováno splnění funkcí při namáhání požárem a zamezení předčasného zborcení konstrukce.

Návrhové hodnoty dle ČSN EN 1995-1-2

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$$

Kde:  $f_{d,fi}$  – návrhová pevnost za požáru

$S_{d,fi}$  – návrhová tuhost za požáru

$f_{20}$  – 20 % kvantil pevnostní vlastnosti při běžné teplotě

$S_{20}$  – 20 % kvantil tuhosti při běžné teplotě

$\gamma_{M,fi}$  – dílčí součinitel spolehlivosti dřeva při požáru

Výpočet požární odolnosti dřevěných prvků je zakládán na zbytkovém průřezu. Stanovuje se na základě jednotlivých návrhových postupů pro určení hloubky zuhelnatění. Zdokonalené metody výpočtu vychází z tepelných vlastností dřeva. Jsou vhodné různé výpočetní programy. Přijatelný konstrukční model, musí mít chování konstrukce při požárním namáhání. Lze ověřit pomocí času, únosnosti a teploty (Kučera 2010).



## 5. Ochrana dřeva a dřevostaveb vůči ohni

Je potřeba si uvědomit, že žádná ochrana nedokáže dřevo udělat naprosto nehořlavým a dlouhodobě odolným proti namáhání ohněm. Pokud je vhodný retardér, je možné snížit hořlavost dřeva až o dva stupně a omezit rychlé šíření ohně po povrchu (Kučera 2010).

Dřevěné předměty a výrobky se nachází i v interiéru domova. Stejně důležitá je jejich ochrana proti hoření. Existují spousta zpomalovačů a ochran, ale většinou jsou založeny na chemickém složení. Některé z nich neprospívají zdraví ani přírodnímu prostředí.

Použití hořlavých polymerních materiálů v domácích a průmyslových podmínkách vyžaduje vývoj prostředků k jejich ochraně a dalších odolností proti zahájení a rozšiřování požárů. Každoročně vznikají ztráty na životech a majetku, vyplývající z požárů zahrnujících polymerní materiály. V 31 zemích, na které se vztahuje statistika CTIF, způsobují požáry úmrtí kolem 37 000 osob ročně a 10 osob se zraněním. Tyto údaje se týkají 2,3 miliardy obyvatel žijících v těchto zemích. V celém světě se každoročně vyskytne až 26 miliónů požárů, proto se každý rok vyhledává nová technologie na ochranu nebo zpomalování hoření (Horrocks 2008).

### 5.1 Ochrana dřevostaveb

Pro dřevěné stavby je nejlepší ochranou proti požáru, plášť. Při navrhování musíme myslet na normy, kde jsou stanoveny metody na ochranu dřevěných konstrukcí nebo na typy plášťů. Jednou z nich je ČSN EN 1995-1-2 kde je posouzení hloubky zuhelnatění (tab.1).

#### Metody ochrany:

- Sádrokartonová deska typu A, F, H dle ČSN EN 520
- Minerální vlna, konopí, celulóza, sláma
- Obklady z dřevěných desek nebo z desek na bázi dřeva

Norma uvádí postupy, navrhování dřevěných konstrukcí s úvahou i různých proměnných vlivů působících na dřevo jako konstrukční materiál. Jde o parametry teplotní zátěže při požáru, změnu mechanických vlastností, nestabilitu rozměrů posuzovaného konstrukčního prvku, účinek případných protipožárních opatření a vliv následků dosažení mezních stavů požární odolnosti (Kučera 2010).

Dřevostavby můžeme ochránit použitím deskových obkladových materiálů (obr.15). Musí být připevněny podle normy ČSN EN 336 a ČSN EN 1995-1-2. Mezi tím je vytvořena dutina vzduchu a nebo je zaplněna izolačním materiálem s klasifikací A2 – s1,d0

Nezákladnější ochranou dřeva je jeho zuhelnatění a v jaké je hloubce. Tento fakt určuje doba vystavení účinkům požáru a rychlost zuhelnatění.

Hloubka zuhelnatění se stanovuje pro:

- Protipožárně nechráněné povrchy
- Protipožárně povrchy chráněné do doby porušení pláště požární ochrany
- Protipožárně povrchy chráněné, vystavené vysokým teplotám až do porušení pláště požární ochrany (Kučera 2010).

Tabulka 1 Návrhové rychlosti zuhelnatění viz eurokód 5 (Kučera 2010).

<b>Materiál</b>	<b><math>\beta_0</math> (mm.min<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>\beta_n</math> (mm.min<sup>-1</sup>)</b>
Lepené lamelové dřevo s char. hustotou $\geq 290\text{kg.m}^{-3}$	0,65	0,7
Rostlé dřevo s char. hustotou $\geq 290\text{kg.m}^{-3}$	0,65	0,8
Rostlé nebo lepené lamelové dřevo listnatých stromů s char. hustotou $290\text{kg.m}^{-3}$	0,65	0,7
Rostlé nebo lepené lamelové dřevo listnatých stromů s char. hustotou $\geq 450\text{kg.m}^{-3}$	0,50	0,55
Vrstvené dřevo (LVL)	0,65	0,7

$\beta_0 = 1,0 \text{ mm.min}^{-1}$  pro překližky

$\beta_n = 0,9 \text{ mm.min}^{-1}$  pro desky na bázi dřeva jiné než překližky



Obrázek 15 Protipožární dřevěné obložení var.2 (Woodenha, 17.4.2018)

### 5.1.1 Ochrana spojů

Nesmíme zapomenout také na ochranu dřevěných spojů. Existují spoje: ocelové spojovací prvky, dřevěné spojovací prvky a lepidla. U ocelových, které nejsou chráněné proti ohni, se při kontaktu s vyšší teplotou snižuje jejich funkčnost. Za to je skvělým vodičem tepla. Dokáže vést teplo do středu konstrukce.

Odolnost konkrétních spojů, je určena normou. Maximální ochrana je 60minut, pokud ji neprokážeme zkouškou. Výpočty odolnosti spojů dřevostaveb jsou stanovena pro kolíkové spoje. Spoje se považují za chráněné, pokud mají ochranné zátky nebo desky (Kučera 2010).

### 5.1.2 Protipožární nátěry

Jsou nejstarším způsobem na ochranu dřeva proti hoření. Neustále procházejí vývojem. Značný vývoj proběhl v druhé polovině minulého století, v období 1970-1990, kdy byly posíleny další výzkumy na nové přípravky, a to od nátěrů na bázi vodního skla, roztoků anorganických solí apod.

Jejich výhodou bylo jednoduché složení, nenáročná výroba, aplikace a nízká cena. Především byly určeny k ochraně materiálů na bázi dřeva. Dříve

velkou nevýhodou byla nízká životnost, vyluhovatelnost a agresivita vůči dřevní hmotě. V současné době je rozsáhlá nabídka nátěrových hmot.

Nátěry na dřevěné konstrukce jsou vynikající na jejich úpravu reakce na oheň. Bývá vyžadováno i zvýšení požární odolnosti. Vyžaduje se kompatibilitnost s krycím nátěrem. Nesmí omezovat tvorbu pěny. Musí se napěňovat při nízkých teplotách (180 až 275 °C) (Netopilová 2010).

## **Druhy protipožárních omítkovin**

Z hlediska používaných plniv, se jedná o základní skupiny protipožárních omítkovin

- Izolační omítky na bázi vermikulitu

Jsou neúčinnější a nejstabilnější. Dají se aplikovat v poměrně tenkých vrstvách, jsou soudržné a omezeně odolávají povětrnostním vlivům. Mohou obsahovat i ztužující/armující minerální vlákna (Netopilová 2010).

- Vláknité systémy na bázi anorganických vláken

Dříve azbestové nástřiky. Na konstrukce se nanášely speciálním stříkacím zařízením. Byl velice účinný, ale nyní je výroba zakázaná. V současnosti se používají převážně jako přídatný materiál (plnivo). Čistě vláknité systémy nejsou na našem trhu běžné (Netopilová 2010).

- Izolační omítky na bázi expandovaného perlitu

- Expandovaný perlit a další možná plniva, jsou stmelena vápennými a cementovými pojivy a příměsí vhodné disperze. Případná armující látka je obsažena minerálními nebo skleněnými vlákny.
- Expandovaný perlit a další plniva jsou stmelena sádrovým pojivem. Vznikne zlepšení požární odolnosti, při kterém se projeví i měrná tepelná kapacita sádry. Představitelem tohoto nástřiku je systém PYROTHERM

Od protipožárních nátěrů mají protipožární omítkoviny nesrovnatelně horší vzhled. Jejich povrch je nerovný. Jsou výjimky ale záleží na finanční stránce.

Mezi nejlepší patří nástřiky s plnivem na bázi vermikulitu s přídavkem cementu a vápenného hydrátu. Začíná se přidávat i akrylátové disperze. Mají skvělé izolační vlastnosti. Náklady jsou vyšší, ale úspory lze dosáhnout malou spotřebou hmoty.

O něco méně horší je plnivo expandovaný perlit. Pro dosažení stejné protipožární odolnosti je potřeba silnějších vrstev hmoty. Nástřik má mírně horší fyzikální a mechanické vlastnosti. Značným problémem je jeho obtížná povrchová úprava (nelze vyhladit). Představitelem je např. TERFIX P (Netopilová 2010).

### 5.1.3 Dřevěné protipožární obklady

Obkladové desky, panely nebo rohože mají širokou oblast využití. Je nabízeno velké množství sortimentů, s certifikovanou aplikací. Nejpopulárnější jsou obklady, které se používají více než tři desetiletí. Původní sortiment zahrnoval i výrobky, které obsahovaly azbestová vlákna. Azbest byl aplikován kvůli své nízké ceně a jeho vynikající charakteristikou (odolnost až 1000 °C, izolace, nehořlavost apod.) (Netopilová 2010).

#### Druhy obkladů

Funkci ovlivňuje několik faktorů, a to jsou tepelné izolační schopnosti, mechanické vlastnosti, způsob připevnění desky, vlhkost apod. V případě nedodržením těchto parametrů jsou obklady, desky a panely nefunkční.

Využitelné desky v požární ochraně staveb lze rozdělit na více skupin, převážně podle struktury, nebo materiálu.

#### Rozdělení

- desky homogenní – složení v celé hmotě je totožné. Celý průřez je zhotoven ze stejného materiálu. Může se vyskytnout, že je zhotovena ze směsi různorodých částic o různých velikostech.
  - Vápenocementových
  - Na bázi vermikulitu
  - Sádroláknitých a sádrových
  - Z minerálních vláken
  - Cementových
  - Dřevovláknitých (obr.16)
- Desky sendvičové – u nich je vnitřní hmota uzavřená oboustranným pláštěm. Jádro bývá z odlišného materiálu. Materiál a plášť mají různou tloušťku, a to podle funkce izolační, vyztužující, hydrofobní, estetickou a funkční.
  - Sádrokartonové
  - Sádroláknité
  - Cementové
  - S kovovým pláštěm a izolačním jádrem (minerální vlna, polystyren apod.)
- Desky s nehomogenní strukturou – jádro je obvykle porézní a nezhutněné. K směrem povrchu je kompaktnější hmota a hutnější. Na konečném povrchu je většinou hladký a tvrdý povrch. Jsou velice pevné, mají výborné fyzikální a mechanické vlastnosti. Nevýhodou je vykazování objemových změn, způsobené tepelnou změnou.
  - Cementotřískové
  - Strukturně lehčené polyuretanové
- Desky vrstvené/laminátové – v požární ochraně nabírají stále větší zájem a využívání. Jsou to laminátové plošné výrobky s epoxidových pryskyřic. Někdy získají skvělé vlastnosti až po nanesení nátěrové hmoty. Na konstrukci se laminováním vytvoří 10 mm a více tvrdá vrstva.

Při požáru se rozkládá a svým plynným vývinem zpomaluje prohřátí materiálu (Netopilová 2010).



Obrázek 16 Protipožární dřevěné obložení (Woodenha, 17.4.2018)

#### **5.1.4 Desky na bázi minerálně vláknitých plniv**

##### **- ORDEXAL**

Polyfunkční systém lepených obkladů ocelových nosných konstrukcí na bázi z minerálních látek kotvených trvale pružným, žáruvzdorným tmelem kovovými spojovacími prvky. Základ je deska/rohož ORSIL PYRO. Je vyroben rozvlákňováním taveniny ze směsi čediče, vysokopevní strusky a diabasu o šířce 1000 a 500 mm, délce 1500 a 1000 mm a tloušťce 20 až 120 mm. Požární odolnosti dosáhne až 180 minut.

Jsou vhodná do vytápěných i nevytápěných interiérů. Trvale izolují, nepraskají a odolávají otřesům. Mohou být i ve venkovním prostředí (Netopilová 2010).

Tabulka 2 Technické vlastnosti lepených obkladů ORDEXAL  
(Netopilová 2010).

Vlastnosti desky	Jednotky	Hodnoty
Objemová hmotnost	kg.m <sup>-3</sup>	200
Třída reakce na oheň	-	A1
Tepelná vodivost	W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	0,039
Tepelný odpor	W.m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>	1,13
Pevnost v tahu	MPa	0,049

#### - ISOVER

Jsou vyrobené z minerálních plstí. Vhodné pro izolaci vnějších stěn předvěšených fasádních systémů. Musí se chránit proti povětrnostním vlivům. Pro zpevnění je možno je polepit skelnou, netkanou textilií. Třída reakce na oheň A1 (Netopilová 2010).

#### - CONLIT

Tuhé desky z minerální vlny pojené organickou pryskyřicí. Povrchová úprava má termo reflexní hliníkovou fólii vyztuženou skleněnou mřížkou. Používají se pro nosné konstrukce, požární dveře a vrata, vzduchotechnická potrubí a požární odtahy. Jeho požární odolnost je až 120minut. Desky na bázi minerálních vláken jsou velmi perspektivní, protože mají polyfunkční a ekonomické výhody, nezatěžují stavbu, dlouhá životnost atd. (Netopilová 2010).

## 5.2 Retardéry hoření dřeva

Většina přírodních vláken je velice hořlavá. Jejich hořlavost je závislá na struktuře a hustotě vlákna. Tyto ošetření na zpomalování hoření byly chemicky zkoumány v období 1950-1980. Ty, které jsou zajímavé i pro dnešní užití, se znovu prozkoumaly. Existuje více variant, jak tyto vlákna použít, jako je např. samotné nebo s příměsí syntetických vláken (Horrocks 2008).

Snížení hořlavosti, oddálení jeho vznětlivosti, zpomalení a šíření plamenů dokážeme uskutečnit za pomoci:

### Přírodní ochrana proti hoření dřeva

- Organická vlna – vlna je pružná, měkká a její největší výhodou je, že v zimě udržuje tělo nebo výrobek v teple a v létě v chladu. Vlna je živočišný materiál.
- Latex z gumového stromu Sap – tento strom Sap se dá přeměnit na přírodní latexovou pěnu. Je méně hořlavá a také odolná proti roztočům, plísním apod.

- Plnidla z organické bavlny
- Sójové a jiné rostlinné výplně – používají se do automobilů
- Masivní dřevěné panely – obloží se dřevěná konstrukce, z materiálu: kokosový strom, ratan, bambus apod.
- Přírodní impregnace – základ je voda, v práškovém nebo v kapalném provedení
- Obložení nehořlavými hmotami – písek, štěrk apod.

### **Syntetická ochrana proti hoření dřeva**

- Sádrokartonové desky
- Syntetické impregnace
- Syntetické výplně
- Přírodní materiály napuštěné chemikálií atd.
- Polymerace  
(Horrocks 2008)

#### **5.2.1 Přírodní retardéry hoření dřeva**

Pro životní prostředí je užitečné obnovovat užívání přírodních prostředků, nebo díky dnešním výzkumům nalézat nové. Je to výhodné proto, že nevznikají žádné zdravotní ohrožení. Existují živočišná, rostlinná a minerální vlákna. Mohou být složena z organických, ale také z anorganických sloučenin. Vlákna se odlišují svými vlastnostmi a morfologií. V současnosti je spousta přírodních vláken, které mají výborné vlastnosti, tak se jim nepřikládá příliš velká váha na použití.

Minerální vlákna mají svůj původ ve skalách s vláknitou strukturou a jsou složeny v podstatě z křemičitanu. Příkladem minerálního vlákna je azbest (obr.8).

#### **Struktura a využití přírodních vláken**

Vlastnosti se liší podle druhů rostlin a odkud jsou získaná. Velmi také záleží, v jakých podmínkách jsou pěstovaná a na jejich stáří při sklizni. Dalším faktorem je proces získání vláken.

Jen menší část se zpracovává na textilní nebo technických výrobků. Spíše se zhotovují jako příze. Každý druh materiálu je z jednoho druhu, nebo je to směs různých přírodních vláken (mohou být i syntetická) (Fibrenamics 2018).

#### **Minerální vlákna – Azbest**

Dříve se aktivně používal jako nehořlavý a odolný materiál proti kyselinám. Je velice pevný a ohebný materiál. Nemá žádný zápach ani chuť. Kvůli zdravotním potížím je ale zakázán. Zachytává se v plicích a je rakovinotvorný (Fibrenamics 2018).





Obrázek 8 Azbest (Wikipedia, 18.4.2018)

## 5.2.2 Živočišná vlákna

Vlákna obsahují bílkoviny (keratin). Nejčastěji se vlákna získávají ze srsti zvířat např. ovčí vlna, angorská koza, kašmířská koza, králičí srst, velbloudí srst atd. Jinak je to u motýla morušového, kde se vlákno získává z kukle. Produkuje přírodní hedvábí a má fibroinová vlákna (Fibrenamics 2018).

### 5.2.1.1 Vlna

Je přirozeně odolná vůči hoření. Proti ostatním je nejvíce uznávaná jako odolná vůči požárům. Má vysokou hodnotu LOI (25 %) a nízkou teplotu plamene (600 C°). Vnitřní vlákna mají skvělý účinek na zpomalování hoření, může to být spojeno s reakcemi vytvářející uhlík, za které odpovídá velké množství retardérů. Proto jsou obsažená vlákna ve vlně spojena s tím, že snižují intenzitu plamene. Její vlákna vyžadují více kyslíku, než je ve vzduchu, aby začala hořet, proto je vlna vynikající na použití k ochraně proti požáru (obr.9). Pokud vzplane, tak se vlákna neroztaví, nekapají a nelepí (Horrocks 2008).

#### Vlastnosti vlny:

- Velmi vysoká teplota vznícení 570–600 C°
- Vysoký limitní index kyslíku (LOI – míra hladiny kyslíku potřebná k udržení plamenů)
- Nízká tepelná vodivost (nízké množství tepla při hoření)
- Nemění svůj stav při hoření

Jeho přirozená odolnost vůči ohni je kvůli vysokému obsahu dusíku a vody. Když je vlna vystavena výrazně silnému plamenu, tak začne doutnat

(poměrně krátká doba). Kromě toho, se vytvoří izolační vrstva, která zabrání rozšíření plamene. Znamená to, že vlna produkuje méně kouře, který není toxický jako syntetická vlákna.

Je vynikající pro interiéry (koberec, závěsy, čalounění, ložní prádlo). Také se používá k výrobě textilie pro hasiče, vojáky a ostatní, kteří se vyskytují v blízkosti výbušnin (Horrocks 2008).



Obrázek 9 Izolace z vlny (ASB-portál, 15.4.2018)

### **Kombinace s chemickou složkou**

Funkci nehořlavosti nebo snížení si dá vylepšit kombinací kyseliny borité a boraxu, soli sulfátové a amonné, které podporují uhlí ve vlně. Tato ošetření nejsou trvanlivá. Jako trvanlivý produkt se používá Zirpro proces. Výhoda je, že nevzniká žádné zbarvení materiálu nebo narušení struktury vlny. Proces Zirpro se zakládá na tom, že vyčerpání negativních nabitých komplexů zirkonia nebo titanu na kladně nabitých vláknech za kyselých podmínek, a to při teplotě 60 C° (Horrocks 2008).

### **Organická vlna**

Neboli certifikovaná organická vlna. IWTO se podílela na tvorbě různých standartů vln, včetně organické vlny. Neznamená to, že ostatní vlna není přírodní, ale tato vlna má přísná pravidla na pěstování ovcí. Při jejich pěstování na nich nesmí být používány různé chemické prostředky (léky, preventivní léčba proti vším, mouchám a parazitům). Z důvodu neléčení ovcí se toto moc nepraktikuje.

Společnost IWTO tvrdí, že některý trh je tato organická vlna velmi důležitá.



Obrázek 10 Vyčesaná organická vlna (IWTO, 16.4.2018)

### 5.2.1.2 Hedvábí

Hedvábne vlákno je přírodní proteinová látka. Je to velmi cenné vlákno, protože má přírodní aminokyseliny a je používáno např. k výrobě drahého spodního prádla, a to z toho důvodu, že jeho získání je velmi drahé a časově náročné. Získává se z motýla morušového (obr.11). Proto je zbytečné jej používat na retardéry hoření dřeva. Má ale nízkou hořlavost, které je způsobeno velkým množstvím dusíku (15-18%). Jeho hodnota LOI je asi 23 %. V polovině 80. let 20. století bylo uváděno, že hedvábná vlákna nejsou odolná. Za to v devadesátých letech Kako a spol. vyzkoušel proces s použitím retardantem organofosfát a TMM a získala se velice účinná ochrana proti plamenům (Horrocks 2008).



Obrázek 11 motýl morušový a hedvábná vlákna (Sekora.cz, 17.4.2018)

### 5.3.1 Rostlinná vlákna

Základní prvek pro rostlinná vlákna je celulóza neboli celulózová vlákna. Tyto vlákna se rozlišují podle získání vláken (z jaké části). Ve srovnání se syntetickými vlákny, mají rostlinná vlákna několik výhod, a to: hojnost, nízké náklady, nízká hustota, schopnost absorbovat oxid uhličitý z prostředí, obnovitelnost a biologickou rozložitelnost. Jeho nevýhody je vysoká absorpce vlhkosti, nízká odolnost vůči mikroorganismům, nízká tepelná stabilita a mechanické vlastnosti jsou nižší než u syntetických (Fibrenamics 2018).

Rozlišujeme vlákna získaná:

- ze semen rostlin – bavlna, ze stonků rostlin (len, konopí, juta, ramie, kenaf)
- z listů (sisal)
- plodů (kokosová vlákna)

#### 5.3.1.1 Bavlna

Bavlna se skládá z Celulózy. Z celulózy se skládá třeba i umělé hedvábí. Tyto vlákna, jako jiné ne termoplastické látky, nejsou odolné vůči ohni, ale když se zkombinují s chemickým ošetřením, pak mohou sloužit jako výborná ochrana dřeva. Jedna dobře známá chemická látka, která já založena na organofosfátových sloučeninách, je tetrakis (hydroxymethyl fosfonium chlorid) (Horrocks 2008).



Obrázek 12 Plod bavlníku (pixabay.com, 17.4.2018)

## Nehořlavost textilie

Existují i nové druhy vláken, které mají zpomalovat hoření, jako jsou různé nátěrové hmoty nebo úprava povrchu. Tyto tkaniny mají zabraňovat těkavosti hořlavých materiálů. Složení a strukturu mají stejnou jako ostatní vlákna, ale jsou napuštěná tekutinou s obsahem soli, která tvoří určitý sklovitý povlak. Tato vrstva má dostatečnou plastičnost. Když je vystavena ohni, v první fázi se uvolňuje CO<sub>2</sub>, v druhé fázi se vyskytne H<sub>2</sub>O, který ochlazuje plamen a vytvoří kolem spálených míst ochranou vrstvu.

Materiály, co jsou schopny odolat určitému teplu a hoření, jsou začleněny do vrstvené kompoziční struktury. Jsou na tom stejně jako třeba kovové fólie, nebo jiné tepelné vodiče. Potom máme i komplikovanější materiály s fázovou změnou, které když absorbují určité množství tepla, tak se buď rozkládají nebo vypařují. Pokud ale včas odstraníme velké množství tepla, tak tyto ochrany nezačnou měnit své vlastnosti a ochrana je neporušena. K ochraně jsou použity tyto látky: Br a Cl, které zasahují do oxidační reakce plamene a přerušují řetězovou reakci pro další šíření plamene (Horrocks 2008).

### 5.3.1.2 Sisal

Sisalová vlákna se získávají z listů rostliny *Agave sisalana* (obr.13). Nachází se ve Východní Africe nebo v Brazílii. Pěstování je finančně nenáročné, proto je po nich čím dál větší poptávka. Má výborné tepelné a akustické izolační vlastnosti, nízkou hustotu a pevnost v tahu.

V oblasti retardérů hoření, má výborné výsledky. Rychlost hoření a tepelná stabilita jsou vylepšena přidáním hydroxidu hořečnatého a boridu zinečnatého. Tyto vylepšení nijak neovlivňují jejich vlastnosti (Svět sisalu 2018).



Obrázek 13 *Agave sisalana* (Databáze světových rostlin, 17.4.2018)

### 5.3.1.3 Konopí

Konopné vlákno se v historii používalo pro výrobu lan, plachet a oděvů. Dodnes se stále používá pro výrobu plachet. Má vynikající pružnost, vyrovnává vlhkost, udržuje tvrdost apod.

Konopné vlákno obsahuje:

- celulóza (44-55%)
- hemicelulóza (16-18%)
- lignin (4-28%)
- pektin (4-18%)
- pryskyřice atd. (6-7%)

Po rozsáhlém výzkumu, se přišlo na to, jak z konopí vytvořit vlákna. Toto vlákno dokáže vydržet až 140C°, tím pádem může materiál chránit proti šíření ohně. Je to proto, že jakmile konopné vlákno přijde do kontaktu s ohněm, tak okamžitě zhasne. Izolace z konopného vlákna je odolnější než klasické izolace (obr.14). Dosáhne požární odolnosti až na třídu E (Hempthai 2018).



Obrázek 14 Izolace z konopného vlákna (Realhemp, 17.4.2018)

### Jutová vlákna

Vlákna se získávají ze stonků z rostlin rodu *Corchorus*. Je jedno z nejlevnějších vláken. Používá se jako příměs do izolací např. s konopnými vlákny (Future fibres 2018).

### 5.3.1.4 Kokos

Vlákna se získají ze slupky, která obklopuje semeno kokosu. Dříve byla považována za levný produkt nízké kvality. Kokosová vlákna mají výbornou odolnost vůči mořské vodě, proto se se lana používají v námořnickém průmyslu. V dnešní době se ukázalo, že mají výborné vlastnosti na výrobu polymerních kompozitních výrobků.

Po prvním pokusu s polymerní kompozicí s polypropylenovou matricí naroubovanou anhydridem kyseliny maleinové. Ukázalo se, že odolnost vůči hořlavosti se zvýšila až do 70 % objemových vláken (Wageningen 2018).



Obrázek 15 Kokosová vlákna (Mladý kokos, 17.4.2018)

### 5.3.1.5 Vlákna z rostliny *Sansevieria cylindrica*

Vlákna jsou získána z listů. Nejběžněji se používají na domácí dekorace např. v Indii. Byl proveden jeden pokus na polymerní kompozit s epoxidovou matricí a výztuží z vláken. Jako nejvíce byly rozvinuty jeho mechanické vlastnosti (o 9%). Vykazovala i vyšší hodnoty u hodnot tahových a ohybových vlastností. Dokonce se i ukázalo, že proběhla lehce tepelná vodivost (Horrocks 2008).



Obrázek 16 *Sansevieria cylindrica* (Plants rescue, 18.4.2018)

### 5.3.1.6 Přírodní kaučuk

Pochází ze stromu *hevea brasiliensis*. Který vyrábí přírodní latexovou šťávu. Na kůře stromu se provede řez. Guma se takto sklízí již 3500 let. Kaučukové stromy se pěstují sedm let, aby se mohla sklízet guma. Celkem se pěstují zhruba 28 let než se nahradí novými. Staré gumové stromy jsou zpracovány na nábytek, mulčování a jiné.

Když se nasbírá kaučuk, tak se nejdříve vytlačí (obr.17), vysuší, třídí a utužuje (olliword.com 2018).



Obrázek 17 Kaučuk po vytlačení (olliword.com, 18.4.2018)

Dá se používat jako směs k izolacím a ochraně proti hoření, je totiž méně hořlavý a má odolnost vůči plísním, roztočům, hnilobám apod.



### 5.3 Syntetické retardéry hoření dřeva

Při zahřátí se vlákna roztaví a jsou velice hořlavá. Pro zpomalení hořlavosti máme více postupů. První možnost je, že začleníme přísady látek, které zpomalují hoření do polymerní taveniny. Druhá možnost je, že před vytlačení přidáme roztok kopolymerace nebo roubováním FR molekul do polymerního řetězce a povrchovou úpravu vytvoříme polotvrdou nebo tvrdou (Horrocks 2008).

#### 5.3.1 Biopolymery

Pro biopolymery neexistuje určitá definice. Nejbližší definice zní: jakýkoliv polymer může být získán přímo nebo nepřímo z biomasy. Podle této definice to znamená, že přírodní polymerní látky jsou přímo extrahované z biomasy např. kyselina mléčná nebo PLA.

Celulózová nebo acetátová umělá vlákna, jsou jedna z prvních, co se začala používat. Jsou velice hořlavá. Proto o nich neexistuje žádný záznam o zkoušce hořlavosti. Chemické složení acetátu bylo použito na zpomalování hoření při zkouškách na bavlně.

Lyocell je také vyroben z celulózové buničiny, ale na trhu se objevil až v roce 1992. Jeho hořlavost byla zkoumána jen jednou. Z této zkoušky vyplývá, že FR lyocell, by mohl být vyráběn pro zpomalování hoření, FR lyocell vykazuje LOI 30, pokud se ponechá jeho tahová vlastnost.

PLA vlákna byla jako první vyrobená syntetická vlákna ze 100 % obnovitelných zdrojů a použita roku 2003. Jsou dostupná jako vlákna Ingeo. Jeho hlavní užití je k výrobě ložního prádla, kobereců, příkrývek, oděvů, domácí textilie apod. Z tohoto důvodu jsou nutná opatření pro ochranu hoření. Při hoření PLA se taví a odkapává a rychle získá teplotu plamene (Horrocks 2008).

#### 5.3.2 Polyamid

Polyamid jako polyester je syntetické vlákno vyrobené z polykrystalických polymerů. Používá se v oděvním odvětví stejně jako polyester. Polyamidy se projevily jako málo odolné vůči hoření. Ke zlepšení ochrany se používá polo tvrzená povrchová úprava na bázi derivátů thiomocoviny (chemikálie z 80.let). Poslední výzkum, co probíhal, byl založený na nanočásticích. Nedávná práce společnosti Horrocks et al. (2008) zkoumala účinek přidání vybraných zpomalovačů hoření na bázi poly-fosforečnanu amonného, melamin-fosfátu, pentaerythritol-fosfátu, cyklického fosfátu a podobných formulací do nylonu 6 a 6.6 v přítomnosti a nepřítomnosti nano-klávu. Zjistilo se, že v nylonu 6.6 všechny obsahující nano-klávy vykazovaly významné synergické chování s výjimkou melamin-fosfátu v důsledku aglomerace jílu (Horrocks 2008).

### 5.3.3 Polypropylen

V současné době je jedna z nejpoužívanějších látek z důvodu konečného technického užití a nízké ceny. Má vysokou pevnost v tahu a díky tomu se používá např. v čalounictví, textile do koupelen, automobilový textil, různé tapety apod. Díky alifatické uhlovodíkové struktuře se PP spaluje rychle a téměř bez kouře.

Polypropylenová vlákna mohou být ošetřena retardéry proti hoření, ale musí se myslet na to, že vlákna uvnitř by měla mít vysokou pevnost. Přijatelná látka pro vláknotvorné stupně by měla mít tepelnou stabilitu, a to do 260 C°. Bylo nalezeno 5 hlavních typů na systémy zpomalující hoření pro PP a to např. oxid, hydrát kovu obsahující křemík. Došlo se k závěru, že kromě anti moru halogenu, případech halogenových formulací je v současné době používán jediný systém na zpomalování hoření a to fosfát.

V dnešní době se rozvíjí výroba bez halogenů PP vláken na bázi fosforu a musí mít alespoň 15-20 % hmotnostních aditiv. Postupem času se rozvíjí bez halogenové zpomalovače hoření, které poskytují přijatelné úrovně zpomalovacích aditiv. Vyžadují zcela novou chemii FR, nebo vývoj synergické kombinace. Použití nanočástic by mohlo tuto variantu nabídnout.

V případě PA-6mano bylo použito vinyl silsesquioxan v PP. FQ Poss je tepelně stabilní a při výrobních podmínkách nebyla zjištěna žádná degradace. Pozorováním mezi dvěma tkaninami se zjistilo, že si jsou svými vlastnostmi podobné. Požární ochrana se moc nezlepšila, ale doba vzplanutí se výrazně zlepšila, díky tepelné stabilitě nano-kompozit. FQ-Poss se nedá použít jako zpomalovač hoření ale jako tepelný stabilizátor. Ukázalo se, že nano-kompozity z polypropylenových uhlíkových nano-trubiček (MWNT) a 2 % hmotnostních nano-kompozitů vykazují významnou zpomalující účinnost. Na základě těchto informací se vyrobily smíšené tavené, tavené splétané vícenásobné filamenty z PP a I. Nebyly pozorovány žádné významné rozdíly mezi těmito dvěma látkami, kromě černé barvy v důsledku přítomnosti MWNT vyrobeného vizuálním pozorováním a jejich rukojetí. Pletené tkaniny byly hodnoceny spotřebou kyslíku. První vysvětlení je, že vlákno pozoruje točení taveniny jako v případě PA-6nano, které mohou vytvářet "účinek knotů", kdy vlákna působí jako malý zdroj plamenů na povrchu tkaniny a měří se jeho zapálení. Druhé vysvětlení bylo zdůrazněno v práci Kashiwagim et al. (2008), v tom, že pod určitou koncentrací uhlíkových nano-trubic, přibližně 2 časové zpoždění zážehu je zkráceno kvůli nárůstu záření hloubkového absorpčního koeficientu po přidání uhlíkových nano-trubic. Ukázalo se, že disperze jílu byla dosažena v nánosném před a po roztavení taveniny. Uváděli, že vzorky vlákniny mají dostatečně přijatelné textilní vlastnosti, které umožňují jejich pletení do vzorku tkanin a zvýšený modul. Z výše uvedených příkladů vyplývá, že nano-kompozitní přístup sám o sobě neposkytuje dostatečnou retardaci hoření na tkanině PP. Používané retardéry hoření zahrnují známé poly-fosforečnan amonný plamene a zpomalující charakteristiky stabilizátoru aminu v polypropylen (Horrocks 2008).

### 5.3.4 Polyester

Polyesterová vlákna jsou nejvíce používaná pro průmyslovou výrobu a najdeme je ve více odvětvích. Z polyesteru se vyrábí sportovní oděvy, volnočasové oděvy, ochranné oděvy atd. V bytových prostorech se nachází všude např. záclony, nábytkové pokrývky, stolní a ložní prádlo, krytiny apod. Z důvodu, že jsou polyesterová vlákna hořlavá, musí se u nich použít retardér hoření. Jedno z obvyklých řešení je začlenění monomerní jednotky fosfitové kyseliny do PET polymerního řetězce.

Polyester Trevira CS nevytváří žádný uhlík a existuje důkaz, že sloučenina fosforu působí v plynném skupenství. Pro vytlačování polyesteru (deriváty bis fenolových oligomerů od firmy Toyobo, cyklické fosfáty) byly vytvořeny retardéry hoření. Je třeba nezapomínat na to, že cyklický fosfát se dá nanést i na textilii.

Hořlavost PET ošetřeným PppBP byl zkoumán vertikálním hořením, které nám ukázalo zvýšenou ochranu proti plamenům. Buď se snížilo kapání tavného materiálu nebo dokonce i bez kapání. I nadále probíhají další zkoušky (Horrocks 2008).

### 5.3.5 Systém HTPC – bavlna s chemickou složkou

Je velice účinný pro poskytování trvalé odolnosti vůči plamenům na bavlněné tkaniny. Je ale velice náročný na aplikování. Tento systém používají Yang a spol., s kombinací z hydroxylového funkčního organofosfátového oligomeru (HFPO) pro systém konečného zpomalování hoření. DMDHEU (DMDHEU jako nová kovalentní vazba s oběma funkcemi jako pojivo pro vytvoření bavlněné celulózy HFPO / DMDHEU a HFPO).

Někdo tvrdí, že takto ošetřená bavlna se vykazuje jako odolná úroveň plamene, jehož bělost snižuje hořlavost. MDPA umožňují porovnávat sílu plamene a jeho působení bavlněného vlákna s novým virovým systémem LOI, než je tkanina TMM. Látka TMM je kvůli vyššímu obsahu dusíku Lor ošetřena systémy HFPO a MDPA, pokud tedy obsahuje stejné množství fosforového dusíku. MDPA/TMM ale vykazuje vyšší odolnost vůči praní než HFPO/TMM.

FR tkaniny se začínají rozkládat při nižší teplotě než neošetřená bavlna, ale vykazují přechodný charakter s mnohem vyšším než tento: 50 hmotnosti ve srovnání s 20 hmotností % u 400, ale konečně zbytky jsou podobné při 1000°.

Při zkoušce na bavlnu bylo provedeno několik nástřiků s hydroxidem uhličitým a zinečnatým. Bylo zpozorováno prodloužené spálení zkušebních vzorků. Našla se přítomnost oxidu zinečnatého v popelu, ale nenašli se žádné stopy zinku. Tím se vysvětluje, že zpomalení hoření probíhá za pomoci redukčně-oxidačními reakcemi vyskytující se během hoření. Z toho vyplývá, že i bavlna má svůj podíl na snížení hořlavosti.

Je skvělé zlepšovat charakteristiky bavlny, která je spojena s nízkou hořlavostí. Důležitá je její povrchová úprava. Skupina Horrocks používá ionty

zpětného povlaku poly-fosforečnanu amonného. APP jako hlavní FR v kombinaci s kovy podporují tepelnou degradaci APP při nižších hodnotách, než je jejich nepřítomnost, což umožňuje aktivitu zpomalujícího hoření při spuštění teplot v polymeru, čímž se zvyšuje účinnost zpomalovače hoření. Byla vyvinuta koncepce mikro kapslí fosforečnanu amonného zabudovaných do polyuretanu a polymočovinu, aby se vytvořil intumescentní systém kompatibilní s normálním polyuretanovým (PU) povrchem pro textilii. Výhodou tohoto konceptu je snížení rozpustnosti fosfátu ve vodě a vytvoření dobrého trvanlivého textilního zpětného povlaku. Chování těchto zpomalovacích potažených bavln bylo vyhodnoceno pomocí kuželového kalorimetru a vykazuje významný účinek FR.

Průkopnická práce Gilmana et al. (2008) uvádí, že přítomnost jílového materiálu v polymerních maticích, vede ke zlepšení požární odolnosti. Tyto výhody byly zjištěny i u různých nanočástic, včetně uhlíkových nano-trubiček (CNT). Zatím toho nebylo moc zjištěno o vývoji nano-kompozitních struktur v textiliích.

Pro první publikovaný výzkum zabývající se bavlnou, bylo použito PU obsahující MMT a POSS jako povlak. POSS nezvyšuje ochranu proti plamenům, ale s přídatkem MMT má podstatnou výhodu z hlediska snižování a uvolňování tepla. V nedávné době byla vyrobena bílá bavlna s MMT jílu v 50 % roztoku N-oxidu-4- methylmorfolinu (MMNO).

Experimentální postup plazmochemicky indukované štěpné polymerace monomerů byl použit k vývoji ochranných povlaků pro textilní materiály proti ohni. V (PIGP) jsme použili plazmochemicky indukovaný štěp, který se skládá ze současného roubování a polymerace monomerů, jako jsou akrylátové monomery, na povrchu materiálu.

Monomer (smíchaný s nebo bez foto iniciátorů a rozpouštědla) je v první části umístěn na substrát ponořením, polstrováním, zpětným povlékáním nebo jinými technikami. Potažené substráty se potom zavádějí do plazmového reaktoru. Reaktor se potom evakuuje, průtok plynu se upraví a začne se uvolňovat. Materiály se potom omyjí, aby se odstranily nevštipené monomery a polymery a vysuší se.

Bariérová bavlna ošetřena polyethylen met akrylát fosfát je na tkanině výrazně lepší. Hodnoty LOI se zvyšují z 21 % obj. U čisté bavlny na 32 % obj. U FR bavlny se při tomto plazmovém ošetření dá také dosáhnout hodnoty M2 (ve srovnání s hodnocením M3). Je také pozoruhodné, že trvanlivost je velmi dobrá. Výsledky jsou velmi slibné a stále probíhají práce na objasnění mechanismu účinku (Horrocks 2008).

### **5.3.6 Existují reaktivní nebo aditivní retardéry**

- Reaktivní retardéry – látka se přidává během polymerace a tím se stává součástí polymeru. Vzniká modifikovaný polymer zpomalující hoření, který má odlišnou molekulovou strukturu než původní.

- Aditivní retardéry – látka se začlení už před, během nebo na konci polymerace. Nejsou na sebe chemicky vázané, ale jen fyzicky vmíchané. Jsou lépe uvolňovány při hoření dřeva.

Látky, které zpomalují hoření obsahují většinou chlor, brom, hliník, bor, dusík, fosfor nebo křemík. Aby se účinnost zvětšila, tak se přidává např. zinek nebo molybden, které účinně potlačují kouř (Münster 2018).

## Na bázi halogenů

Typické jsou halogenované parafíny, halogenované alifatické a aromatické sloučeniny a halogenované polymery.

Halogeny zasahují do reakce spalování, kdy volné radikály vodíku a hydroxyly reagují s kyslíkem. Během hoření se uvolňuje vodík, který se váže na bromové radikály. Toto zvyšuje spékání polymeru na úkor vznikání těkavých látek. To způsobuje zpomalení hoření polymerů.

Vazba  $F > Cl > Br > I$

Jeho tepelná stabilita je omezena z důvodu, menší stability jódu než teploty, při kterých probíhá polymerace. Naopak fluorid je velmi stabilní (Münster 2018).

### Rozdělení:

- Aromatické – TBBPA, PBDE, PBB
- Alifatické – chlorparafíny s krátkými řetězci
- Cyklické – HBCD

## Poly brómované difenyl ethery

Většinou jsou odolná vůči kyselinám, zásadám, teplu, světlu, redukčním i oxidačním reakcím. Pro naše životní prostředí jsou rizikem, protože se akumulují. Jsou tři kategorie: penta-, okta-, a deka-brómované difenyl ethery (BDE).

Penta-BDE se vyrábělo v Izraeli, Japonsku, USA a EU. Roku 2001 bylo až 98 % poptávek ze Severní Ameriky. Univerzálním byl deka-BDE, kdy v roce 2001 byla poptávka až 83 %.

Tento retardér byl jako první detekován v životním prostředí. Po zjištění toxických vlastností, bylo postupně jeho používání utlumeno. Ukázalo se, že penta-BDE škodí štítné žláze, vaječným apod. Díky testům na krysách se ukázalo, že škodí podobně jako deka-BDE. Postupem času se tedy výroba ukončuje. Jako náhrada se doporučovala látka trifenyl fosfát, Tribromoneopentyl alkohol a další (Petrová 2018).

## **Tetra-brombis-fenol A**

TBBPA je reaktivní ochrana hoření. Jeho světová spotřeba je 210 000 tun (15 % Severní Amerika, 75 % Asie). Většinou se vyrábí pro meziprodukt epoxidových pryskyřic pro tištěné spoje. Zbývající (10%) se používá na ochranu dřeva proti hoření, a to pro papír, textilní lepidla a nátěrové hmoty.

Vyrábí se bromací bis fenolu A v organickém rozpouštědle. Mámě několik derivátů: tetra-brombis fenol A-bis ether, tetra-brombis fenol bis allyl ether, tetra-Brom bis fenol-bis (dibromopropyl ether) a tetra-Brom bis fenol-bis (glycidyl ether).

Sice má malou rozpustnost, ale, jak se ukázalo, shromažďuje se v půdách a v biologických maticích po celém světě. Do životního prostředí se dostává ze skládek, kam jsou produkty s TBBPA odkládány.

V roce 1986 agentura pro ochranu životního prostředí v USA zjistila, že je nutné sledovat dopady TBBPA. Z dalších analýz vyplývá, že TBBPA má nízké riziko pro poškození organismu i integrity životního prostředí. Zatím však nebyla prokázána žádná karcinogenita ani mutagenita (Petrová 2018).

## **Na bázi anorganických sloučenin**

Do této kategorie spadá spousta anorganických látek, které pomáhají ke zpomalení hoření. Zahrnují sloučeniny hydroxidy kovů alkalických zemin, oxidy antimonu, boritan zinečnatý, ciničitan, fosfor a grafit (Petrová 2018).

### **Hydroxidy kovů alkalických zemin**

Tento retardér je založen na tepelném rozkladu hydroxidů kovů alkalických zemin. Nejběžnější je hydroxid hlinitý a hydroxid hořečnatý. Při hoření dochází k uvolňování inertních plynů. Vznik nehořlavé a odolné vrstvy na povrchu (popel), který brání uvolňování hořlavých plynů z polymeru. Jeho velká výhoda je, že má nízké výrobní náklady, ne-toxičnost a lehkou manipulaci.

Hydroxidy mají nízkou účinnost, a tak se musí přidávat ve větších množstvích (60%) nebo s kombinací s jinými. Používá se k ochraně plastů, pěn, přírodních a syntetických textilií a dřevařských výrobků.

Biologická dostupnost hliníku závisí na formě, která souvisí s pH prostředí (Petrová 2018).

### **Zinek**

Hlavní složkou jsou boritany. Nejvíce se používá:  $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 3,5H_2O$  a jeho obchodní název je FIREBRAKE ZB. Boritan zinečnatý působí hlavně v kondenzované fázi, kde se v endotermického rozkladu uvolňuje voda, kyselina boritá a oxidy boru.

Jeho hlavní využití z materiálu je u PVC a halogenového polyesteru. Při hoření se uvolňuje chlorovodík, který reaguje s boritanem. V pevné fázi zinku se vytváří polymerní řetězce, což vede ke zvýšení popela a k menší produkci kouře. Oxid boritý vytvoří skelnou vrstvu na povrchu. Při spalování materiálu vzniká keramická izolační vrstva.

Dotud nebylo zjištěno, že by nějak škodil životnímu prostředí nebo zdraví (Petrová 2018).

### **Antimon**

Sám o sobě nemá žádné účinky na zpomalování ohně. Využívá se jeho synergický efekt ve spojení ochrany dřeva. Oxid antimonitý působí v plynném skupenství, kde se váže s halogeny, kyslíkem, vodou apod. Vzniklé halogenidy antimonu zpomalují uvolňování halogenů do ovzduší a brání v přístupu kyslíku.

Sloučeniny antimonu jsou spojovány s dermatitidou. Zhoršují dýchací cesty, narušení imunitního systému. Byla i prokázána jeho karcinogenita a genotoxicita. Ukázalo se, že je škodlivý pro vodní organismy, ale prozatím jeho použití není omezeno (Petrová 2018).

### **Na bázi fosforu**

Prvně použity byly již v 18. století (fosfát na plátně). Pro ochranu zahrnuje anorganické, organické a halogenované fosfáty. Mohou působit jak v plynném, tak v pevném skupenství. Halogenované fosfáty působí hlavně v plynné fázi, kde odchyťávají volné radikály, čím se potlačuje exotermní proces. V pevné fázi vzniká popel za pomoci polymeru kyseliny fosforečné.

Studie ukazují, že fosfor může být velmi škodlivý vůči životnímu prostředí (Petrová 2018).

### **Anorganické retardanty s fosforem**

Červený fosfor je velice účinný na skleněná vlákna, dráty apod. Využívá se ve formě polymeru, který při zahřátí štěpí molekuly P<sub>2</sub>, což probíhá v plynné fázi. Účinkuje za pomoci kyslíku a dusíku.

Nejvíce používaný je polyfosforečnan amonný. Bez halogenů, slouží k zuhelnatění. Příkladem jedné kombinace je polyfosfát amonného, pentaerythritolu a melaminu. Tady polyfosfát funguje jako dehydratační katalyzátor, pentaerythritolu jako zdroj popela, melamin jako bobtnající prostředek, který zvětší hloubku popela a tím vzniká lepší izolace. Obecné anorganické látky nejsou škodlivé, protože fosfor je vázán k popelu.

Jeho nevýhodou je nízká tepelná stabilita, vysoká citlivost na vlhkost apod. Důležité je, dosáhnout větší odolnosti vůči vodě (Petrová 2018).

## **Organické retardanty s fosforem**

Organické sloučeniny mají výborné fyzikální vlastnosti, ale jsou dražší. Trifenylfosfid má skvělé využití v automobilech, fotografických filmech apod. Jeho termální degradací vzniká kyselina fosforečná, která vytvoří na povrchu určitou bariéru.

Prozatím nebyla nalezena žádná rizika pro životní prostředí (Petrová 2018).

## **Halogenované retardanty s fosforem**

Tris (2- chloráty) fosfát je aditivní retardant, který je aktivní v pevné fázi, ale má taky účinnost v plynné fázi, a to přes uvolněný chlor. Původně se používal v polyuretanových pěnách, které ale dnes nahradily jiné látky. Nyní se používá na střechy a textil. Je to rozpustná látka ve vodě, tím pádem je škodlivá pro životní prostředí. Ve vodním prostředí je degradován velmi pomalu. Zatímco v atmosféře je degradován rychleji. Podle dat je to toxická látka, která narušuje plodnost. Roku 2009 EU vydala zprávu o rizicích, ale jeho výroba nebyla zatím omezena (Petrová 2018).

## **Na bázi dusíku**

Jejich užitečnost je všestranná, jak pro zpomalovače termoplastů, tak i termosetů. Velkou výhodou je, že při spalování nevznikají dioxany a furany, jsou nekorozivní, mají dobrou UV stabilitu a jsou recyklované. Nejpoužitelnější na bázi dusíku je: polyfosforečnan amonný a soli melaminu.

Melamin je velmi důležitý. Při vysoké teplotě se sloučeniny s melaminem endotermicky rozkládají, a z něj se uvolňují amoniak, která ředí kyslík a hořlavé plyny. Je vhodný jako zpomalovač hoření polyuretanů, polyesterů, epoxidů a polyamidů. Využití mají v polyamidech a polyesterech.

Ze studií se ukázalo, že vysoký množství melaminu, má za následek močové kameny a akutní selhání ledvin (Petrová 2018).



## 6. Závěr

Cílem této bakalářské práce byla analýza současných retardérů hoření dřeva na přírodní bázi pro dřevěné výrobky a konstrukce. K splnění potřebujeme zjistit současné stavy využívání retardérů hoření v dřevařském průmyslu. Poté rozebrání jednotlivých přírodních retardérů hoření pro dřevěné výrobky a konstrukce a zjištění rozdílů syntetických retardérů hoření dřeva.

Dřevo má krásnou a zajímavou strukturu. Po fyzikálních a mechanických vlastnostech, je dřevo výborným materiálem pro dřevěné výrobky a dřevostavby. Ukázalo se, že jeho reakce na požár v přiměřené době (izolační vrstva-zuhelnatění), je návratná. Toto je dobré vědět, kvůli dřevěným stavbám, aby se mohli stanovit správné ochrany proti ohni.

V další kapitole je ochrana dřevěných konstrukcí. Vidíme, že použití přírodních retardérů je velice výhodné pro naše životní prostředí, zdraví a i funkčnosti. Některé z nich mají výborné vlastnosti např. vlna, která se používá do izolací.

V poslední části jsou jednotlivé přírodní a syntetické složky ochrany proti požárům. Přírodní retardéry jsou pro životní prostředí a zdraví lidí výhodnější než syntetická. V dnešní době se přihlíží znovu k přírodním materiálům.

Přírodní retardéry dělíme na živočišná, rostlinná a minerální vlákna. Minerální vlákno Azbest je jediné přírodní vlákno velmi škodlivé a karcinogenní. Už se nevyrábí. Z některých přírodních retardérů jsou odolné vůči ohni i bez chemických sloučenin. Většinou ke zvýšení odolnosti se doplňuje chemickou směsí. Některé syntetické složky nám škodí zdraví a prostředí, ale stále se vyrábějí.

Vyplývá nám, že do budoucna by se mělo soustředit na vylepšení přírodních vláken na ochranu proti ohni, podpořit jejich vlastnosti (např. kokosová vlákna). Také nahradit syntetické složky, které se ukázali jako škodlivé.

## Seznam literatury a zdrojů

1. Netopilová M., Kačíková D., Osvald A., Ostrava, *Reakce stavebních výrobků na oheň*, ISBN: 978-80-7385-093-7, 2010, 126str.
2. Kučera P. Ing., Ph.D., Česelská T. Ing., Matečková P. Ing., Ph.D., Ostrava, *Požární odolnost stavebních konstrukcí*, ISBN: 978-80-7385-094-4, 2010, 176str.
3. HORROCKS, A. R., PRICE, D. *Fire Retardant Materials*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, ISBN: 978-1-85573-419-2, 2008, 616str.
4. Kupilík V., Praha, *Stavební konstrukce z požárního hlediska*, ISBN: 80-247-1329-2, 2006, 262str.
5. NICHOLAS, D. D. *Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments: Degradation and Protection of Wood*. Syracuse University Press, ISBN: 978-0-81562-285-7, 1982, 380 s.

## Internetové zdroje

1. Petrová Š., Soudek P., Vaněk T., 2018, [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2015\\_09\\_679-686.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2015_09_679-686.pdf)
2. [http://drevari.humlak.cz/data\\_web/Data\\_skola/HUdrevva/12.pdf](http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdrevva/12.pdf)
3. Münster L., Zlín, 2018, [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/17124/munster\\_2011\\_bp.pdf?sequence=1](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/17124/munster_2011_bp.pdf?sequence=1)
4. Vzdělávací portál, 2018, <http://drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz/zajimavosti-ze-sveta-dreva/drevo/>
5. Informace o stavebnictví v ČR, 2018, <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelne-izolace-prehled-materialy-druhy-zpusoby-po/>
6. Firma STEICO, 2018, <http://www.steico.com/en/>
7. Firma Woodenha, 2018, <http://www.woodenha.com/>
8. International wool textile organisation, 2018, <http://www.iwto.org/wool-for-interiors>
9. Konopné stavební materiály Realhemp, 2018, <https://www.realhemp.com/hemp-industries/hemp-building-materials/>
10. HempThai, 2018, <http://www.hempthai.com/fire-protection/>
11. Canna, 2018, [http://www.canna-cz.com/jak\\_se\\_pozna\\_kvalitni\\_substrat\\_z\\_kokosovych\\_vlaken](http://www.canna-cz.com/jak_se_pozna_kvalitni_substrat_z_kokosovych_vlaken)
12. Texaská univerzita v Austinu, 2018, <https://news.utexas.edu/2015/10/05/texas-engineers-develop-nontoxic-flame-retardant>
13. Woodproduct, 2018, <https://www.woodproducts.fi/content/fire-safety-wood-structures>

14. Bevedo, 2018, <https://www.bevedo.cz/napoveda/clanky/azbest-vlastnosti-a-zdravotni-rizika/>
15. Fibrenamics Fibre the future, 2018  
<https://www.web.fibrenamics.com/en/knowledge/the-fibers/natural-fibers/>
16. Olli, 2018 <https://olliworld.com/pages/natural-rubber>
17. SCRIBD, 2018,  
<https://www.scribd.com/document/284967498/The-Effect-of-Natural-Retarder-on-Fly-Ash-Based-Geopolymer-Concrete-Libre>
18. Member, 2018, <http://better-cementing-for-all.org/synthetic-vs-organic-which-retarder-is-better>
19. MSDK, 2018, <http://www.msdk.cz/projekty/op-vk-oblast-podpory-1-1-zvysovani-kvality-ve-vzdelavani/o-projektu/zajimavosti-ze-sveta-dreva/drevo/>
20. ZSHM, 2018,  
[http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo\\_zkoušení](http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo_zkoušení)
21. Inspirati, 2018, <http://inspirati.cz/2017/10/12/7555/>
22. Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství, 2018,  
<http://www.konstrukce.cz/clanek/pozarni-odolnost-drevenych-stresnich-nastaveb/>
23. Dřevostavby, 2018, <http://www.drevostavby.cz/vse-o-drevostavbach/jak-na-drevostavbu/jak-a-s-kym-stavet/4240-domy-a-projekty-moderni-drevostavba-mnoha-tvari>
24. Přírodní doma, 2018,  
[http://www.prirodnidomy.cz/priodni\\_natery.htm](http://www.prirodnidomy.cz/priodni_natery.htm)
25. Alpmont, 2018, <http://www.alpmont.cz/pergoly-a-drevostavby>
26. Woodenha, 2018, <http://www.woodenha.com/en/our-work/fire-retardant-wooden-cladding/offices-in-the-futuroscope---poitiers>
27. ASB – portál, 2018, <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyroby/tepelne-izolace/tepelna-izolace-zovci-vlny>
28. IWTO, 2018, <http://www.iwto.org/organic-wool>
29. Svět sisalu, 2018, <http://www.sisal.ws/page6/page7/page7.html>
30. Realhemp, 2018, <https://www.realhemp.com/hemp-industries/hemp-building-materials>
31. Future fibres, 2018,  
<http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute/en/>
32. Mladý kokos, 2018, <https://www.mladykokos.cz/more-vyuziti-vsech-casti-kokosove-palmy>
33. Olliword, 2018, <https://olliworld.com/pages/natural-rubber>