

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Požárně-technické vlastnosti a termická  
odolnost dřeva v dřevostavbách**

Bakalářská práce

Autor: Veronika Pondělíčková

Vedoucí práce: Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

2021

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Veronika Pondělíčková

Dřevařství  
Dřevařství

Název práce

**Požárně-technické vlastnosti a termická odolnost dřeva v dřevostavbách**

Název anglicky

**Fire-technical properties and thermal resistance of wood in wooden buildings**

---

### Cíle práce

Cílem práce je vypracování literární rešerše požárně-technických vlastností dřeva. Na základě literární rešerše budou stanoveny metody pro hodnocení požárně-technických vlastností dřeva. Autorka navrhne možná opatření pro zlepšení těchto vlastností a stanoví faktory, které ovlivňují požární bezpečnost dřevostaveb.

### Metodika

Charakteristiky požárně-technických vlastností dřeva pro jeho uplatnění v konstrukcích je zásadní. V rámci řešení bude zpracována literární rešerše požárně-technických vlastností dřeva, bude stanovena vhodná metoda pro zhodnocení požárně-technických vlastností dřeva, dojde k vyhodnocení výsledků měření a jejich prezentace vhodnou formou.

Červenec – září 2020:

- Literární rešerše požárně-technických vlastností dřeva

Říjen – listopad 2020:

- Stanovení vhodné metody pro hodnocení požárně-technických vlastností dřeva

Prosinec 2020 – leden 2021:

- Realizace testů pro stanovení požárně-technických vlastností dřeva

Únor – březen 2021

- Vyhodnocení výsledků požárně-technických vlastností dřeva

- Závěr

### Doporučený rozsah práce

50

### Klíčová slova

Dřevo, požár, stavba, konstrukce

---

### Doporučené zdroje informací

- Bartlett, A.I., Hadden, R.M., Bishy, L.A. (2019). A Review of Factors Affecting the Burning Behaviour of Wood for Application to Tall Timber Construction. *Fire Technology* 55. pp. 1-49.  
<https://doi.org/10.1007/s10694-018-0787-y>
- Esteves, B. M., Pereira, H.M. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. *Bioresources* 4(1), pp. 370-404. DOI: 10.15376/biores.4.1.370-404
- Gašpercová, S., Osvaldová, L. (2017). Influence of surface treatment of wood to the flame length and weight loss under load single-flame source. *Key Engineering Materials* 755. pp. 353-359
- Kadlicová, P., Osvaldová, Makovická, L., Jancík, J., Gaff, M. (2019). Effect of thermal and retarding treatment on flammability rate of tropical tree species. *Wood Research* 64(1). pp. 117-126
- Moraes, P., Rogaume, Y., Bocquet, J., Triboulot, P. (2005). Influence of temperature on the embedding strength. *Holz als Roh-und Werkstoff* 63(4). pp. 297-302
- Shen, D., Fang, M., Luo, Z., Cen, K. (2007). Modeling pyrolysis of wet wood under external heat flux. *Fire Safety Journal* 42(3). pp. 210-217
- Smith, W., King, J.B. (1970). Surface temperature of materials during radiant heating to ignition. *Journal of Fire Flammability* 1(4). pp. 272-288
- White, R.H., Dietsenberger, M.A. (2001). Wood products: thermal degradation and fire. In: *Encyclopedia of materials, science and technology*, Elsevier Science Ltd., pp. 9712- 9716
- Wichman, I.S., Atreya, A. (1987). A simplified model for the pyrolysis of charring materials. *Combust Flame* 68(3). pp. 231-247
- 

### Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

### Vedoucí práce

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

### Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

### Konzultant

Ing. Jozef Mitterpach, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2021

**Ing. Radek Rinn**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2021

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 07. 04. 2021

---

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Požárně-technické vlastnosti a termická odolnost dřeva v dřevostavbách vypracovala samostatně pod vedením Ing. Přemysla Šedivky, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

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

Podpis autora.....

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou bych ráda poděkovala, Ing. Přemyslu Šedivkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a důvěru, bez čehož by tato práce nemohla vzniknout. Zejména bych chtěla poděkovat prof. RNDr. Františku Kačíkovi, PhD. za částečné vedení a za poskytnutí potřebných informací k této práci. Dále bych ráda poděkovala své rodině a blízkým za podporu a trpělivost.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá literární rešerší, kde jsou na začátku uvedeny všeobecné informace o dřevě. Dále tato práce obsahuje varianty protipožárního ochrany, konkrétně retardéry hoření, požárně-technické vlastnosti dřeva a s tím spojené požárně-technické charakteristiky. Dalším tématem jsou dřevostavby a jejich konstrukční systémy. V praktické části se řeší nanotechnologie retardérů hoření, která je následně vyhodnocena a výsledkem výzkumu je porovnání dvou sad vzorků, které jsou ošetřeny jiným typem složení nanočástic.

Klíčová slova: dřevo, požár, stavba, konstrukce, nanotechnologie

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with a literature search, where general information about wood is given at the beginning. Furthermore, this work contains variants of fire protection, specifically fire retardants, fire-technical properties of wood and associated fire-technical characteristics. Another topic is wooden buildings and their construction systems. The practical part deals with the nanotechnology of fire retardants, which is then evaluated and the result of the research is a comparison of two sets of samples that are treated with a different type of nanoparticle composition.

Key words: wood, fire, building, construction, nanotechnology

# OBSAH

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>- 12 -</b>
<b>2 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>- 13 -</b>
<b>3 LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>- 14 -</b>
3.1 VÝZNAM DŘEVA .....	- 14 -
3.2 STAVBA DŘEVA .....	- 14 -
3.3 ZÁKLADNÍ ŘEZY A SMĚRY NA DŘEVĚ.....	- 14 -
3.4 ČÁSTI KMENE .....	- 15 -
3.4.1 Kůra .....	- 15 -
3.4.2 Kambium .....	- 15 -
3.4.3 Dřeň .....	- 16 -
3.4.4 Dřevo .....	- 16 -
3.5 VLASTNOSTI DŘEVA .....	- 16 -
3.5.1 Fyzikální vlastnosti dřeva .....	- 17 -
3.5.2 Mechanické vlastnosti dřeva.....	- 17 -
3.6 CHEMICKÉ SLOŽENÍ DŘEVA .....	- 18 -
3.6.1 Celulóza .....	- 18 -
3.6.2 Hemicelulózy .....	- 19 -
3.6.3 Lignin.....	- 19 -
3.6.4 Extraktivní látky .....	- 19 -
3.7 VADY DŘEVA.....	- 20 -
3.8 DEGRADACE DŘEVA .....	- 20 -
3.8.1 Termická degradace dřeva .....	- 21 -
3.9 DŘEVO JAKO HOŘLAVÝ MATERIÁL .....	- 22 -
3.9.1 Chování dřeva při působení různých teplot .....	- 22 -
3.9.2 Třídy reakce na plamen u stavebních materiálů .....	- 23 -
3.10 POŽÁR .....	- 23 -
3.10.1 Fáze požáru .....	- 24 -
3.10.2 Požární odolnost .....	- 25 -
3.11 PROTIPOŽÁRNÍ OCHRANA DŘEVA.....	- 26 -
3.11.1 Retardéry hoření (antipyrény).....	- 26 -
3.11.2 Retardéry hoření na bázi anorganických solí.....	- 28 -
3.11.3 Intumescentní retardéry hoření .....	- 28 -
3.11.4 Protipožární nátěry .....	- 29 -
3.11.5 Protipožární nástřikové hmoty .....	- 30 -
3.11.6 Protipožární obkladové materiály .....	- 30 -
3.11.7 Nanotechnologie retardérů hoření.....	- 31 -
3.12 POŽÁRNĚ – TECHNICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA.....	- 32 -
3.12.1 Požárně – technické charakteristiky dřeva.....	- 33 -
3.13 DŘEVOSTAVBY .....	- 34 -
3.13.1 Historie.....	- 35 -
3.14 KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY DŘEVOSTAVEB .....	- 35 -
3.14.1 Elementární konstrukční systém .....	- 35 -
3.14.2 Skeletový konstrukční systém .....	- 37 -
3.14.3 Masivní dřevostavby .....	- 38 -
3.14.4 Konstrukční systém z prostorových buněk .....	- 40 -
3.15 POŽADAVKY PRO ZAJIŠTĚNÍ POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI STAVEB .....	- 40 -

3.16	DRUHY POŽÁRNÍCH ZKOUŠEK .....	- 41 -
3.17	ZHODNOCENÍ LITERÁRNÍ REŠERŠE .....	- 42 -
<b>4</b>	<b>METODIKA</b> .....	<b>- 43 -</b>
4.1	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES .....	- 43 -
4.2	PRINCIP ZKOUŠKY A POSTUP TESTOVÁNÍ .....	- 44 -
<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY A STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ</b> .....	<b>- 46 -</b>
5.1	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....	- 46 -
<b>6</b>	<b>DISKUZE</b> .....	<b>- 52 -</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>- 53 -</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>- 54 -</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>- 58 -</b>
<b>10</b>	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>- 59 -</b>
10.1	PŘÍLOHA 1 FOTKY PRŮBĚHU HOŘENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ .....	- 59 -
10.2	PŘÍLOHA 2 NAMĚŘENÉ HODNOTY ÚBYTKU HMOTNOSTI ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ ....	- 64 -



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Vyobrazení základních řezů (P – příčný, R – radiální, T – tangenciální) a směrů (l – podélný, r – radiální, t – tangenciální) dřeva.....	- 15 -
Obrázek 2: Makroskopická struktura kmene – 1 borka, 2 kůra, 3 lýko, 4 kambium, 5 dřev, 6 dřevové paprsky .....	- 16 -
Obrázek 3: Obecný tvar pracovního diagramu pro dřevo – závislost mezi napětím a deformací .....	- 18 -
Obrázek 4: Přibližný podíl zastoupení základních složek dřeva v buněčné stěně.....	- 20 -
Obrázek 5: Dřevěný průřez vystavený účinkům požáru .....	- 21 -
Obrázek 6: Trojúhelník hoření .....	- 22 -
Obrázek 7: Fáze a průběh požáru ve stavbě, faktory ovlivňující délku a trvání jednotlivých fází a následky hoření .....	- 25 -
Obrázek 8: Protipožární nátěrové systémy .....	- 29 -
Obrázek 9: Rozdělení desek pojené minerálními pojivy.....	- 31 -
Obrázek 10: Rámová konstrukce: a – dřevěná kostra rámové stavby, b – výztužné opláštění.....	- 36 -
Obrázek 11: Panelová konstrukce – montáž na staveništi.....	- 36 -
Obrázek 12: Ukázka těžkého dřevěného skeletu .....	- 37 -
Obrázek 13: Sloupková konstrukce dřevostavby .....	- 38 -
Obrázek 14: Srubová konstrukce.....	- 39 -
Obrázek 15: Masivní konstrukce dřevostavby .....	- 40 -
Obrázek 16: Montáž rodinného domu z prostorových dřevěných buněk.....	- 40 -
Obrázek 17: Zkušební vzorek a jeho rozměry v centimetrech .....	- 43 -
Obrázek 18: Nanočástice oxidu křemičitého ( $\text{SiO}_2$ ) v podobě prášku o velikosti 5-15nm.....	- 44 -
Obrázek 19: Přístroje měřící úbytek hmotnosti (1 – zdroj tepla; 2 – zkušební vzorek; 3 – váha Radwag typu PS 3500. R2 od firmy Radwag).....	- 45 -

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Třídy reakce dřeva na plamen podle ČSN EN 13501-1 .....	- 23 -
Tabulka 2: Částečný přehled nejpoužívanějších protipožárních nátěrů na dřevěné konstrukce v ČR (H-hořlavost dle ČSN 73 0862, PO-požární odolnost dle ČSN 73 0851) .....	- 30 -
Tabulka 3: Výsledky stanovení vznětlivosti dřevěných výrobků podle ČSN 64 0149 „Stanovení vznětlivosti materiálů“, n – PTCH nebyla stanovena .....	- 33 -
Tabulka 4: Základní informace o retardéru hoření .....	- 43 -
Tabulka 5: Čas vzplanutí a čas zhasnutí plamene na povrchu vzorku ošetřeného SiO <sub>2</sub> uvedený v minutách .....	- 46 -
Tabulka 6: Čas vzplanutí a čas zhasnutí plamene na povrchu vzorku ošetřeného TiO <sub>2</sub> uvedený v minutách .....	- 47 -
Tabulka 7: Porovnání aritmetických průměru časů vzplanutí a zhasnutí plamene na povrchu vzorku ošetřeného SiO <sub>2</sub> a TiO <sub>2</sub> .....	- 47 -

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Úbytek hmotnosti 5ti zkušebních vzorků ošetřených $\text{SiO}_2$ v závislosti na čase	- 48 -
Graf 2: Úbytek hmotnosti 6ti zkušebních vzorků ošetřených $\text{TiO}_2$ v závislosti na čase	- 48 -
Graf 3: Porovnání průběhu úbytku hmotnosti na čase .....	- 49 -
Graf 4: Intenzita hoření od 0 do 700 s, vzorků ošetřených $\text{SiO}_2$ .....	- 50 -
Graf 5: Intenzita hoření od 0 do 700 s, vzorků ošetřených $\text{TiO}_2$ .....	- 50 -
Graf 6: Porovnání průběhu intenzity hoření u vzorků ošetřených $\text{SiO}_2$ a $\text{TiO}_2$ .....	- 51 -

# 1 ÚVOD

Pod pojmem dřevo si každý představí něco jiného. Někoho napadne skříň, někoho hudební nástroj, jiní si pod tímto pojmem představí dřevostavbu a někteří zase třeba oheň, či požár. Všechny tyto asociace jsou správné. Dřevo je přírodní materiál, který je na Zemi od nepaměti. Má jedinečné vlastnosti, které nemá žádný jiný přírodní materiál.

Vezměme to úplně od začátku. Dřevo se, stejně tak jako každý jiný organismus, či rostlina, skládá z buněk. Buňka je základní stavební a funkční jednotka rostlinného těla. Zpravidla, dělíme dřevo na dvě skupiny – jehličnaté a listnaté, ty se pak dále dělí na roztroušeně pórovité a kruhovitě pórovité (polokruhovitě pórovité). Již z makroskopických znaků dokážeme rozeznat tyto dvě skupiny, a dokonce i přímo určit, o jakou dřevinu se jedná. Z toho pak odvozujeme vlastnosti dřevin a následné použití pro různé účely.

Na dřevě se provádějí fyzikální a mechanické zkoušky, které nám pomáhají při rozhodování, zdali je dřevina způsobilá sloužit například jako nosník v dřevostavbách nebo jako pilota v řece. Dřevo vykazuje vysoké hodnoty v pevnosti, a proto můžeme sledovat výrazný vzestup dřevěných konstrukcí v dřevostavbách nebo dřevostaveb jako takových. V současnosti máme neomezené možnosti, jak dřevostavbu postavit, z jakých komponentů, jakých rozměrů a v neposlední řadě je i design.

Obecně při navrhování dřevostaveb musíme dbát na některé podmínky, aby byla jejich životnost, co nejvyšší. Dřevo bychom měli ošetřovat patřičnými ošetřovacími prostředky, retardéry, či jinak konstrukčně zabránit snižování životnosti. Je všeobecně známo, že dřevo hoří, tudíž by mělo splňovat požárně-technické vlastnosti a termickou odolnost. Tomuto tématu je věnována tato bakalářská práce.

## **2 CÍLE PRÁCE**

Cílem práce je vypracování literární rešerše požárně-technických vlastností dřeva. Na základě literární rešerše pak bude stanovena vhodná metodika pro hodnocení požárně-technických vlastností dřeva. Dalším cílem je testování nového způsobu ochrany dřeva pomocí nanotechnologií, který je stále ve fázi výzkumu. Součástí pak bude porovnání dvou sad zkušebních těles, přičemž každá z nich má jiné složení retardéru hoření.

### 3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

#### 3.1 VÝZNAM DŘEVA

Dřevo je jedním z nejstarších přírodních materiálů vůbec. Díky jeho struktuře, mechanickým a fyzikálním vlastnostem, chemickému složení a snadné opracovatelnosti lze dřevo využívat pro více účelů. Například pro stavební konstrukce, nábytek, sportovní potřeby, hudební nástroje nebo hračky a v neposlední řadě také v chemickém průmyslu. V průmyslu se zpracovává zejména dřevo z kmene stromu, v menší míře pak větve. (Gandelová a kol. 2002)

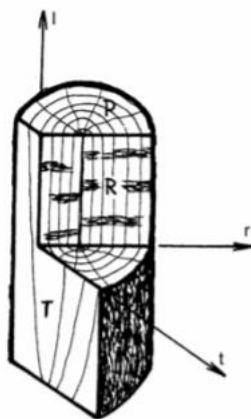
#### 3.2 STAVBA DŘEVA

Stavbu dřeva, tedy znaky dané dřeviny, určujeme nejprve na makroskopické úrovni a pro větší detail pak na úrovni mikroskopické. Makroskopické znaky jsou velmi důležité pro praktické rozlišování jednotlivých druhů dřeva. Tyto znaky jsou základní informací pro zpracovatele dřeva, kterou si musí osvojit, aby dokázal určit druh dřeviny, jejíž dřevo zpracovává a následně uměl posoudit fyzikální, mechanické a technologické vlastnosti dřeva, které určují jeho užitnou hodnotu. Makroskopické znaky lze určovat pouhým okem nebo lupou, kdežto u mikroskopických znaků si musíme při určování pomoci přístroji, které se nazývají mikroskopy. Základními makroskopickými znaky jsou letokruhy, jarní a letní dřevo, jádro a běl (zralé dřevo), dřevné paprsky, či skvrny, pryskyřičné kanálky, cévy a suky. Není pravidlem, že se každý znak vyskytuje na každé dřevině. Doplňkovými makroskopickými znaky je barva, lesk, textura a vůně. (Čunderlík 2009; Gandelová a kol. 2002)

#### 3.3 ZÁKLADNÍ ŘEZY A SMĚRY NA DŘEVĚ

Abychom získali přehled o rozložení částí v kmene, musíme znát základní řezy a směry (Obr. 1). Příčný neboli transverzální řez vede kolmo na osu kmene. Na tomto řezu můžeme pozorovat dřevné paprsky, které vedou kolmo k letokruhům. Dalším řezem je řez radiální, který je rovnoběžný s osou kmene a vede středem (dřevní). Dřevné paprsky se zde jeví jako lesklé plochy. Posledním řezem je takzvaný řez tangenciální, chceme-li tečnový, který vede rovnoběžně s osou kmene, avšak oproti řezu radiálnímu prochází v místě tečny k letokruhu. Dřevné paprsky zde můžeme pozorovat jako svislé čárky. Existují další řezy, s kterými se v praxi setkáváme – šikmý řez (podobný tangenciálnímu), poloradiální nebo polotangenciální. Při pozorování fyzikálních a mechanických vlastností dřeva zjistíme, že každá měřená hodnota dané vlastnosti se mění v závislosti na směru, ve kterém tuto vlastnost

pozorujeme. Správná definice směru ve dřevě je základní podmínkou pro správné použití dřeva. Směry rozeznáváme na podélný (axiální) - je rovnoběžný s podélnou osou kmene, radiální – prochází středem kmene a též je kolmý k ploše tangenciálního řezu. Třetí ze směrů je tangenciální, který je tečnou k letokruhům, neprobíhá tedy středem kmene. (Čunderlík 2009; Gandelová a kol. 2002; Zeidler 2016)



Obrázek 1: Vyobrazení základních řezů (P – příčný, R – radiální, T – tangenciální) a směrů (l – podélný, r – radiální, t – tangenciální) dřeva (zdroj: Čunderlík 2009)

### 3.4 ČÁSTI KMENE

Strukturu dřeva dělíme do několika částí a to na – kůru (včetně lýka), kambium, dřevo a dřev. Makroskopickou strukturu kmene můžeme vidět na (Obr. 2). (Gandelová a kol. 2002)

#### 3.4.1 KŮRA

Kůra má několik funkcí, které jsou důležité pro život stromu – ochranná, vodivá a mechanická. Kůra je část dřevní suroviny, kterou je třeba během technologických procesů většinou odstraňovat nebo separovat od dřevní části. Skládá se z vnější vrstvy, tou je samotná kůra a vnitřní vrstvy, což je lýko. Vnější vrstva má funkci ochrannou. Vnitřní vrstva (lýko) je produktem kambia. Je velice těžké rozeznat hranice mezi kůrou a lýkem. (Čunderlík 2009; Gandelová a kol. 2002)

#### 3.4.2 KAMBIUM

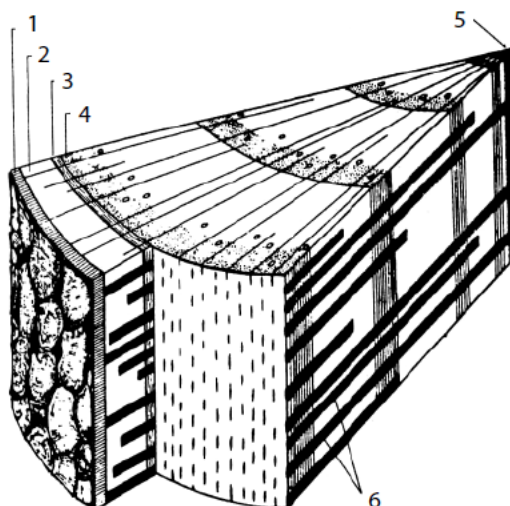
Činností kambia vzniká dřevo. Je to dělivé pletivo, které je umístěno mezi dřevem a lýkem. Z makroskopického hlediska je to tenká vrstva, kterou nelze vidět. Každý rok pravidelně vytváří tloušťkový přírůst dřeva a lýka. Jedinou možností, kdy lze kambium vidět v podobě slizu, je na jaře, a to po odstranění kůry stromu. (Gandelová a kol. 2002; Glos 2009)

### 3.4.3 DŘEŇ

Dřeň se nachází v geometrickém středu kmene. Prvním rokem života stromu se podílí na vedení vody, následně tento čin přebírá dřevo. Dřeň se prezentuje v různých tvarech. Může mít tvar okrouhlý, trojúhelníkový, čtyřúhelníkový a pětiúhelníkový, ale také hvězdicovitý. Dřeň má velmi špatný vliv na mechanické vlastnosti dřeva. Když dřeň vysychá, dochází k dřeňovým trhlinám, které porušují celistvost dřeva. (Gandelová a kol. 2002)

### 3.4.4 DŘEVO

Dřevo je středová část, která se nachází mezi kambiem a dřením. Zaujímá 70-93 % objemu stromu, tudíž zastupuje největší část stromu. Největší využití má dřevo z kmene stromu. (Gandelová a kol. 2002)



Obrázek 2: Makroskopická struktura kmene – 1 borcka, 2 kůra, 3 lýko, 4 kambium, 5 dřeň, 6 dřeňové paprsky (zdroj: Vaverka a kol. 2008)

### 3.5 VLASTNOSTI DŘEVA

Anizotropie a nehomogenita jsou vlastnosti, které se nám jednoznačně vybaví, když se řekne dřevo. Patří k nim ale také pórovitost a hydroskopicitá. Dřevo má tři základní anatomické směry působení a v každém z nich vykazuje jiné vlastnosti a různé hodnoty, tomuto jevu se říká anizotropie. (Zeidler, Borůvka 2016)



### 3.5.1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI DŘEVA

Mezi nejdůležitější fyzikální vlastnosti patří vlhkost a hustota, dále pak vlastnosti tepelné, akustické a elektrofyzikální. Schopnost dřeva měnit svoji vlhkost v závislosti na prostředí, ve kterém se nachází, se říká hydroskopicita. Vlhkost dřeva můžeme vyjádřit jako procentuální podíl hmotnosti vody ku hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu (absolutní) nebo jako poměr hmotnosti vody ku hmotnosti mokrého dřeva (relativní). Vlhkost dřeva má důležitou funkci v ochraně dřeva proti biologickým škůdcům, kterými jsou houby a hmyz. (Vaverka a kol. 2008)

Absolutní a relativní vlhkost dřeva se vypočítá dle vzorců:

$$w_{absolutní} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad \text{nebo} \quad w_{relativní} = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100$$

Kde:

$w_{absolutní}$  je absolutní vlhkost dřeva

$w_{relativní}$  je relativní vlhkost dřeva

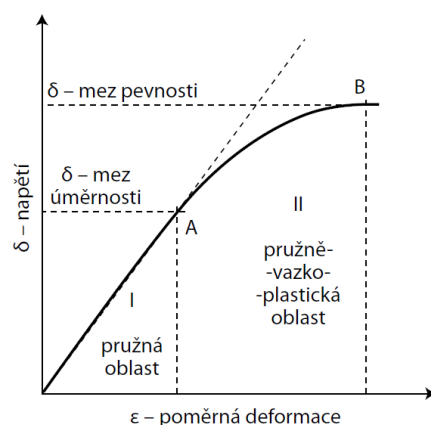
$m_w$  je hmotnost zkušebního tělesa ve vlhké stavu

$m_0$  je hmotnost zkušebního tělesa ve stavu absolutně suchém

Zdroj: ČSN EN 49 0103

### 3.5.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA

Mechanickými vlastnostmi dřeva jsou především myšleny pevnost a pružnost. To jsou vlastnosti, které odolávají působení vnějších sil na materiál. Pevnost je definována jako hodnota napětí, kterou materiál snese a při jejím překročení se materiál poruší. Mez pevnosti a úměrnosti můžeme vidět v grafu (Obr. 3). Rozeznáváme tyto druhy namáhání: tlak, tah, ohyb, smyk a kroucení. Od těchto namáhání jsou odvozeny i pevnosti, tudíž pevnost v tlaku, tahu, ohybu, smyku a kroucení. Vždy musíme brát v potaz směr namáhání v závislosti na směr vláken. Dřevo má prokazatelně vyšší hodnoty pevnosti ve směru vláken, tudíž v podélném směru než ve směru napříč vláken. Každá dřevina je jiná, a tak i hodnoty pevnosti se nám liší. To však můžeme tvrdit i v rámci jednoho kmene, kde každá část může mít rozdílné hodnoty. (Vaverka a kol. 2008)



Obrázek 3: Obecný tvar pracovního diagramu pro dřevo – závislost mezi napětím a deformací (zdroj: Vaverka a kol. 2008)

### 3.6 CHEMICKÉ SLOŽENÍ DŘEVA

Dřevo se z chemického hlediska skládá ze tří hlavních a jedné vedlejší složky, kde hlavní složkou jsou celulóza (46-56 %), hemicelulózy (23-35 %) a lignin (15-28 %). Přibližný podíl zastoupení těchto složek je na (Obr. 4). Vedlejšími složkami jsou pak extraktivní látky (3-10 %) a anorganické sloučeniny. Složení se liší. Jehličnaté dřeviny mají oproti listnatým dřevinám více celulózy a ligninu. Na množství těchto složek se podílí několik aspektů, jimiž je například druh dřeviny nebo lokalita růstu. Dřevo se kromě výše uvedených složek dále skládá z chemických prvků a to – uhlíku (cca 50 %), kyslíku (cca 44 %) a vodíku (6 %) a to nehledě na to, zdali se jedná o jehličnatou nebo listnatou dřevinu. Vedle organických látek, které jsou podstatnou částí dřevní hmoty, dřevo obsahuje i minerální látky, z nichž při spalování vzniká popel. Podíl popela v dřevě se pohybuje převážně v rozpětí 0,2 až 1,2 %. Rozdíly v údajích o množství popela závisí na podmínkách růstu stromu, jakosti půdy, ročního období, od věku stromu, části stromu apod. Množství popela po spálení kůry představuje 6 až 7 %, listů 3,5 % až 4 %, kořenů 4 až 5 %. (Kačík, Tribulová 2020; Požgaj a kol. 1993)

#### 3.6.1 CELULÓZA

Název celulóza je často zaměňován a přiřazován k produktům získaným delignifikací dřeva. To jsou však produkty, které v sobě navíc kromě celulózy obsahují i lignin, hemicelulózy i jiné látky a nazývají se buničina. Celulóza je přírodní makromolekulární látka

složená z  $\beta$ -D-glukopyranózových jednotek lineárně spojených v polohách 1  $\rightarrow$ 4  $\beta$ -D-glykosidovou vazbou. Je to základní stavební jednotka u vyšších rostlin, kde tvoří kostru buněčných stěn. Ve světě se uplatňuje především v textilním průmyslu, při výrobě papíru, potravinářství a na výrobu plastických látek a výbušnin. (Kačík, Tribulová 2020)

### 3.6.2 HEMICELULÓZY

Hemicelulózy jsou složeny z různých druhů polysacharidů. Většina z nich není rozpustná ve vodě, všechny však lze rozpustit ve vodných roztocích. Hlavními složkami hemicelulózy jsou pentózy a hexózy. U listnatých dřevin je nejdůležitějším polysacharidem hemicelulóz xylan, kdežto u jehličnatých dřevin to jsou glukomanany. Hemicelulózy se v současnosti převážně využívají jako zdroj biopolymerů. V modifikované verzi se hemicelulózy používají v potravinářském průmyslu, farmacii a medicíně nebo při výrobě papíru. (Kačík, Tribulová 2020)

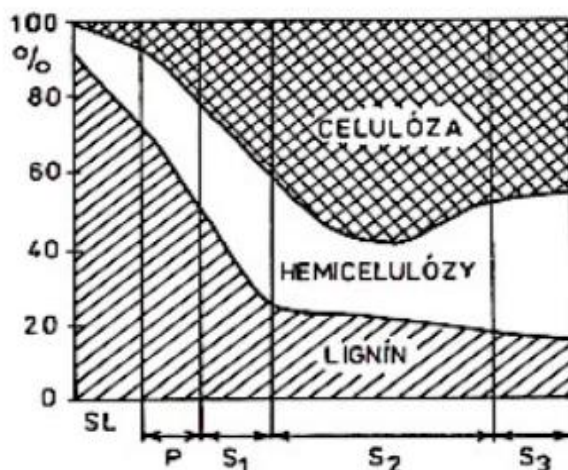
### 3.6.3 LIGNIN

Lignin má ve dřevě mechanickou a ochrannou funkci. Chrání dřevo před vniknutím mikroorganismů a z mechanického hlediska má velmi dobrou houževnatost a pevnost v tlaku a ohybu. Listnaté dřeviny mají nižší obsah ligninu než jehličnany. V tlakovém dřevě jehličnatých dřevin je ligninu poměrně více než v normálním dřevě. Je velice aromatický a považuje se za nejrozšířenější aromatický polymer na Zemi. Vysoký podíl ligninu je získáván při chemickém zpracování rostlinné biomasy a tudíž je považován za důležitý zdroj aromatických sloučenin. Lignin je velice dobrým palivem díky jeho vysokému energetickému obsahu. V současnosti se nejvíce využívá v celulózo-papírenském průmyslu. (Kačík, Tribulová 2020)

### 3.6.4 EXTRAKTIVNÍ LÁTKY

Extraktivní látky, chceme-li vedlejší nebo doprovodné, je seskupení několika chemických sloučenin, které lze ze dřeva extrahovat polárními nebo nepolárními rozpouštědly. Množství a složení těchto látek závisí na tom, o jakou dřevinu se jedná, a na jejím stáří, umístění a času, kdy je vzorek odebrán. Nejvíce však záleží na místě odběru vzorku, který může být odebrán v kořenech, jádře, běli, kůře, větvích. Některé extraktivní

látky mají funkci ochrannou, kde zvyšují odolnost dřeva proti biotickým činitelům. Tyto látky jsou například třísloviny, terpeny, některé glykosidy, vosky a tuky. Avšak ve dřevě se nacházejí i látky, které tuto odolnost snižují. Jsou jimi hlavně sacharidy, cukerné alkoholy, proteiny, vitamíny a soli organických kyselin. (Kačík, Tribulová 2020)



Obrázek 4: Přibližný podíl zastoupení základních složek dřeva v buněčné stěně (zdroj: Kačík, Tribulová 2020)

### 3.7 VADY DŘEVA

Za vadu dřeva je považována taková vada, která mění vzhled dřeva a narušuje jeho pravidelnou strukturu, což ovlivňuje jeho fyzikální a mechanické vlastnosti a kvalitu, a tudíž se mění i jeho využití. Vady mohou vznikat již v lese během růstu stromů, následně při těžbě a manipulaci, a nakonec při uskladnění. Nejčastějšími vadami jsou suky, trhliny, vady tvaru kmene a nepravidelnosti struktury dřeva.

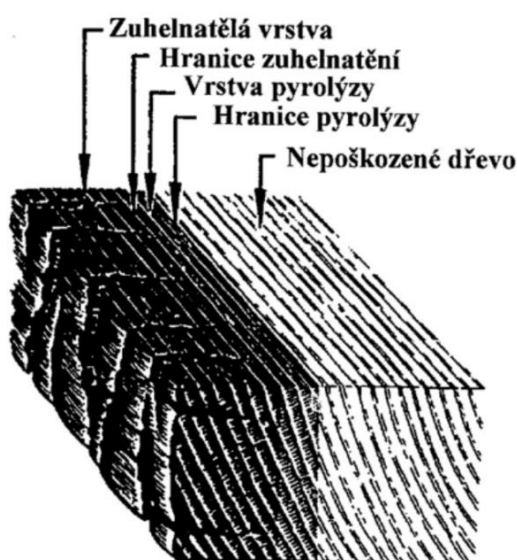
Dalšími vadami nebo spíše poškozeními jsou ty, které způsobují biologičtí škůdci dřeva – bakterie, plísně, houby a hmyz. Některé vady mohou mít i pozitivní dopad, využívají se hlavně designově v nábytkářství. Příkladem jsou spící očka a svalovitost. (Gandelová a kol. 2002; Reinprecht, Pánek 2016; Zeidler 2010)

### 3.8 DEGRADACE DŘEVA

Degradace dřeva se dělí na dvě skupiny – abiotická degradace dřeva, která se dále dělí na termickou, chemickou a atmosférickou degradaci a biotické degradace, což jsou v podstatě biologičtí škůdci zmíněni v předchozím odstavci. Tyto degradace se od sebe různí intenzitou a délkou trvání působení jednotlivých faktorů. (Reinprecht, Pánek 2016)

### 3.8.1 TERMICKÁ DEGRADACE DŘEVA

Při této degradaci zprvu dřevo tmavne, s větší intenzitou přichází vznícení, následně zuhelnatění, a nakonec vzniká popel. Postup degradace můžeme vidět na (Obr. 5). Tato degradace je nejrychlejší z výše uvedených. Aby dřevo hořelo, potřebujeme k tomu tzv. trojúhelník hoření (Obr. 6). Zvyšováním teplot můžeme pozorovat různé reakce. U celulózy je jich hned několik – dehydratace, depolymerizace, statistická degradace, termooxidace. Jsou to chemické reakce, které z velké části ovlivňují degradaci celulózových materiálů, u kterých pak dochází k poklesu molekulové hmotnosti a pevnosti. Lignin je oproti celulóze stabilnější a velice dobře vzdoruje účinkům působení vysokých teplot. (Kačík, Tribulová 2020; Reinprecht, Pánek 2016)

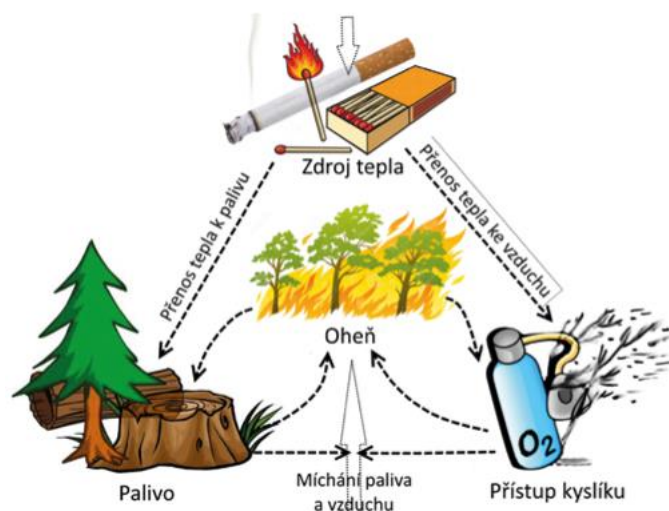


Obrázek 5: Dřevěný průřez vystavený účinkům požáru (zdroj: Lokaj, Vavrušová 2009)

Při termické degradaci dřeva hraje významnou roli kyslík. Ten snadno reaguje s termicky aktivovanými složkami dřeva formou extermických termooxidačních reakcí při tvorbě tepla. Dřevo se takto ještě více prohřívá a vznikají z něj plynné hořlavé produkty. V kritické situaci hořlavé plyny vytvoří takové množství tepla (při reakci s kyslíkem), které je dostatečné pro jejich samovolné vznícení a začnou hořet – nastává požár. Termický rozklad dřeva může probíhat různou intenzitou a formami se specifickými dopady na jeho strukturu a vlastnosti. (Reinprecht 2008)

Termická degradace dřeva se v současnosti v mnohých případech využívá k modifikaci dřeva, kde se zvyšuje jeho trvanlivost. Tato modifikace je známá pod pojmem Thermowood a je vhodná pro konstrukce v exteriéru, avšak ne s kontaktem se zemí (3. třída

ohrožení). Touto termickou modifikací nahrazujeme odolné tropické dřeviny za naše dřeviny, a to většinou borovice, smrk nebo jasan. (Reinprecht, Pánek 2016)



Obrázek 6: Trojúhelník hoření (zdroj: Berčák 2018)

### 3.9 DŘEVO JAKO HOŘLAVÝ MATERIÁL

I přesto, že je dřevo hořlavé, není jednoduché ho zapálit a většinou to není právě dřevo, které v objektu vzplane jako první. Tepelná vodivost u dřeva není tak velká, protože je dřevo pórovité a má nízkou objemovou hmotnost. Vzhledem k tomu, že má dřevo i malou teplotní roztažnost, neprovádíme u něj dilatační spáry. Při požáru dochází k tvorbě dřevěného uhlí. To pak slouží jako izolační (nehořlavá) vrstva, tudíž nedochází k dalšímu prohořívání dřevěného prvku a k narušení jeho statiky. Dřevo tedy považujeme za materiál s nízkým rizikovým faktorem. (Kuklík 2005; Reinprecht, Pánek 2016)

#### 3.9.1 CHOVÁNÍ DŘEVA PŘI PŮSOBENÍ RŮZNÝCH TEPLŮT

Při teplotách nižších než 110 °C dochází k menším chemickým změnám, nad tento stupeň začíná dřevo degradovat mnohem více. Termickou degradací nejvíce trpí extraktivní látky (např. pryskyřice). Do 200 °C jsou to hemicelulózy, které podléhají termické degradaci. Teploty vyšší než 300 °C způsobují depolymerizaci celulózy a nad 350 °C začíná degradovat i nejvíce stabilní složka, lignin.

Plamen na povrchu dřeva znamená, že zde dochází k uvolňování hořlavých plynů. To způsobuje rychlejší šíření plamene. Tyto plyny se rozkládají na vodu a oxid uhličitý, tvoří se i hořlavý oxid uhelnatý. Jev, kdy není dostatek kyslíku potřebného k hoření, se nazývá pyrolýza dřeva. Při tomto jevu vzniká i těkavý kapalný podíl (dřevní dehet) a dřevěné uhlí,

dochází ke změně barvy a úbytku hmotnosti. (Lokaj, Vavrušová 2009; Reinprecht, Pánek 2016)

### 3.9.2 TŘÍDY REAKCE NA PLAMEN U STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Z hlediska hořlavosti stavební hmoty nebo výrobku zařazujeme materiály do pěti tříd reakcí na plamen (Tab.1). Abychom mohli říct, že jsou použité výrobky bezpečné, musejí být klasifikovány v normě ČSN EN 13501-1. U třídy A1-B nedochází ke vzplanutí, a tudíž se plamen nešíří nebo jen velice málo. U třídy C, D a E platí stejná kritéria. Důležitá je rychlost šíření požáru, zapálení dřeva a vliv plamenného zdroje na povrchu dřevěných výrobků. Do třídy F zařazujeme materiály, pro které není žádná z výše uvedených tříd vhodná.

<b>Třída reakce na plamen</b>	<b>Materiály a výrobky</b>
<b>A1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Betony, přírodní kámen, malta, kov, sklo</li> <li>- Deskové materiály z anorganických hmot (azbestocement)</li> <li>- Deskové materiály ze skelných a minerálních vláken (jen některé typy)</li> </ul>
<b>A2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sádrokartonové desky</li> <li>- Cementotřískové desky</li> <li>- PVC – neměkčený</li> <li>- Desky z minerálních vláken (např. čedičové)</li> <li>- Desky ze skelných vláken (např. skelné rohože)</li> </ul>
<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Listnaté dřevo o vyšší hustotě: buk, dub</li> <li>- Překližky stavební voděodolné a pro všeobecné použití</li> <li>- Speciální dřevotřískové desky</li> <li>- Lehčený polystyren – retardovaný</li> <li>- Tvrzený papír s dekorativním povrchem s melaminem</li> </ul>
<b>C, D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jehličnaté dřevo: borovice, smrk, jedle</li> <li>- DTD</li> <li>- DVD tvrdé</li> <li>- Desky z korku a jiných rostlinných hmot</li> </ul>
<b>E, F</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pilinové a pilinotřískové desky</li> <li>- Měkké DVD</li> <li>- Polystyren – standartní</li> <li>- PVC – lehčený</li> <li>- Polyuretan – všechny typy</li> </ul>

Tabulka 1: Třídy reakce dřeva na plamen podle ČSN EN 13501-1 (zdroj: Reinprecht, Pánek 2016)

### 3.10 POŽÁR

Požár je komplexní fenomén, jehož rozvoj a následky jsou závislé na několika navzájem se ovlivňujících faktorů. Je to nekontrolovatelné hoření, které nemá předem

ohraničený prostor ani plochu. Při tomto jevu dochází ke ztrátám lidských životů, či ke zranění osob nebo zvířat. Nejvíce však požár způsobuje nenávratné škody na materiálních hodnotách. (Osvald 2005; Tureková 2005)

### 3.10.1 FÁZE POŽÁRU

Základní veličiny pro požár jsou teplota a čas. Díky těmto veličinám můžeme sledovat časovou teplotní křivku požáru, a tedy i čtyři fáze požáru:

I. fáze – začátek rozvoje požáru neboli iniciace. Zde odehrává hlavní roli vzplanutí (vznícení). Dále pak záleží na rychlosti šíření plamene na povrchu materiálu. Pro zajištění podmínek samo udržovacího procesu hoření a následného rozvoje požáru je nezbytnou podmínkou kontinuální uvolňování hořlavých plynů z degradujícího materiálu. Tato fáze je charakteristická tím, že je zde velmi malá intenzita hoření a malé ohnisko požáru.

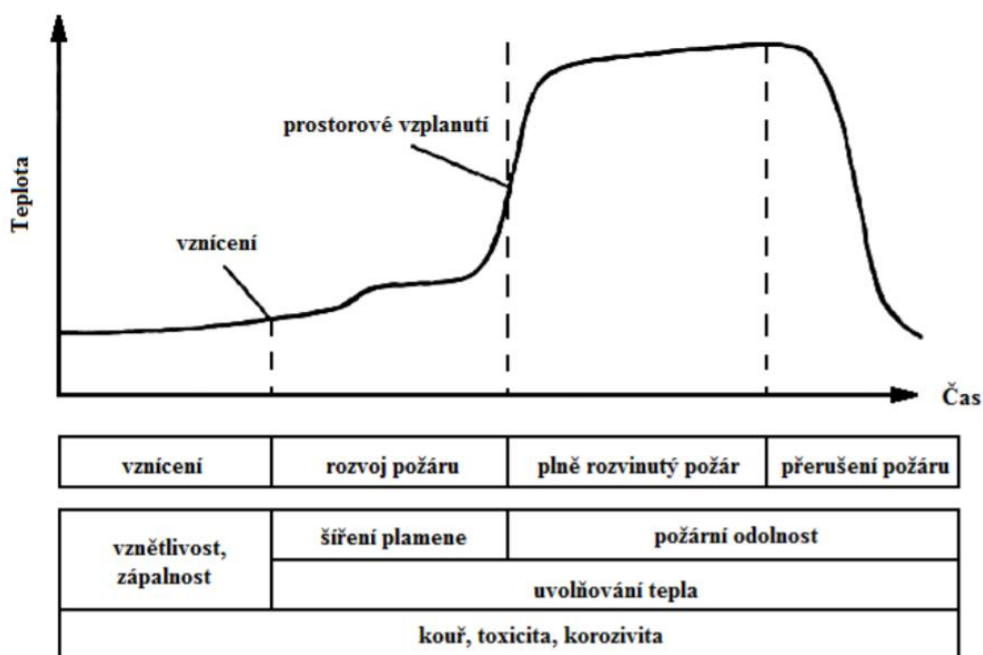
II. fáze – celkové vzplanutí, „flashover“. Dochází zde k postupnému nahřívání všech hořlavých materiálů, které vzplanou v jeden okamžik. Jakmile nahromaděné plyny a páry dosáhnou dolní meze hořlavosti a teplota v uzavřené místnosti je dostatečně vysoká (500 - 650 °C), dochází k okamžitému vzplanutí.

III. fáze – plně rozvinutý požár. Tato fáze požáru je charakterizována okamžikem, kdy se požár rozšíří do většiny prostorů požárního úseku a všechny přítomné materiály hoří. Rychlost hoření je kontrolována množstvím kyslíku přítomného v hořícím prostoru. Teplota dosahuje maxima a neklesá. Dochází k výrazné narušení statiky.

IV. fáze – přerušení požáru. Fáze je charakterizovaná poklesem teplot a končí tehdy, když dohoří poslední hořlavý materiál.

Jednotlivé fáze můžeme vidět na (Obr. 7).





Obrázek 7: Fáze a průběh požáru ve stavbě, faktory ovlivňující délku a trvání jednotlivých fází a následky hoření (zdroj: Reinprecht, Pánek 2016)

Trvání jednotlivých fází je závislé na druhu a geometrii hořlavého materiálu, a to až už ve formě požárního zatížení nebo obsažených stavebních konstrukcích. Ve fázi plně rozvinutého požáru je většinou rozhodující množství hořlavého materiálu, které určuje, jak dlouho bude tato fáze trvat. Samozřejmě nezanedbatelné je i množství tepla, které se odhoříváním látek v této fázi požáru uvolňuje.

Z pohledu navrhování požární bezpečnosti je nezbytné, aby se jednotlivé fáze požáru charakterizovaly co nejpřesněji. Pro fázi rozvoje požáru je to rychlost jeho rozvoje – nárůstu na hodnotu, při které dojde k nástupu životu nebezpečných podmínek a postupně k přechodu do fáze plně rozvinutého požáru. Následně je ve fázi plně rozvinutého požáru důležité stanovit, jak dlouho bude trvat, za účelem adekvátního dimenzování konstrukcí na účinky požáru. (Mózer 2014; Osvald 2005; Tureková 2005)

### 3.10.2 POŽÁRNÍ ODOLNOST

Požární odolnost je schopnost stavebních konstrukcí odolávat účinkům požáru za určitý čas, aniž by došlo k jejich porušení. Určuje se pomocí zkoušek. Zkouška spočívá v tom, že umístíme vzorky konstrukce do zkušební pece, kde jsou vystaveny jedné nebo více úrovním tepelného namáhání, popřípadě jsou vystaveny namáháním tak, aby simulovaly statické účinky jako na stavbě. Tepelné namáhání je určené normovou křivkou

teplota/čas [ $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ]. Požární odolnost je vyjádřena časovým intervalem od začátku zkoušky po dosažení některého z mezních stavů. Těmi jsou ztráta únosnosti nebo stability (zřícení konstrukce), překročení mezních teplot na neohřívaném povrchu (zvýšení průměrných teplot o více než  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) nebo ztráta celistvosti (v konstrukci vznikne otvor nebo trhлина). Požární odolnost stavebních konstrukcí se určuje pro stěny, stropy, sloupy, nosníky, průvlaky, střešní pláště, schodišťová ramena, požární uzávěry – dveře, vrata, poklopy, požární klapky, zavěšené podhledy (pokud nejsou součástí stropu). Požární odolnost konstrukcí se může ověřit buď zkouškou příslušných zkušebních norem, normovou hodnotou podle Eurokódu ČSN EN 1995-1-2 nebo zkouškou a výpočtem. Stavební konstrukce řadíme dle požární odolnosti do stupnice požární odolnosti: 15, 30, 45, 60, 90, 120 a 180 minut. (Osvald 2005; Polák a kol. 2019; Vašátko 2009)

### 3.11 PROTIPOŽÁRNÍ OCHRANA DŘEVA

Ochranu dřeva proti hoření můžeme zvyšovat pomocí různých principů – nátěrů, nástřiků, obkladů, to jsou takzvané retardéry hoření (antipyrény). Cílem těchto ochranných prvků je co nejvíce potlačit negativní vlastnost dřeva – hořlavost. Nikdy však ze dřeva nebo materiálů na bázi dřeva neuděláme materiál nehořlavý. (Bukovský a kol. 2002; Osvald 2005; Reinprecht, Pánek 2016)

#### 3.11.1 RETARDÉRY HOŘENÍ (ANTIPYRÉNY)

Jsou to látky, které snižují hořlavost dřeva a jiných hořlavých materiálů. Dřevo a výrobky z něj patří obvykle k lehce nebo středně hořlavým materiálům. Úkolem retardérů (zpomalovačů) hoření je udělat z nich materiál nesnadno hořlavý. V podmínkách vhodných pro hoření, tj. při vnějším sálavém nebo plamenném termickém zdroji a v přítomnosti kyslíku, dokážou cíleně potlačit, respektive usměrnit různé přenosové a reakční děje ve dřevě, čímž potlačují jeho termický rozklad, vznícení / vzplanutí a hoření. V konečném důsledku jsou to látky s ohnivzdornými vlastnostmi, které zlepšují požárně-technické vlastnosti daného materiálu, tedy dřeva. Funkční mechanismy působení retardérů hoření se rozdělují na fyzikální a chemické. (Netopilová 2004; Osvald 2005; Reinprecht 2008; Tureková 2005)

Retardéry hoření obsahující heteroelementy nebo jiné inhibitory, které mohou nejen zpomalit rychlost hoření, ale také mohou snížit rychlost tvorby kouře a produkci toxických plynů. Ke zpomalení hoření lze přidat komerční látky potlačující kouř, aby se snížilo množství produkovaného kouře, například boritan zinečnatý a sloučeniny molybdenu a cínu.

Toxicita retardérů hoření hraje důležitou roli v právních předpisech o bezpečnosti a ochraně zdraví a v důsledku toho by měl být zváženo jakýkoli navrhovaný retardér hoření. Halogenované retardéry hoření, zejména obsahující brom, jsou nyní všeobecně uznávány jako ekologicky neškodné kvůli jejich bioakumulaci u lidí a nevýznamným nepříznivým účinkům na zdraví dětí. (Lowden, Hull 2013)

- Fyzikální účinky:

Fyzikální účinky retardérů hoření spočívají především v regulaci u následujících přenosových jevů:

- Omezení přenosu hmoty – přenos kyslíku do dřeva a hořlavých plynů ven ze dřeva se omezí vlivem látek, které vytvoří na vnějším nebo vnitřním povrchu dřeva stabilní těžko propustnou vrstvu.
- Omezení přenosu tepla – intenzita přenosu tepla od vnějšího termického zdroje směrem ke dřevu se omezí v případě, že se vnější povrch dřeva obalí souvislými tepelně-izolačními vrstvami, tj. intumescentními.
- Zvýšení tepelné vodivosti dřeva – akumulace tepla v povrchových, ale i jiných místech dřevěných prvků lze snížit některými konstrukčními zásahy např. kontaktem dřeva s kovy nebo modifikací dřeva taveninami kovů a jinými látkami schopnými zvýšit jeho tepelnou vodivost.
- Ředění hořlavých plynů – při termickém rozkladu dřeva se z něj uvolňují různé hořlavé plyny. Pravděpodobnost srážek molekul hořlavých plynů s molekulami kyslíku a tím i propagaci exotermických reakcí v aktivní zóně pyrolýzy lze snížit v přítomnosti nehořlavých plynů.

- Chemické účinky:

Chemické účinky retardérů hoření spočívají v jejich chemických reakcích s cílem snížit koncentraci kyslíku ve dřevě a těsně nad povrchem dřeva a regulovat rozklad dřeva na zkarbonizovaný zbytek a tím snížit tvorbu hořlavých plynů.

- Chemická vazba kyslíku – pro hoření dřeva je kyslík nutný. Látky schopné chemickou vazbou vázat na sebe kyslík snižují jeho koncentraci v zónách aktivní pyrolýzy a tím blokují proces hoření. Vhodnými látkami jsou například halogenidy, které s kyslíkem oxidují do vyššího oxidačního stupně. Nejčastěji se používají chloridy a bromidy, které při reakci s kyslíkem oxidují až na chloristany a bromistany.
- Katalytická dehydratace polysacharidů (karbonizace dřeva) - dehydratace polysacharidů jsou reakce endotermické, při kterých se z celulózy a hemicelulóz uvolňují molekuly vody, přičemž tyto stavební složky dřeva podléhají výrazně karbonizaci. Dřevo tím více uhelnatí a v menší míře se rozkládá na hořlavé plyny. Dehydrataci polysacharidů urychlují látky na bázi kyseliny fosforečné, tedy její amonné, draselné i jiné anorganické soli a také její organické deriváty. Podobný dehydratační efekt na složky dřeva mají i soli některých jiných silných anorganických kyselin, např. kyselina sírová a chlorovodíková. (Reinprecht 2008)

### 3.11.2 RETARDÉRY HOŘENÍ NA BÁZI ANORGANICKÝCH SOLÍ

Látky, které jsou vyráběny na bázi anorganických solí a používány jako požární retardéry byli jedničkou na Českém trhu, díky jejich vlastnostem a způsobům aplikovatelnosti. Velice dobře se rozpouští ve vodě, tudíž je můžeme aplikovat nátěrem, postříkem, či impregnací, a to jak povrchovou, tak i hloubkovou. Nevýhodou těchto retardéru je snadná vyluhovatelnost, a tak musíme patřičně uvážit jejich správné použití. Mají též špatný vliv na mechanické vlastnosti konstrukce a jejich spojovací prostředky, u kterých se projevuje koroze. Soli kyseliny křemičité, jinými slovy také vodní sklo, jsou nejstaršími nátěrovými antipyrénními látkami. (Netopilová 2004).

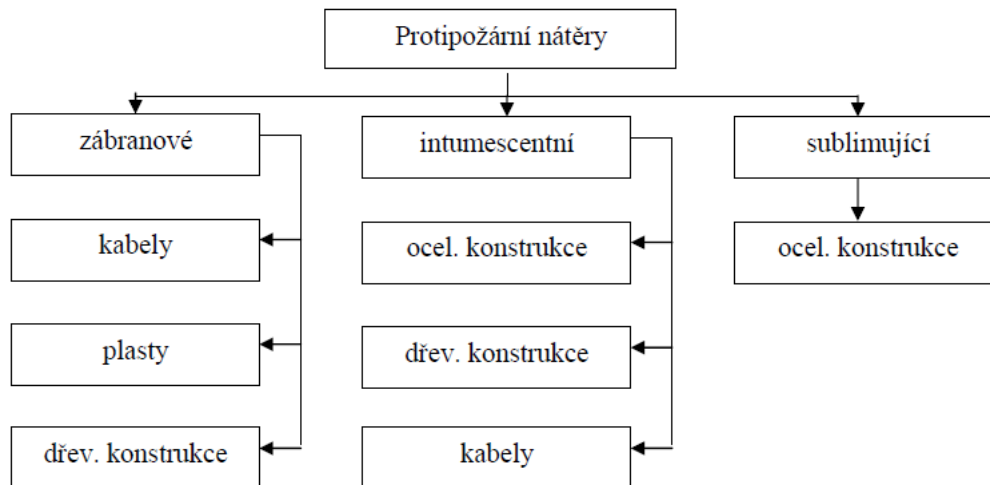
### 3.11.3 INTUMESCENTNÍ RETARDÉRY HOŘENÍ

Intumescentní (zpeňující) retardéry hoření patří k velmi kvalitním antipyrénním látkám, které mohou sloužit jako ochrana pro více materiálů, nejen pro dřevo. Zpomalují vstup tepla povrchem konstrukce, zamezují vzniku hořlavých plynů a jejich oxidaci. Aplikace těchto látek je různorodá např. jako nástřík, nátěr, stěrkový nános, tapeta či fólie, protipožární deska nebo pěnotvorné těsnící pásy. Obvykle jsou tyto zpeňující přípravky

vodou ředitelné nátěrové systémy na bázi vodních disperzí polymerů – PVAC, MF, pryskyřice, s přísadou retardérů hoření (fosfáty amonné) a pěnotvorných plniv (pentol, polysacharidy, močovina). Při působení teplot nad 150 °C se na povrchu materiálu, na kterém je přípravek aplikován, vytváří ochranná pěnová vrstva (bariéra), která chrání dřevěný prvek před působením tepla a plamenného hoření. Vzhledem k tomu, že některé složky jsou více rozpustné ve vodě, měl by se nátěr primárně používat v interiéru. Intumescentní retardéry hoření (při použití na dřevěné konstrukce) považujeme za nejúčinnější látky, které zabraňují termické degradaci dřeva a termooxidačním procesům. (Osvald 2005; Reinprecht 2008)

### 3.11.4 PROTIPOŽÁRNÍ NÁTĚRY

Protipožární nátěry se rozdělují do několika skupin. Rozlišujeme je dle charakteru, účelu a účinku, který se projeví během požáru viz. (Obr.8). Nejvíce nás zajímají protipožární nátěry zábranové a intumescentní, které se používají na dřevěné konstrukce. V (Tab. 2) jsou uvedeny nejpoužívanější protipožární nátěry na dřevěné konstrukce v ČR. Protipožární nátěry nemají dlouhou životnost, což je jejich velká nevýhoda. (Netopilová 2004; Reinprecht, Pánek 2016)



Obrázek 8: Protipožární nátěrové systémy (zdroj: Netopilová 2004)

- Zábranové protipožární nátěry – nejsou pěnotvorné, brání přístupu plamene k povrchu dřevěné konstrukce a omezuje přístup kyslíku jak k povrchu dřeva, tak i dovnitř. Jedná se především o anorganické sloučeniny a jejich kombinace, do kterých se přidávají některá aditiva. V průběhu požáru rychle odhořívá organické polymerní pojivo daného nátěru a zůstává anorganický zbytek, který

se přeměňuje na pevnou souvislou krustu. Krusta dobře drží na podkladu a díky tomu pak slouží jako zábrana (bariéra) proti šíření plamene. (Netopilová 2004; Reinprecht, Pánek 2016)

- Intumescentní (zpěňující) protipožární nátěry – tyto nátěry při vysokých teplotách začínají napěňovat. V průběhu požáru se na povrchu dřeva začne vytvářet uhlíkatý zbytek a z něj se vlivem nadouvadla utvoří vrstva pěny. Pěna slouží jako nehořlavý izolant. Tyto nátěry obvykle obsahují fosforečnany, chloridy, sírany a další aditiva. (Lokaj, Vavrušová 2009; Netopilová 2004; Reinprecht, Pánek 2016)

Název	Účel	Typ	Původ
DEXARYL B	dřevo (PO)	intumescentní	český
DEXARYL B TRANSPARENT	dřevo (PO)	intumescentní	český
PROMADUR	dřevo (PO)	intumescentní	německý
FLAMGARD	dřevo (PO)	intumescentní	český
PYRONIT	dřevo (H)	zábranový	český

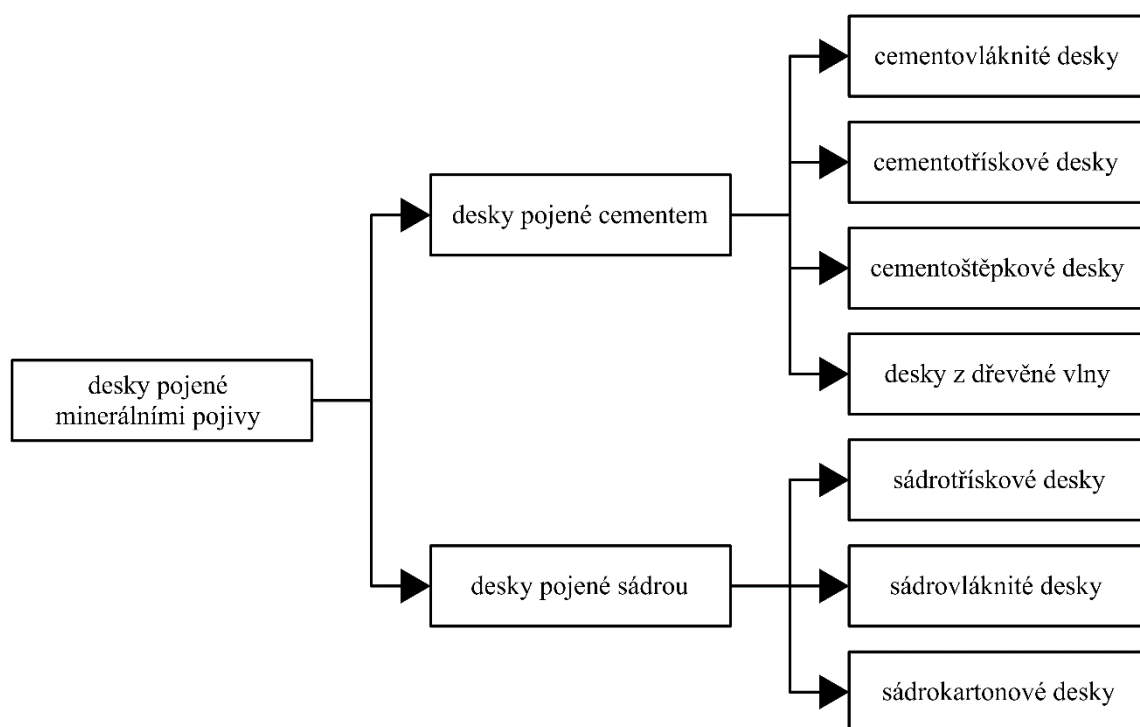
Tabulka 2: Částečný přehled nejpoužívanějších protipožárních nátěrů na dřevěné konstrukce v ČR (H-  
hořlavost dle ČSN 73 0862, PO-požární odolnost dle ČSN 73 0851) (zdroj: Netopilová 2004)

### 3.11.5 PROTIPOŽÁRNÍ NÁSTRÍKOVÉ HMOTY

Protipožární nástřiky mají velice malou účinnost u dřevěných konstrukcí, spíše se používají u železobetonových nebo ocelových konstrukcí. Avšak je dokázané, že např. omítka TERFIX při nánosu do tloušťky 10 mm na dřevěný tyčový prvek, zvýší požární odolnost až o 20 min. Nástřiky je vhodné používat spíše v interiéru kvůli venkovní vlhkosti a dešti. (Kupilík 2006; Netopilová 2004)

### 3.11.6 PROTIPOŽÁRNÍ OBKLADOVÉ MATERIÁLY

Protipožární obklady jsou v současné době využívány velmi hojně, jelikož je jejich funkčnost z výše uvedených protipožárních principů neúčinnější. Těmito obklady jsou desky spojené minerálními pojivy, které patří do skupiny aglomerovaných materiálů viz. (Obr. 9). Minerálními pojivy bývají většinou sádra nebo cement, které zajišťují tvrdost, vysokou vlhkostní odolnost a nehořlavost desek, avšak nevýhodou může být jejich hmotnost a špatná opracovatelnost. Mohou se používat jak v interiéru, tak i v exteriéru. Nejužívanějšími jsou například cementotřískové desky známé pod obchodním názvem CETRIS nebo desky HERAKLIT. (Bukovský a kol. 2002; Böhm 2005; Böhm a kol. 2012; Vašátko 2009)



Obrázek 9: Rozdělení desek pojené minerálními pojivy (zdroj: Böhm 2005)

### 3.11.7 NANOTECHNOLOGIE RETARDÉRŮ HOŘENÍ

Definice nanomateriálu byla poprvé přijata EU v roce 2011 (doporučení, 2011/696 / EU). Podle doporučení se termín „nanomateriál“ označuje jako přírodní, vedlejší nebo manufakturní materiál obsahující částice v nevázaném stavu, nebo jako agregát či aglomerát, kde pro 50 % nebo více částic v distribuci platí, že jeden nebo více vnějších rozměrů je v rozsahu velikostí 1-100 nm. Ačkoli tato definice není obecně přijímána a stále se vyvíjí, nejčastěji se jako horní hranice používá 100 nm. Rozvoj nanotechnologií vedl ke vzniku značného počtu nových výzkumů v oblasti navrhování nehořlavých polymerních materiálů, protože se v současné době věří, že zahrnutí nanomateriálů obvykle vede ke značnému zlepšení požární odolnosti materiálů s relativně nízkým obsahem nanokomponentů.

Při zahřívání dřevo podléhá tepelné degradaci a spalování za vzniku plynů, par, dehtů a uhlí. Abychom pochopili a změnili chování dřeva při požáru, je nutné znát co nejpodrobněji jeho procesy rozkladu. K tomuto účelu se používají různé techniky tepelné analýzy a hodnocení hořlavosti, včetně termogravimetrické analýzy, kónické kalorimetrie a zkoušky jednotlivých předmětů. Výsledky takových testů často velmi závisí na různých

parametrech, včetně změn složení plynu, teploty, rychlosti ohřevu a velikosti tvaru vzorku. Jsou přezkoumány potenciální metody ke zpomalení hoření dřeva a jsou identifikovány dva hlavní děje: tvorba uhlí a izolační vrstvy. Jsou známy další potenciální metody, včetně použití anorganických minerálů, jako je sericrit a kovové fólie v kombinaci s bobtnavými produkty. Dobré hodnoty vykazovaly sloučeniny obsahující křemík, dusík a fosfor. Snahy o zadržení křemíku ve dřevě byly úspěšné s použitím mikrovrstev oxidu křemičitého. Zpomalovače hoření v nanometrickém měřítku, jako jsou nanokompozitní povlaky, jsou považovány za látky poskytující novou generaci zpomalovačů hoření a mohou mít potenciál pro dřevo. Roztažitelný grafit je určen pro použití v polymerech a má potenciál pro dřevo za předpokladu, že jsou preferovány aplikace nátěrů. (Lowden, Hull 2013)

Retardéry hoření se obvykle nanášejí na povrch dřeva nebo jsou impregnovány do struktury dřeva pomocí vakuově-tlakové techniky. Jsou také zkoumány další technologie, jako je např. plazmové ošetření. Při impregnaci je struktura dřeva považována za podobnou struktuře houby s buněčnými dutinami a buněčnými stěnami. Cílem zpomalení hoření je opláštění těchto stěn zpomalovačem hoření, který chrání konstrukci před ohněm. Nejprve vakuem odstraní vzduch z dutin a vytvoří prostor pro retardér, který se pak pod vysokým tlakem vtlačí hluboko do dřeva. Proces lze opakovat a parametry upravit a optimalizovat ošetření v závislosti na úrovni ochrany a požadovaném hloubkovém profilu zpomalovače hoření ve dřevě. Aplikace ochranné povrchové vrstvy na dřevo je obvyklé dělat nátěrem, nástřikem nebo namočením do roztoku zpomalujícího hoření. Povrchová ošetření, jako jsou barvy, jsou často považována za atraktivní pro snadnost jejich aplikace a pro relativně malé množství materiálu potřebného pro požární ochranu. Avšak související požadavky na opětovné použití a možnosti poškození povrchu jsou pro koncového uživatele značně problémové. Existuje mnoho procesů, kterými retardéry hoření ovlivňují spalování dřeva. Všichni se však snaží oddálit čas vznícení dřeva, snížit rychlost uvolňování tepla během spalování a snížit povrchové šíření plamene. (Lowden 2013; Torgal 2019)

### 3.12 POŽÁRNĚ – TECHNICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA

Požárně-technické vlastnosti materiálů představují reakci materiálu na vysokou teplotu nebo oheň. Každý materiál reaguje na změnu tepla změnou svojí vnitřní energií. Průběh hoření a jeho samotný vznik si vyžaduje spolupůsobení chemických a fyzikálních dějů. Chemické děje jsou dost často spojovány s těmi fyzikálními, avšak někdy je musíme rozlišovat. Při fyzikálních jevech se mění pouze skupenství, popřípadě obsah energie, ale



podstata látky zůstává zachována. U chemických reakcí se látka mění a vzniká nová s jinými vlastnostmi. (Osvald 2005)

### 3.12.1 POŽÁRNĚ – TECHNICKÉ CHARAKTERISTIKY DŘEVA

Abychom předešli požáru nebo výbuchu při používání nebezpečných látek, musíme nejdříve znát požárně-technické charakteristiky (PTCH) a fyzikálně-chemické vlastnosti látek, které tyto havárie mohou způsobit.

Technicko-bezpečnostní parametr (TBP) je požárně-technická charakteristika vyjadřující vlastnosti hořlavých látek. Při dodržení této PTCH za podmínek, které můžeme předvídat, se dá činnost považovat za bezpečnou (z hlediska nebezpečí vzniku požáru, či výbuchu s následným požárem).

PTCH můžeme definovat jako soubor číselných hodnot, které vystihují chování látek nebo materiálů při vzniku a průběhu hoření až do jeho ukončení. Tyto charakteristiky se vztahují k určitým dílčím etapám procesu vznícení a hoření viz (Tab. 3) jako jsou vznícení, doba do vzniku plamene, rychlost a doba hoření, rychlost šíření plamene, množství vyvinutého tepla a kouře, množství a druh plynných produktů hoření, hmotnostní úbytek, množství a vlastnosti zuhelnatělého zbytku po hoření, případně jiné. Ke komplexnějšímu posouzení požárního nebezpečí látky, materiálu nebo výrobku je proto potřebný určitý soubor PTCH. (Tureková 2005)

VÝROBKY ZE DŘEVA				
Název výrobku	Teplota (°C)			poznámka
	vzplanutí	vznícení	žhnutí	
<b>DŘEVOTŘÍSKOVÉ</b>				
Deska dýhovaná tl. 17 mm	420	n	390	
Deska dýhovaná tl. 19 mm	410	n	380	
Deska tl. 15 mm	305	475	n	
Dřevotříška GRENAMAT B	320	440		nehořl. úprava 30 % slidy
Dřevotřísková deska	270	420	260	
<b>DŘEVOVLÁKNITÉ</b>				
Deska tl. 3,4 mm	370	435	n	
<b>JINÉ</b>				
Pazdeřopilinové desky	300	475	n	
<b>DŘEVO A JEHO ČÁSTI</b>				
Dřevo smrkové	340	440		
Smrková kůra se zbytky dřeva	320	410	270	
Přiliny z měkkého dřeva	280	400	230	
Smrkové hobliny	330	430	240	vlhké
Dřevěná dýha (3 mm silná)	260	400	230	

Tabulka 3: Výsledky stanovení vznětlivosti dřevěných výrobků podle ČSN 64 0149 „Stanovení vznětlivosti materiálů“, n – PTCH nebyla stanovena (zdroj: Kislinger 2015)

Základní požárně-technické charakteristiky jsou:

- Teplota (bod) vzplanutí – je to nejnižší teplota, při které hořlavá látka za normálního tlaku vyvine tolik hořlavých par, že ve směsi se vzduchem při krátkodobém přiblížení vnějšího zápalného zdroje dočasně vzplanou, ale dále nehoří.
- Teplota (bod) hoření – je to nejnižší teplota, při které se z hořlavé látky odpaří tolik hořlavých par a plynů, že jejich směs se vzduchem vzplane při přiblížení vnějšího zápalného zdroje a hoří bez přerušení dále nejméně 5 s.
- Teplota (bod) vznícení – je to nejnižší teplota, při které se hořlavá látka ve směsi se vzduchem sama bez iniciace vznítí.
- Mez (oblast) výbušnosti – je to oblast, kde se koncentruje směs plynu, páry nebo prachu se vzduchem a při zapálení zdrojem vznícení vybuchuje.
- Teplota samovznícení – je to nejnižší teplota, kde začínají v látce exotermické procesy, a to bez vnějšího zápalného zdroje (tepla), to vede k samovznícení.
- Teplota žhnutí – je to nejnižší teplota, u které dochází bez působení otevřeného plamene k trvalému žhnutí materiálu.
- Výhřevnost – udává se v  $[MJ.kg^{-1}]$  a je to množství tepla na jednotku hmotnosti. Vzniká při úplném spálení látky či materiálu. (Fojtík 2019; Kislinger 2015; Pecl 1999)

### 3.13 DŘEVOSTAVBY

Dřevostavba je stavba, kde jsou nosné konstrukce převážně ze dřeva nebo materiálů na jeho bázi. Nosné konstrukce zajišťují přenos zatížení a celkovou tuhost dřevostavby. Dřevo je obnovitelný přírodní materiál, který lidé od nepaměti používají pro výstavbu různých obydlí, či konstrukcí. V současnosti dochází na území České republiky k velkému zvyšování počtu dřevostaveb. Nejedná se pouze o rodinné domy, které se staví především, ale také o bytové domy nebo haly s různým účelem využití. Co se týče konstrukčních systémů dřevostaveb,

tak jejich počet se pohybuje okolo dvou desítek. Není definováno, který ze systémů či technologií výstavby je nejlepší. (Adresář výrobců a dodavatelů dřevostaveb 2019; Polák a kol. 2019)

### 3.13.1 HISTORIE

V minulosti se na území ČR střetávaly různé evropské kultury, což má za následek to, že se u nás setkáváme i s různými dřevěnými konstrukcemi, které jsou rozšířené i na území celé střední Evropy. Dřevo je od nepaměti nejvíce používaným materiálem na území Čech a Moravy. Na počátku dřevostaveb stály jednoduché konstrukce ze svislých kůlů a vodorovných vaznic, které byly celkově spojeny proutím a hlínou. Stavby neměly okna, jelikož je v té době neuměli do konstrukce vytvořit. Dále se výstavba obydlí přesouvala k roubeným konstrukcím, kde hlavním materiálem byla kulatina a jako střešní konstrukce byla použita vaznicová soustava. Poté byly vyvíjeny další konstrukční systémy dřevostaveb, které si uvedeme v následujících odstavcích. (Bukovský a kol. 2002; Kuklík 2005)

## 3.14 KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY DŘEVOSTAVEB

Konstrukční systémy dřevěných staveb, které se v současné době uplatňují, můžeme rozdělit na tři základní skupiny. První skupinou jsou stavby elementární, to znamená, že jsou sestavovány z jednotlivých elementů – přířezů. Další skupinou jsou skeletové stavby, které stejně jako elementární pochází z původních hrázděných staveb a jsou typické hlavně tyčovými prvky. Poslední skupinou jsou takzvané masivní stavby. (Vaverka a kol. 2008)

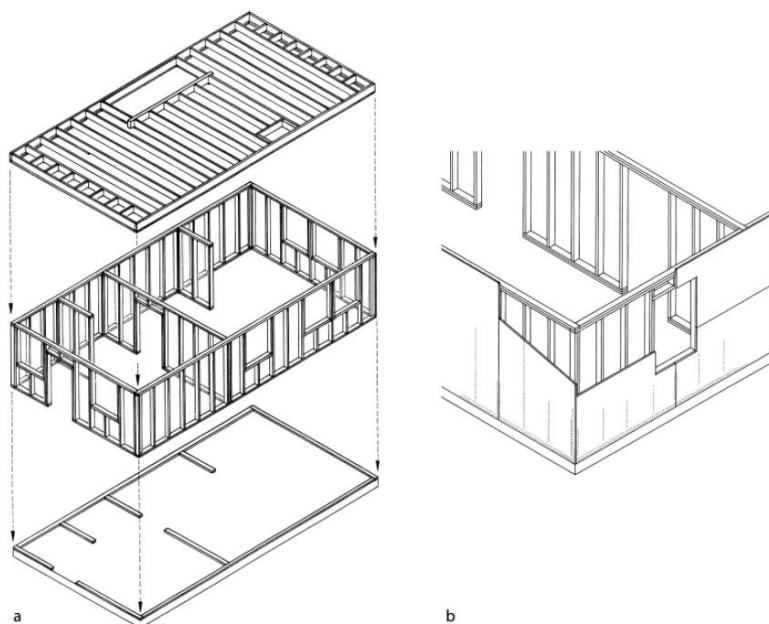
### 3.14.1 ELEMENTÁRNÍ KONSTRUKČNÍ SYSTÉM

Elementární konstrukční systém se vyvinul z původního konstrukčního systému hrázděných staveb, který má původ v Americe. Stavby se sestavují z jednotlivých elementů, které slouží jako nosná konstrukce (kostra), ta pak tvoří ještě s dalšími stavebními materiály jeden celek. Tento konstrukční systém můžeme dále rozdělit na rámové (Obr. 10) a panelové (Obr. 11) konstrukce. (Vaverka a kol. 2008)

- Rámová konstrukce

Rám této konstrukce, vysoký na jedno podlaží stavby, je sestaven z jednotlivých elementů, které jsou následně ztuženy pomocí opláštění. Rámy lze montovat buď přímo na stavbě, což je pomalejší způsob montáže, nebo se ve výrobních halách předpřipraví dřevěný rám, který je opláštěný pouze z jedné strany. Zbytek

konstrukce se provádí na stavbě ve chvíli, kdy je celý objekt zastřešen.  
(Vaverka a kol. 2008)



Obrázek 10: Rámová konstrukce: a – dřevěná kostra rámové stavby, b – výztužné opláštění  
(zdroj: Vaverka a kol. 2008)

- Panelová konstrukce

Tuto konstrukci můžeme též označit za prefabrikovanou. Veškerá výroba se odehrává ve výrobních halách, kde se nejprve vyrobí rámová konstrukce, následně se opláští z jedné strany, vyplní se tepelnou izolací, provede se instalace rozvodů, a nakonec přijde opláštění z druhé strany. Výplně otvorů, vnější tepelná izolace a další povrchové úpravy se provádějí až na samotném staveništi. Výstavba je velice rychlá a efektivní. (Vaverka a kol. 2008)



Obrázek 11: Panelová konstrukce – montáž na staveništi (zdroj: KODEX REALITY s.r.o. 2020)

### 3.14.2 SKELETOVÝ KONSTRUKČNÍ SYSTÉM

Skeletový konstrukční systém je charakterizován nosnými tyčovými prvky, které veškeré zatížení přenášejí do základů celé konstrukce, a to bez přičinění stěn, či opláštění. Tento systém lze rozdělit na těžký dřevěný skelet (Obr. 12) a lehký dřevěný skelet (Obr. 13), nám známý pod názvem sloupková konstrukce. (Polák a kol. 2019; Vaverka a kol. 2008)

- Těžký dřevěný skelet

Nosná kostra tohoto skeletu se skládá z vodorovných a svislých prvků, šikmé prvky u této konstrukce nejsou použity. Stěny zde slouží pouze k oddělení místností nebo jako výplň obvodového pláště, čímž většinou bývá sklo. Nosné sloupy, které přenášejí zatížení do základové desky, jsou rozmístěny tak, aby splňovaly určitý modul, který většinou bývá 1200 mm. Násobkem základního modulu se následně tvoří celý modulový rastr. K získání větších rozponů se používá lepené lamelové dřevo. Touto technologií lze provádět souvislé sloupy pro vícepodlažní stavby. Výhodou této konstrukční metody je velká variabilita a flexibilita dispozice. (Kaštanová 2014; Polák a kol. 2019; Vaverka a kol. 2008)

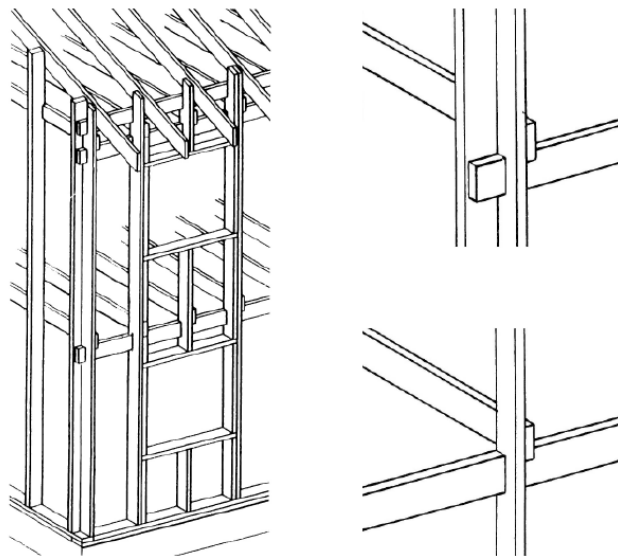


Obrázek 12: Ukázka těžkého dřevěného skeletu (zdroj: Czech chalet 2008)

- Lehký dřevěný skelet – sloupková konstrukce

Sloupková konstrukce se od těžkého skeletu liší modulem, kde osová vzdálenost mezi sloupky je 600–625 mm, tudíž jsou sloupky na sebe více nahuštěné. Tato

konstrukce se skládá ze sloupků a stropních nosníků. Mezi sloupky se vkládá tepelné izolace a následně se rám uzavře deskami většinou na bázi dřeva a sádry. V současnosti máme 3 typy lehkého skeletu – Balloon frame, modifikovaný Balloon frame a Platform frame. Nejvíce se dnes využívá poslední ze jmenovaných skeletů – Platform frame, kde jsou díly posazeny na sebe a tvoří tak jednopodlažní, či vícepodlažní budovy. Z hlediska požární odolnosti se u vícepodlažních budov doporučuje výška budovy pouze do pátého podlaží. Výhodou tohoto typu konstrukce je snadná montáž a fakt, že na stavbě není potřeba těžká technika jako při výstavbě skeletů těžkých. (Kaštanová 2014; Polák a kol. 2019; Vaverka a kol. 2008)



Obrázek 13: Sloupková konstrukce dřevostavby (zdroj: Vaverka a kol. 2008)

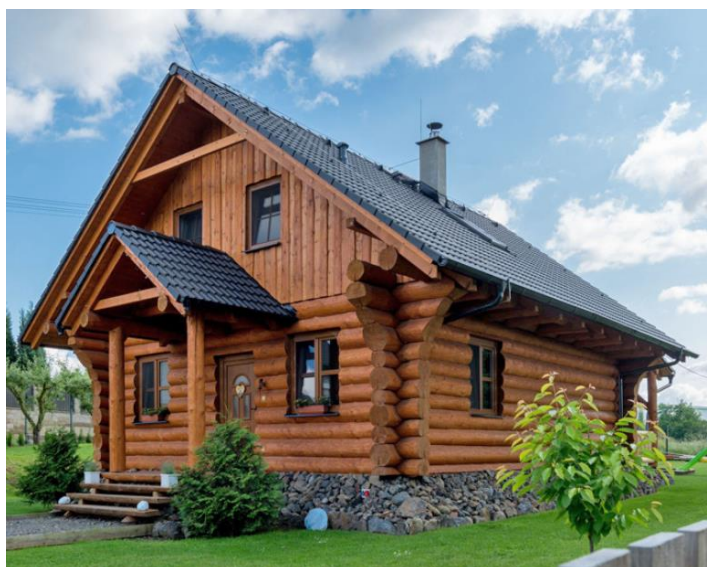
### 3.14.3 MASIVNÍ DŘEVOSTAVBY

Dřevostavby z masivu je možno rozdělit na dvě skupiny – tradiční a novodobé. Z těch tradičních to jsou konstrukce srubové a roubené (Obr. 14), u novodobých se jedná o stavby z vrstveného dřeva, skládaných přířezů nebo dílcových prvků (Obr. 15). (Vaverka a kol. 2008; Veselý 2013)

- Srubové a roubené stavby

Sruby a roubenky jsou velmi specifické stavby, co se týče jejich vzhledu. Musíme tedy dbát na to, abychom je postavili ve správné lokalitě. Nosnou částí těchto staveb je stěna složená z kulatiny, která je předem odkorněná. Průřez kulatiny může být profilován například jako hranol, prizma a jiné nebo může zůstat kulatý. Odkorněné profilované

kulatiny, které jsou nařezány na požadovaný rozměr, se pokládají na sebe a jsou spojeny tesařskými spoji (pero-drážka, přeplátování), popřípadě spojovacími prostředky (dřevěný kolík). Spáry, které vznikají mezi kulatinami, se vyplňují tepelnou izolací. Tepelná izolace je též umístěna z vnitřní strany roubené stavby spolu s dřevěným obkladem. Tímto způsobem je zajištěna tepelná odolnost celé dřevostavby. U srubů je tepelná odolnost zajištěna samotnou tloušťkou stěny a správným provedením výplně ve spárách. (Vaverka a kol. 2008; Veselý 2013)



Obrázek 14: Srubová konstrukce (zdroj: Dřevo a stavby.cz 2008)

- Novodobé masivní stavby

Tento typ dřevostaveb se oproti elementárním či skeletovým stavbám liší v tom, že nosnou částí konstrukce není rám. Nosnou částí je zde deskový blok, který je tvořen z masivu. Nosná část se sestavuje různými způsoby – skládáním či vrstvením. Jednotlivé dílce jsou spojeny lepidlem nebo jinými spojovacími prostředky, jako jsou například hřebíky a vruty. Tyto dílce jsou vyrobeny ve výrobních halách a jako prefabrikát jsou převezeny na stavbu, kde se vzájemně smontují. Dále se provede zateplení vnější části a nakonec povrchové úpravy. Stavbu lze z vnější strany potáhnout omítkou, dřevěný masiv tedy nemusíme z vnější části vůbec „přiznat“ a stavba bude vizuálně vypadat jako stavba z cihelných tvarovek, lze ale použít i obklad dřevěný. (Vaverka a kol. 2008; Veselý 2013)



Obrázek 15: Masivní konstrukce dřevostavby (zdroj: KODEX REALITY s.r.o. 2020)

#### 3.14.4 KONSTRUKČNÍ SYSTÉM Z PROSTOROVÝCH BUNĚK

S tímto konstrukčním systémem se v ČR setkáváme ojediněle. Celková výroba se odehrává ve výrobních halách, tudíž se konstrukční materiál na staveništi vyskytuje jen v malé míře. Další výhodou tohoto systému je rychlá a jednoduchá montáž, kterou můžeme vidět na (Obr. 16). Nevýhodami jsou naopak nákladná přeprava buněk na staveniště a samotná manipulace s nimi, při které je potřeba těžká technika. (Vaverka a kol. 2008)



Obrázek 16: Montáž rodinného domu z prostorových dřevěných buněk (zdroj: Bukovský a kol. 2002)

#### 3.15 POŽADAVKY PRO ZAJIŠTĚNÍ POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI STAVEB

Požární bezpečnost se řadí mezi základní požadavky na stavby. Tyto požadavky se vztahují na navrhování, výstavbu a také užívání stavby. Zakládají se na:



- snížení rizika rozvoje a šíření ohně ve stavbě
- snížení rizika přenosu požáru na okolní stavby
- zajištění evakuace osob a zvířat při nebezpečí požáru nebo vzniku požáru ve stavbě
- zajištění bezpečného a účinného zásahu požárních jednotek

Všechny výše uvedené požadavky lze dodržet pouze v případě, že bude na určitou dobu garantována únosnost a stabilita nosných konstrukcí a celistvost včetně izolace konstrukcí požárně dělících. (Polák a kol. 2019)

Požární bezpečnost stavby lze zajistit aktivními či pasivními prostředky zabezpečení. Aktivní prostředky jsou technická zařízení, která detekují požár, hlásí poplach, ovládají jiná zařízení pomocí EPS, zajišťují zásah jednotek, samočinně hasí oheň, odvádějí teplo a kouř, zajišťují podmínky pro evakuaci osob či zvířat a celkově snižují rozsah škod. Oproti tomu pasivní prostředky zaručují stabilitu konstrukcí, dělí stavbu na požární úseky a tím zamezují šíření požáru ve stavbě, dále pak zajišťují bezpečné únikové i zásahové cesty a omezují šíření požáru na okolní stavby.

### 3.16 DRUHY POŽÁRNÍCH ZKOUŠEK

Reakce na oheň stavebních výrobků dle ČSN EN 13501-1 je jednou z požárních zkoušek, která se řadí pod evropský systém předpisů pro zkušební metody. V tabulce pro reakci na oheň stavebních výrobků, mimo podlahových krytin, řadíme výrobky do několika tříd – A1, A2, B, C, D, E, F. Tyto třídy hořlavosti se definují pomocí tří metod testování:

- Test malého zdroje plamene – ČSN EN ISO 11925-2
- SBI test – ČSN EN 13823
- Sálavý panelový test – ČSN EN ISO 9239-1

Požární odolnost u stavebních výrobků lze zjistit výpočtem nebo zkouškou. Podle normy ČSN EN 1363-1 se určují požadavky pro zkoušku požární odolnosti a jsou zde uvedeny i požadavky zvlášť pro stavební prvky jako jsou například stěna a strop. V normě ČSN EN 13501-2 jsou uvedeny třídy požární odolnosti pro stavební výrobky a části budov. (Polák a kol. 2019)

Jednou z hlavních akreditovaných zkušeben na požární odolnost v České republice je Pavus a.s., která vznikla z názvu dříve známého jako „Požárně atestační a výzkumný ústav stavební Praha, s.p.“ delimitací vědecko-výzkumné, normotvorné a atestační činnosti z VÚPS Praha s.p. Zkušebna sídlí ve Veselí nad Lužnicí a zkoušky se provádí v akreditované zkušební laboratoři č. 1026.

V této zkušebně dochází ke zkoušení:

- Reakcí stavebních výrobků na oheň
- Požární odolnosti stavebních konstrukcí
- Požárně-technických a mechanických vlastností stavebních výrobků a konstrukcí
- Požárně bezpečnostních zařízení
- Technických prostředků a zařízení požární ochrany, včetně zkoušky hasiv
- Požárně-technických charakteristik hmot, látek, materiálů a výrobků

Pavus a.s. má oprávnění provádět například zkoušky dle těchto norem:

- ČSN EN 13986 – Desky na bázi dřeva pro použití ve stavebnictví – Charakteristiky, hodnocení shody a označení
- ČSN EN 13171 - Tepelně izolační výrobky pro stavebnictví – Průmyslově vyráběné dřevovláknité výrobky (WF) - Specifikace
- ČSN EN 14081-1 - Dřevěné konstrukce – Konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti – Část 1: Obecné požadavky
- ČSN EN 14915 - Vnější a vnitřní obklady z rostlého dřeva – Charakteristiky, posuzování shody a označení  
(Pavus 2004)

### 3.17 ZHODNOCENÍ LITERÁRNÍ REŠERŠE

Na základě provedení literární rešerše byl pro zkoušení zvolen retardér hoření z nanočástic. Tato technologie je v procesu zkoumání a zkouška pro správné stanovení retardéru hoření bude pouze orientační. Použití nanotechnologie je výhodné z důvodu potenciálního využití v budoucnosti.

## 4 METODIKA

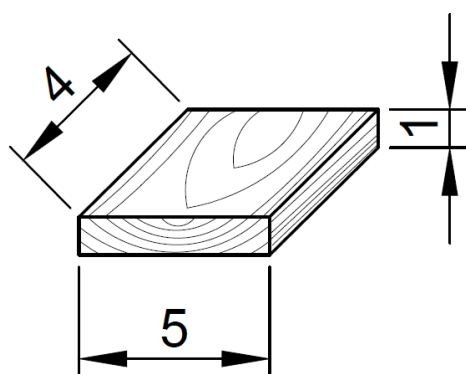
V rámci práce je navržen postup a realizace zkoušky stanovením úbytku hmotnosti dřeva ošetřeného retardérem hoření v závislosti na čase a porovnání dvou sad vzorků, které jsou každý ošetřený jiným typem retardéru hoření.

### 4.1 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

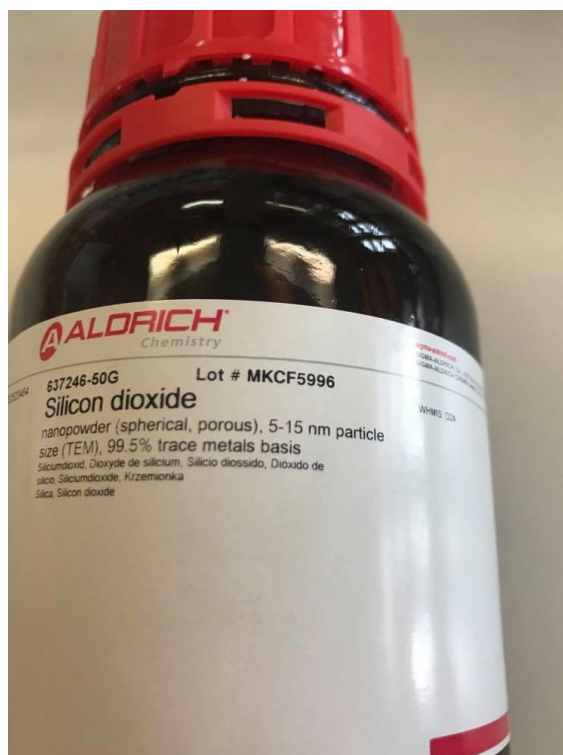
Zkušební vzorek smrku o rozměrech 50 x 40 x 10 mm (Obr. 17) a vlhkosti 12 % se nejprve dal do pece. Informace o retardéru hoření jsou uvedené v (Tab. 4). Aplikace retardéru probíhala při laboratorní teplotě 20-25 °C. V první řadě se oxid křemičitý SiO<sub>2</sub> dispergoval v 3 % toluenu a následná aplikace probíhala vakuovo-tlakovou technologií neboli vakuovo-tlakovou impregnací. Na začátku vakuum odstraní vzduch z dutin dřeva za působení 5 500 Pa (Pascal) po dobu 60 min a vytvoří tak prostor pro nanočástice oxidu křemičitého (SiO<sub>2</sub>) v podobě prášku o velikosti 5-15 nm (Obr.18). Ty se pak pod vysokým tlakem 50 000 Pa, působícím na vzorek 60 min, impregnují do struktury dřeva. Výsledkem je připravený vzorek s ochrannou vrstvou retardéru hoření pro následné zkoušení.

<b>Retardér hoření</b>	
Složení retardéru	Oxid křemičitý dispergovaný v toluenu
Označení retardéru	T - SiO <sub>2</sub>
Forma	Nanomateriál – prášek
Velikost	5-15 nm

Tabulka 4: Základní informace o retardéru hoření (zdroj: Pondělíčková 2021)



Obrázek 17: Zkušební vzorek a jeho rozměry v centimetrech (zdroj: Pondělíčková 2021)



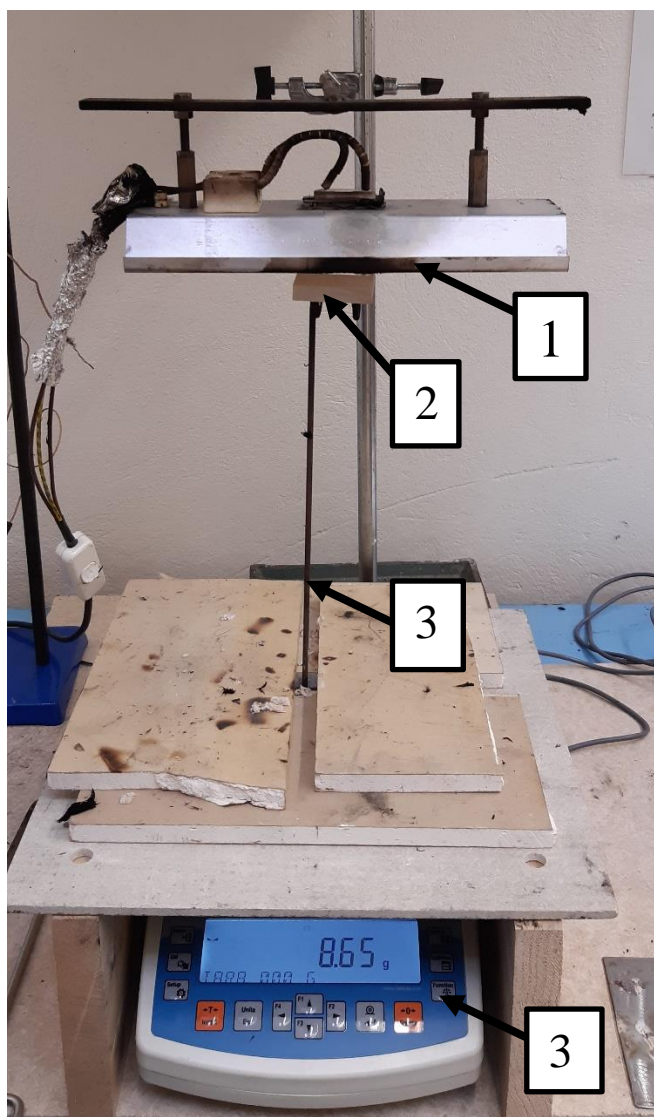
Obrázek 18: Nanočástice oxidu křemičitého ( $\text{SiO}_2$ ) v podobě prášku o velikosti 5-15 nm (zdroj: Pondělíčková 2021)

#### 4.2 PRINCIP ZKOUŠKY A POSTUP TESTOVÁNÍ

Princip zkoušky spočívá v naměření úbytku hmotnosti v závislosti na čase (Obr.19). Zkušební vzorek o velikosti 50 x 40 x 10 mm se položí na váhu. Počáteční hmotnost se zváží na elektronické váze Radwag typu PS 3500.R2.H od firmy Radwag a zaznamená se.

Zkušební vzorek je vystaven tepelnému namáhání na jedné straně s větší plochou průřezu. Dochází k jeho postupnému nahřívání a v důsledku toho pak k samotnému vzplanutí povrchu vzorku. V konečné fázi dojde ke zhasnutí plamene na povrchu vzorku a k ustálení úbytku hmotnosti. Vzorek po tuto dobu termicky degraduje a ubývá na hmotnosti.

Program, který do tabulky zaznamenává hodnoty úbytku hmotnosti každou sekundu po dobu 10 minut, se nazývá RLAB a ovládá se pomocí počítače. Čas vzplanutí zkušebního vzorku a zhasnutí plamene na jeho povrchu se měří na stopkách v jednotkách minut a zaznamenává se ručně do tabulky (Tab. 5). Tato zkouška není normována.



Obrázek 19: Přístroje měřící úbytek hmotnosti (1 – zdroj tepla; 2 – zkušební vzorek; 3 – váha Radwag typu PS 3500.R2.H od firmy Radwag) (zdroj: Pondělíčková 2021)

## 5 VÝSLEDKY A STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ

Cílem této práce je porovnat 2 sady vzorků ošetřené pomocí nanotechnologie, kde každá sada vzorků je ošetřena jiným typem retardéru hoření. Pro stanovení požárně-technických charakteristik je použita zkouška, která vyhodnocuje úbytek hmotnosti ošetřených vzorků s časem vzplanutí a zhasnutí plamene na povrchu vzorků. Naměřená data jsou zpracována do tabulek a grafů a následně porovnána a vyhodnocena.

### 5.1 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

V (Tab. 5) jsou uvedeny časy vzplanutí a zhasnutí plamene na povrchu vzorku ošetřeného oxidem křemičitým SiO<sub>2</sub>. Je zde také vypočítán průměr z těchto hodnot a směrodatná odchylka, která vypovídá o tom, jak moc se od sebe hodnoty navzájem liší.

Vzorek	Čas vzplanutí [min]	Čas zhasnutí [min]
2 T-Si	0,36	3,50
3 T-Si	0,28	3,49
4 T-Si	0,28	5,22
5 T-Si	0,32	5,06
6 T-Si	0,26	4,23
7 T-Si	0,31	6,40
Průměr	0,30	4,65
Směrodatná odchylka	0,002500643	0,045445893

Tabulka 5: Čas vzplanutí a čas zhasnutí plamene na povrchu vzorku ošetřeného SiO<sub>2</sub> uvedený v minutách (zdroj: Pondělíčková 2021)

V (Tab. 6) jsou též zapsány naměřené časy vzplanutí a zhasnutí plamene na povrchu vzorku, avšak ošetřené oxidem titaničitým  $\text{TiO}_2$ . Je zde opět vypočítán průměr z těchto hodnot a směrodatná odchylka.

Vzorek	Čas vzplanutí [min]	Čas zhasnutí [min]
2 T-Ti	0,49	6,55
3 T-Ti	0,32	4,46
4 T-Ti	0,37	5,40
5 T-Ti	0,30	5,30
6 T-Ti	0,34	5,05
7 T-Ti	0,28	5,15
Průměr	0,35	5,32
Směrodatná odchylka	0,075365775	0,687180229

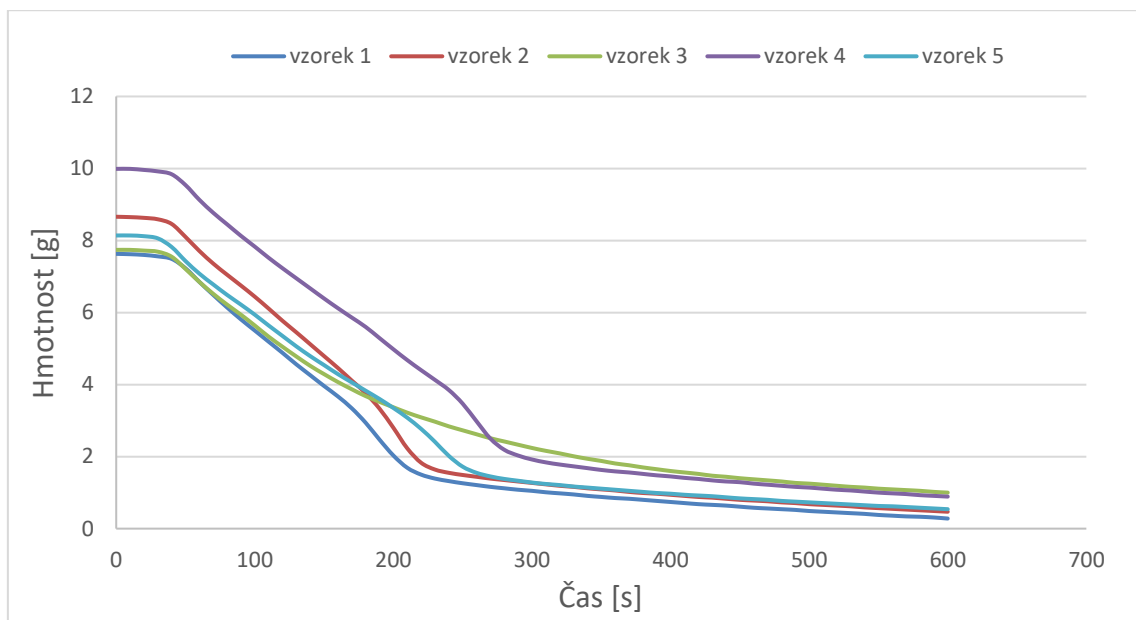
Tabulka 6: Čas vzplanutí a čas zhasnutí plamene na povrchu vzorku ošetřeného  $\text{TiO}_2$  uvedený v minutách (zdroj: Dědič 2021)

V (Tab.7) jsou uvedené aritmetické průměry 2 ošetřených sad vzorků. První průměr je vypočítán ze vzorků ošetřených  $\text{SiO}_2$ . Druhý průměr je ze vzorků ošetřených  $\text{TiO}_2$ . Je evidentní, že průměr z 6ti vzorků ošetřených  $\text{SiO}_2$  vzplane v kratším čase v porovnání s průměrem 6ti vzorků ošetřených  $\text{TiO}_2$ . Plamen na povrchu vzorků ošetřených  $\text{SiO}_2$  průměrně zhasne dřív než u vzorků ošetřených  $\text{TiO}_2$ .

	Čas vzplanutí [min]	Čas zhasnutí [min]
Průměr $\text{SiO}_2$	0,30	4,65
Průměr $\text{TiO}_2$	0,35	5,32

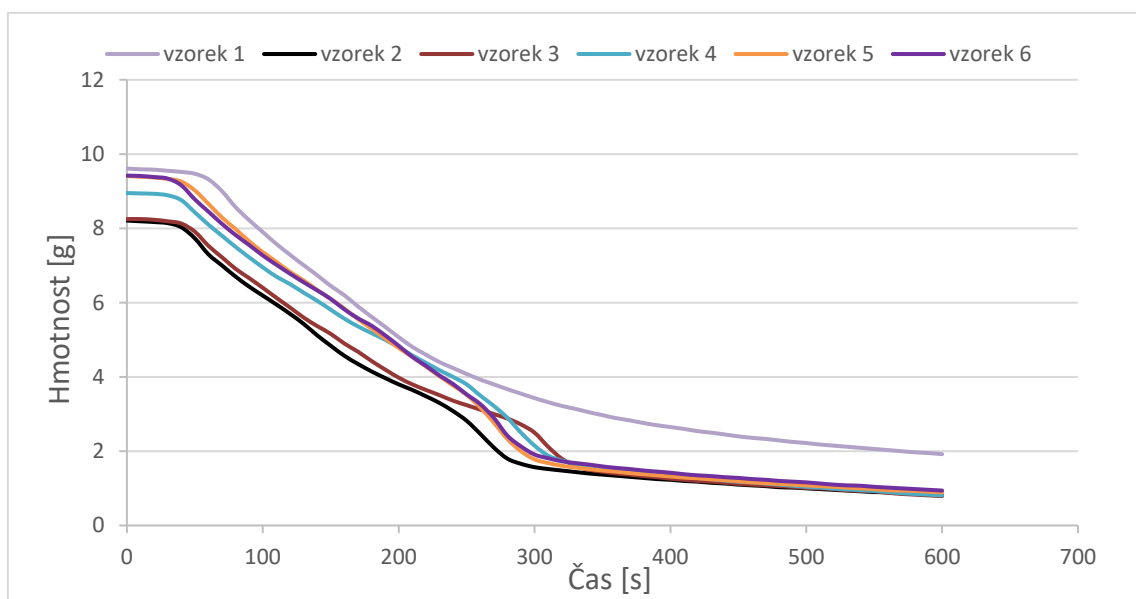
Tabulka 7: Porovnání aritmetických průměru časů vzplanutí a zhasnutí plamene na povrchu vzorku ošetřeného  $\text{SiO}_2$  a  $\text{TiO}_2$  (zdroj: Dědič 2021; Pondělíčková 2021)

Z níže uvedeného (Graf 1) je patrné, že zkušební vzorky ošetřené  $\text{SiO}_2$  začaly radikálně ubývat na hmotnosti mezi 30–50 sekund až do rozmezí 200–250 sekund. Od 250. sekundy se úbytek hmotnosti již nijak radikálně neměnil. Graf je vytvořen z naměřených hodnot, které jsou uvedeny v Příloze 2.



Graf 1: Úbytek hmotnosti 5 ti zkušebních vzorků ošetřených  $\text{SiO}_2$  v závislosti na čase (zdroj: Pondělíčková 2021)

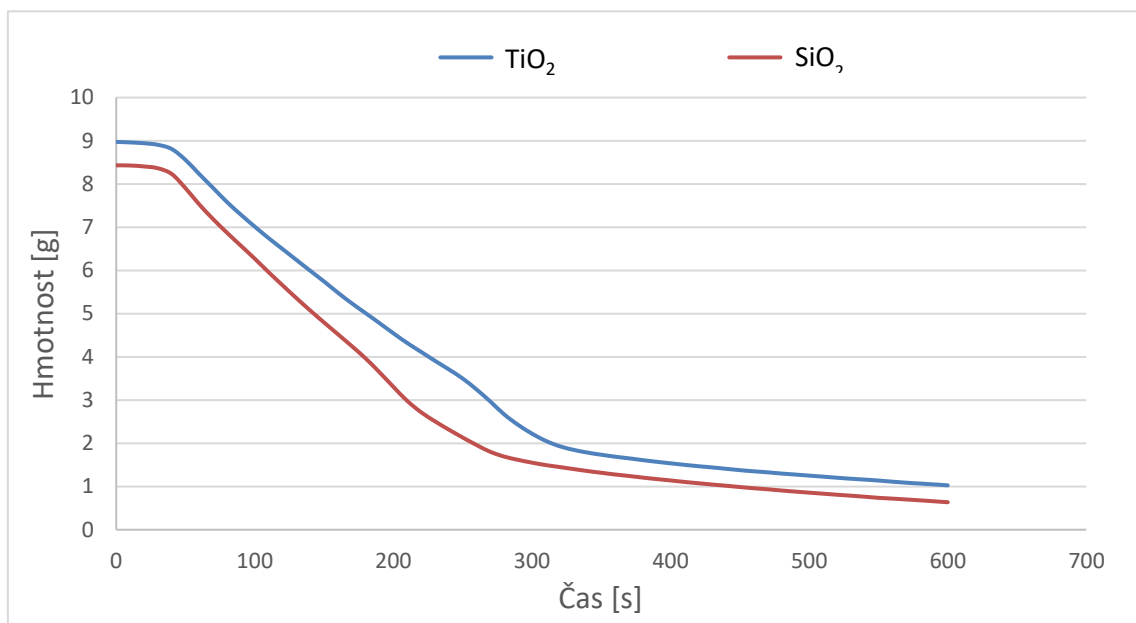
Z výsledků (Graf 2) vyplývá, že vzorky ošetřené  $\text{TiO}_2$  začaly ubývat na hmotnosti od 50-70 sekundy a různě ubývaly na hmotnosti do rozmezí mezi 270 a 310 sekundou. Graf je vytvořen z naměřených hodnot, které byly poskytnuty od (Dědič 2021)



Graf 2: Úbytek hmotnosti 6 ti zkušebních vzorků ošetřených  $\text{TiO}_2$  v závislosti na čase (zdroj: Dědič 2021)



V (Graf 3) se vyskytují 2 křivky, které znázorňují průběh úbytku hmotnosti v závislosti čase. Červená křivka znázorňuje průběh úbytku hmotnosti 5ti zprůměrovaných vzorků ošetřených  $\text{SiO}_2$ . Modrá křivka znázorňuje průběh úbytku hmotnosti 6ti zprůměrovaných vzorků ošetřených  $\text{TiO}_2$ . Z grafu je evidentní, že průměrná hmotnost vzorků ošetřených  $\text{TiO}_2$  byla vyšší než průměrná hmotnost vzorků ošetřených  $\text{SiO}_2$ .



Graf 3: Porovnání průběhu úbytku hmotnosti na čase (zdroj: Dědič 2021; Pondělíčková 2021)

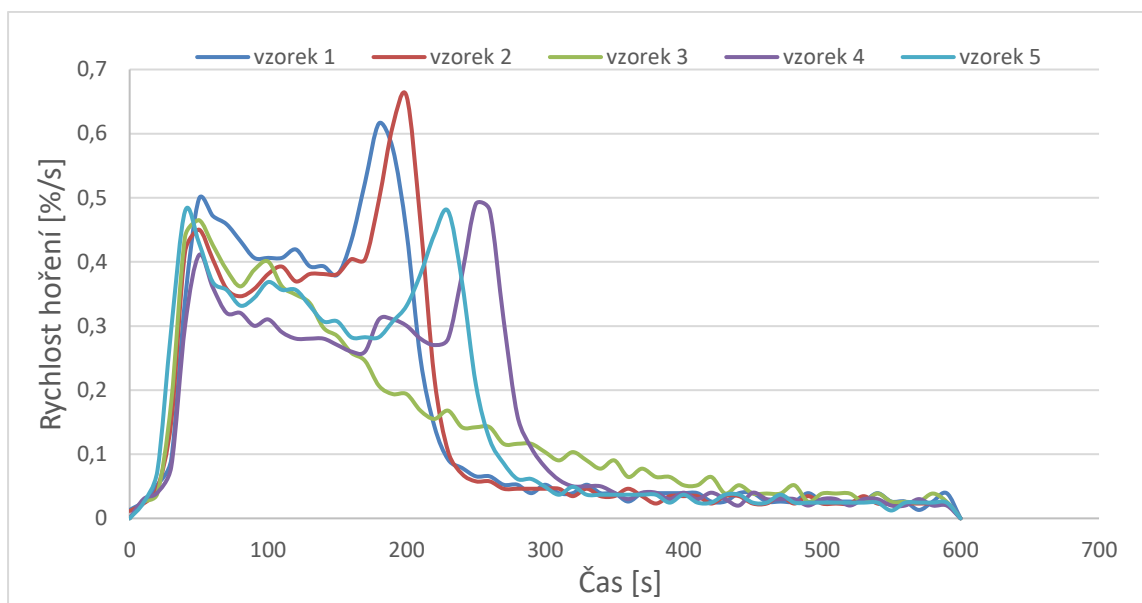
V (Graf 4) jsou vyobrazeny křivky, které znázorňují intenzitu hoření všech 5ti měřených vzorků ošetřených SiO<sub>2</sub>. Pro vytvoření grafu byly použity hodnoty z Přílohy 2 a rychlost hoření byla vypočítána ze vzorce:  $v = \frac{m_t - m_{t+10}}{m_{t0} \times 10} \times 100$ , kde:

v...je rychlost hoření [%/s]

m<sub>t</sub>...je hmotnost v čase [g]

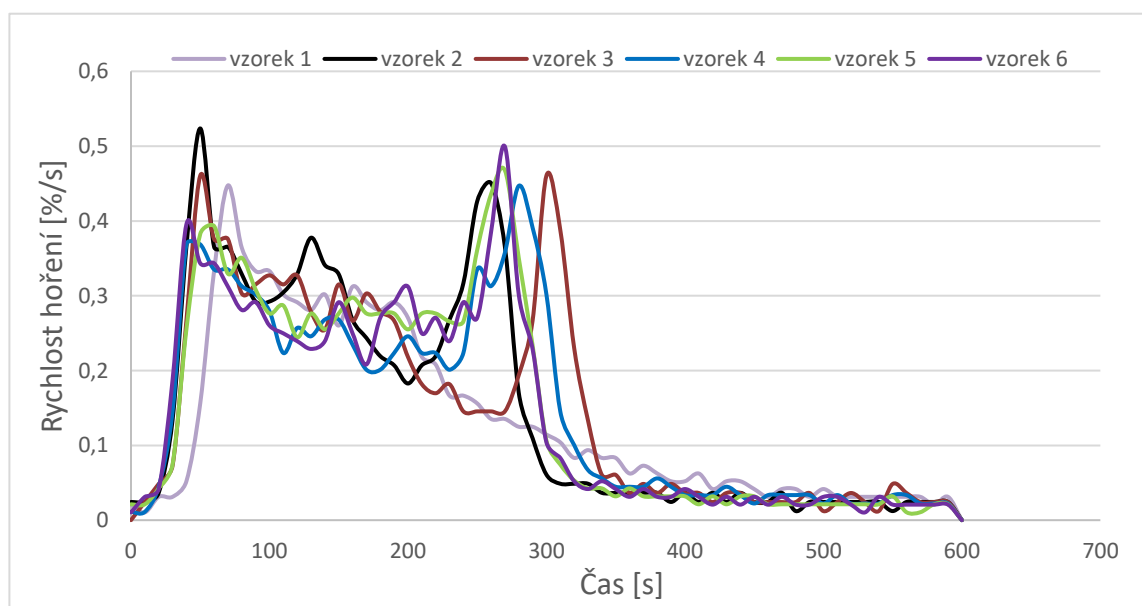
m<sub>t+10</sub>...je hmotnost v čase o 10 sekund později [g]

m<sub>t0</sub>...je hmotnost v čase 0 [g]



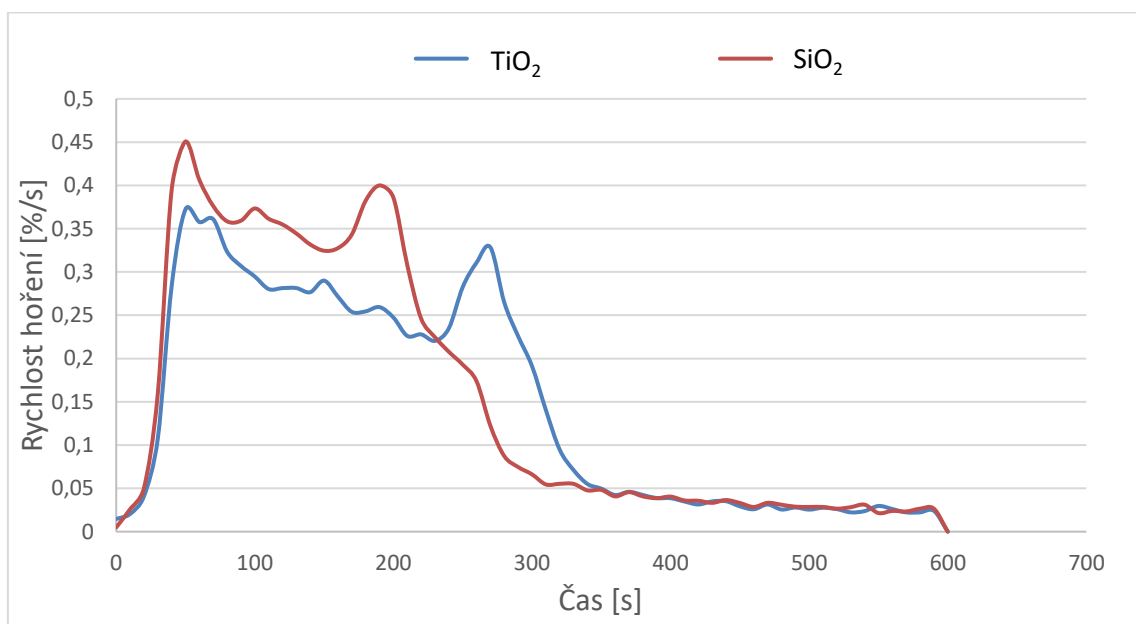
Graf 4: Intenzita hoření od 0 do 700 s, vzorků ošetřených SiO<sub>2</sub> (zdroj: Pondělíčková 2021)

Z (Graf 5) jsou patrné křivky znázorňující intenzitu hoření 6ti vzorků ošetřených TiO<sub>2</sub>. Graf je vytvořen z naměřených hodnot, které byly poskytnuty od (Dědič 2021)



Graf 5: Intenzita hoření od 0 do 700 s, vzorků ošetřených TiO<sub>2</sub> (zdroj: Dědič 2021)

V (Graf 6) lze pozorovat červenou křivku, která vyobrazuje průměr intenzity hoření z 5 ti vzorků ošetřených SiO<sub>2</sub> a modrou křivku, která zobrazuje průměr intenzity hoření z 6ti vzorků ošetřených TiO<sub>2</sub>.



Graf 6: Porovnání průběhu intenzity hoření u vzorků ošetřených SiO<sub>2</sub> a TiO<sub>2</sub> (zdroj: Dědič 2021; Pondělíčková 2021)

## 6 DISKUZE

Výsledky naměřených dat ze zkoušky, kde se měřil čas vzplanutí a čas zhasnutí plamene na povrchu vzorku, úbytek hmotnosti v závislosti na čase a intenzita hoření zkušebních vzorků byly vzájemně porovnány a vyhodnoceny. Průměrné hodnoty časů vzplanutí a zhasnutí jsou porovnány v (Tab.7). Z porovnání naměřených dat u 5ti vzorků (6. vzorek nebyl doměřen z důvodu selhání zapisovacího systému RLAB) ošetřených nanočásticemi retardéru hoření SiO<sub>2</sub> vyplývá, že průběh úbytku hmotnosti v závislosti na čase byl u každého vzorku přibližně stejný až na vzorek č. 3, u kterého je průběh úbytku hmotnosti zaznamenán jako kontinuální křivka, což ukazuje (Graf 1).

Toto lze tvrdit i u 6ti vzorků ošetřených nanočásticemi retardéru hoření z TiO<sub>2</sub>, které jsou uvedené v (Graf 2), avšak vzorek č. 6 měl též kontinuální průběh úbytku hmotnosti oproti zbylým vzorkům. Průběh úbytku hmotnosti u vzorků SiO<sub>2</sub> byl následně porovnán s průměrem průběhu úbytku hmotnosti u vzorků TiO<sub>2</sub> a zaznamenán v grafu 3.

Intenzita hoření je u všech vzorků ošetřených SiO<sub>2</sub> jiná. Z (Graf 4) lze konstatovat, že intenzita hoření vzorků na začátku rapidně stoupla až k hranici 0,5 %/s, následně začala klesat a poté opět vystoupala až na hodnotu 0,68 %/s. Po tomto vystoupaní opět křivka radikálně klesla, a nakonec se intenzita hoření ustálila. Vzorek č. 3 ošetřený SiO<sub>2</sub> měl výjimečný průběh a to tím, že nedošlo k druhému nárůstu intenzity.

Tento průběh děje lze konstatovat i u ošetřených vzorků TiO<sub>2</sub>, kde první nárůst intenzity byl naměřen nad hranici 0,5 %/s a druhý nárůst byl nižší a byl naměřen pod hranici 0,5 %/s, což je možno vidět v (Graf 5). Průměrná intenzita hoření 5ti vzorků ošetřených SiO<sub>2</sub> a 6ti vzorků ošetřených TiO<sub>2</sub> je zaznamenána v (Graf 6).

## 7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo na základě literární rešerše zvolit způsob ošetření dřeva vhodnými retardéry (zpomalovači) hoření a vzájemně porovnat naměřená data. Způsobem ošetření dřeva byla zvolena metoda nanotechnologie, která je v současné době ve fázi výzkumu, avšak dosavadní výsledky vykazují velmi dobré hodnoty.

Metodika přípravy vzorků byla zvolena vakuovo-tlaková impregnace a jako retardér hoření byl zvolen v podobě prášku oxid křemičitý dispergovaný v toluenu, který byl porovnán s oxidem titaničitým a vzájemně vyhodnocen.

Naměřené hodnoty byly vloženy do grafu, ve kterém byly nejprve vzájemně porovnány ošetřené vzorky stejným retardérem hoření a následně byly průměrně vyhodnoceny 2 sady vzorků ošetřené každá jiným retardérem hoření.

Co se týče intenzity hoření, tak z průměru intenzit hoření vzorků ošetřených  $\text{SiO}_2$  lze říct, že hodnoty vykazují větší intenzitu v kratším časovém intervalu na začátku hoření, než je tomu u vzorků ošetřených  $\text{TiO}_2$  a stejný jev se odehrává i v případě druhého nárůstu intenzity hoření. Konečný průběh mají obě křivky podobný.

Výsledky říkají, že oxid křemičitý nanosený na vzorky vykazuje průměrně rychlejší čas vzplanutí. Přesněji řečeno vzorky ošetřené  $\text{TiO}_2$  v průměru vzplanou o 3 s později než vzorky ošetřené  $\text{SiO}_2$ . Čas, ve kterém plamen na povrchu vzorků ošetřených  $\text{TiO}_2$  zhasne je v průměru o 40,2 s vyšší než u vzorků ošetřených  $\text{SiO}_2$ . Z tohoto porovnání lze tvrdit, že vzorky ošetřené  $\text{TiO}_2$  déle odolávají účinkům působení tepla, než dojde k jejich vzplanutí a také čas zhasnutí plamene na povrchu vzorku průměrně nastává později než u vzorků ošetřených  $\text{SiO}_2$ . Úbytek hmotnosti v závislosti na čase průměrně vykazoval pomalejší průběh u vzorků ošetřených  $\text{TiO}_2$  v porovnání se vzorky ošetřenými  $\text{SiO}_2$ .

V této zkoušce vykazuje lepší hodnoty retardér hoření z nanočástic  $\text{TiO}_2$ . Tato zkouška však není normována a samotný výzkum nanotechnologie je v současné době v prvotní fázi vývoje. Nelze tak s určitostí predikovat, zdali by tento typ retardéru hoření splňoval veškeré podmínky pro použití v praxi.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### Literatura:

Adresář výrobců a dodavatelů dřevostaveb, 2019. Praha: PRO VOBIS. ISBN 978-80-88311-00-3.

BÖHM, Martin. Technologie výroby aglomerovaných materiálů. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2005.

BÖHM, Martin, REISNER, Jan a BOMBA, Jan. Materiály na bázi dřeva. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva 2012. ISBN 978-80-213-2251-6.

BUKOVSKÝ, Ladislav a kol. Technické řešení energeticky úsporných staveb. Praha, 2002. ČUNDERLÍK, Igor. Štruktúra dreva. Technická univerzita vo Zvolene, 2009. ISBN 978-80-228-2061-5.

FILIPI, Bohdan a et al. Nauka o materiálu. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2003. ISBN 80-86634-11-6.

GANDELOVÁ, Libuše, HORÁČEK, Petr a ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila. Nauka o dřevě. 2. nezm. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. ISBN 80-7157-577-1.

HARAZÍM, Miroslav. Vliv konstrukce a materiálových kombinací na požární odolnost dřevostaveb. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2008.

HORÁČEK, Petr. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. 2., přeprac. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-169-2.

KAČÍK, František a TRIBULOVÁ, Tereza. Chemie dřeva. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2020. ISBN 978-80-213-2937-7.

KAČÍKOVÁ, Danica, MAJLINGOVÁ, Andrea, CHROMEK, Ivan, et al. Protipožiarna ochrana a bezpečnosť. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2017. ISBN 978-80-228-3011-9.

KISLINGER, Radek. Požárně technické charakteristiky a technické informace pro potřeby ZPP. Vyd. 1. Praha: Ministerstvo vnitra, Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2015. ISBN 978-80-86466-72-9.

KUKLÍK, Petr. Dřevěné konstrukce. České vysoké učení technické, 2005.

KUPILÍK, Václav. Stavební konstrukce z požárního hlediska. 1. vyd. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-1329-2.

- LOKAJ, Antonín a VAVRUŠOVÁ, Kristýna. Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství: Požární odolnost dřevěných střešních nástaveb. Ostrava, 2009. ISSN 1803-8433.
- MÓZER, Vladimír. Rozvoj požiaru a rýchlosť odhorievania: Riešenie krízových situácií v špecifickom prostredí, 2014.
- MYNÁŘ, Josef a TESLÍK, Jiří. Materiály pro dřevostavby. 2009.
- NETOPILOVÁ, Miroslava. Materiály: Stavební materiály. První. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2004. ISBN 80-86634-27-2.
- OSVALD, Anton. Ochrana pred požiarimi: Úvod do štúdia. Technická univerzita vo Zvolene, 2005. ISBN 80-228-1493-8.
- PECL, Jan. Požární taktika: Základy požární taktiky: Rozdělení hořlavých látek a jejich požárně technické charakteristiky. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 1999. ISBN 80-86111-46-6.
- POLÁK, Stanislav a kol. Studie zaměřená na zhodnocení stávajícího stavu požadavků na požární bezpečnost dřevostaveb v ČR a v zahraničí: Výzkumné projekty grantové služby LČR. Studie. Lesy České republiky, s. p., Hradec Králové. Praha, 2019.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S. a BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: Priroda: Bratislava, 1993. ISBN 80-0700960-4.
- REINPRECHT, Ladislav. Ochrana dreva: vysokoškolská učebnica. 1. vyd. Vo Zvolene: Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80—228-1863-6.
- REINPRECHT, Ladislav a PÁNEK, Miloš. Trvanlivost a ochrana dřeva. Vydání první. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2660-6.
- TUREKOVÁ, Ivana. Vysokoteplotná degradácia materiálov na báze dreva a stanovenie vybraných požiarnebezpečnostných charakteristík. Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave 2005.
- TORGAL, F. P., DIAMANTI, M. a et al. Nanotechnology inEco-efficient Construction: Materials, Processes and Applications. Second. National Academy of Sciences of Ukraine: Matthew Deans, 2019. ISBN 978-0-08-102641-0.
- VAVERKA, Jiří, HAVÍŘOVÁ, Zdena a JINDRÁK, Miroslav. Dřevostavby pro bydlení. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-7014-7.
- ZEIDLER, Aleš a BORŮVKA, Vlastimil. Stavba a vlastnosti dřeva hospodářsky významných dřevin – podklady pro cvičení. Vydání první. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2674-3.

## Internetové zdroje:

BRADÁČOVÁ, Isabela. Základní požadavky na stavby a zajištění požární bezpečnosti. ČKAIT Praha, 2019 [online]. [cit. 25-03-2021] Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-1-7/#1>

Czech chalet: Těžký skelet, 2008. [online]. [cit. 20-03-2021]. Dostupné z: <http://www.czech-chalet.cz/tezky-skelet-ve-straznem>

Dřevo a stavby.cz: Sruby a roubenky, 2008. [online]. [cit. 17-02-2021]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/caste-dotazy/134-faq-sruby-a-roubenky>

FOJTÍK, Roman, 2019. Požární ochrana: 33 Požárně technické charakteristiky vyráběných, používaných, zpracovávaných nebo skladovaných látek a materiálů, potřebných ke stanovení preventivních opatření. [online]. [cit. 06-03-2021]. Dostupné z: <http://pozarniochrana.netstranky.cz/temata/33-pozarne-technicke-charakteristiky.html>

GLOS, Martin, 2009. Vzdělávací portál – zajímavosti ze světa dřeva. [online]. [cit. 04-03-2021]. Dostupné z: <http://drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz/zajimavosti-ze-sveta-dreva/drevo/>

KAŠTANOVÁ, Andrea. Co je dřevostavba a jaké jsou její druhy, 2014. [online]. [cit. 15-03-2021]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/vse-o-drevostavbach/jak-na-drevostavbu/co-je-drevostavba-a-jake-jsou-jeji-druhy>

KODEX REALITY s.r.o. dřevostavby na klíč & reality, development: Dřevostavby a stavební systémy – druhy dřevostaveb, 2020. [online]. [cit. 19-03-2021]. Dostupné z: <http://www.kodex-reality.cz/fotogalerie/fotogalerie-drevostavby/drevostavby-a-stavebni-systemy---druhy-drevostaveb.htm>

LOWDEN, L.A., HULL, T.R. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. Fire Sci Rev 2, 4, 2013 [online]. [cit. 03-04-2021] Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-4>

PAVUS a.s. Pavus. Oprávnění, 2004. [online]. [cit. 14-02-2021] Dostupné z: <http://www.pavus.cz>

VAŠÁTKO, Eduard, 2009. Požární problematika dřevěných konstrukcí [online]. [cit. 04-03-2021]. Dostupné z: <http://www.seidl.cz/cz/publikace/pozarni-problematika-drevenych-konstrukci-73.html>

VESELÝ, Vojtěch. Masivní dřevostavby a požadavky na ně kladené. Mendelova univerzita Brno, 2013 [online]. [cit. 16-03-2021]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/vlastnosti-drevostaveb/10345-masivni-drevostavby-a-pozadavky-na-ne-kladene>



ZEIDLER, Aleš, 2010. Lexikon vad dřeva [online]. Česká zemědělská univerzita v Praze [cit. 02-09-2021]. Dostupné z: [http://r.fld.czu.cz/vyzkum/multimedia/lexikon\\_vad/](http://r.fld.czu.cz/vyzkum/multimedia/lexikon_vad/)

### **Použité normy:**

ČSN EN 49 0103: Dřevo. Zjišťování vlhkosti při fyzikálních a mechanických zkouškách.

ČSN EN 13501-1: Klasifikace stavebních výrobků a konstrukce staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň

ČSN EN 13501-2: Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení

ČSN EN 1995-1-2: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru

ČSN 73 0862: Stanovení stupně hořlavosti stavebních hmot

ČSN 73 0851: Stanovení požární odolnosti stavebních konstrukcí

ČSN 64 0149: Stanovení vznětlivosti materiálů

ČSN EN ISO 11925-2: Zkoušení reakce na oheň – Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene – Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene

ČSN EN 13823: Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň – Stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu

ČSN EN ISO 9239-1: Zkoušení reakce podlahových krytin na oheň – Část 1: Stanovení chování při hoření užitím zdroje sálavého tepla

ČSN EN 1363-1: Zkoušky požární odolnosti – Část 1: Obecné požadavky

ČSN EN 13986: Desky na bázi dřeva pro použití ve stavebnictví – Charakteristiky, hodnocení shody a označení

## **9 SEZNAM PŘÍLOH**

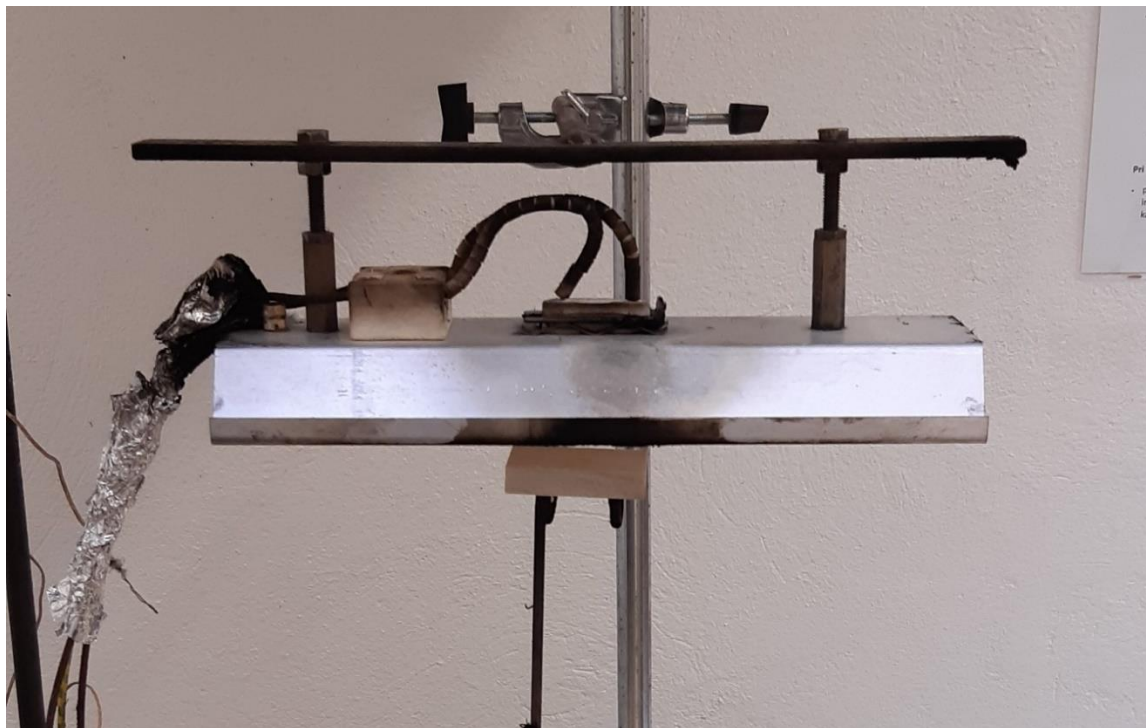
Příloha 1 Fotky průběhu hoření zkušebních vzorků

Příloha 2 Naměřené hodnoty úbytku hmotnosti zkušebních vzorků

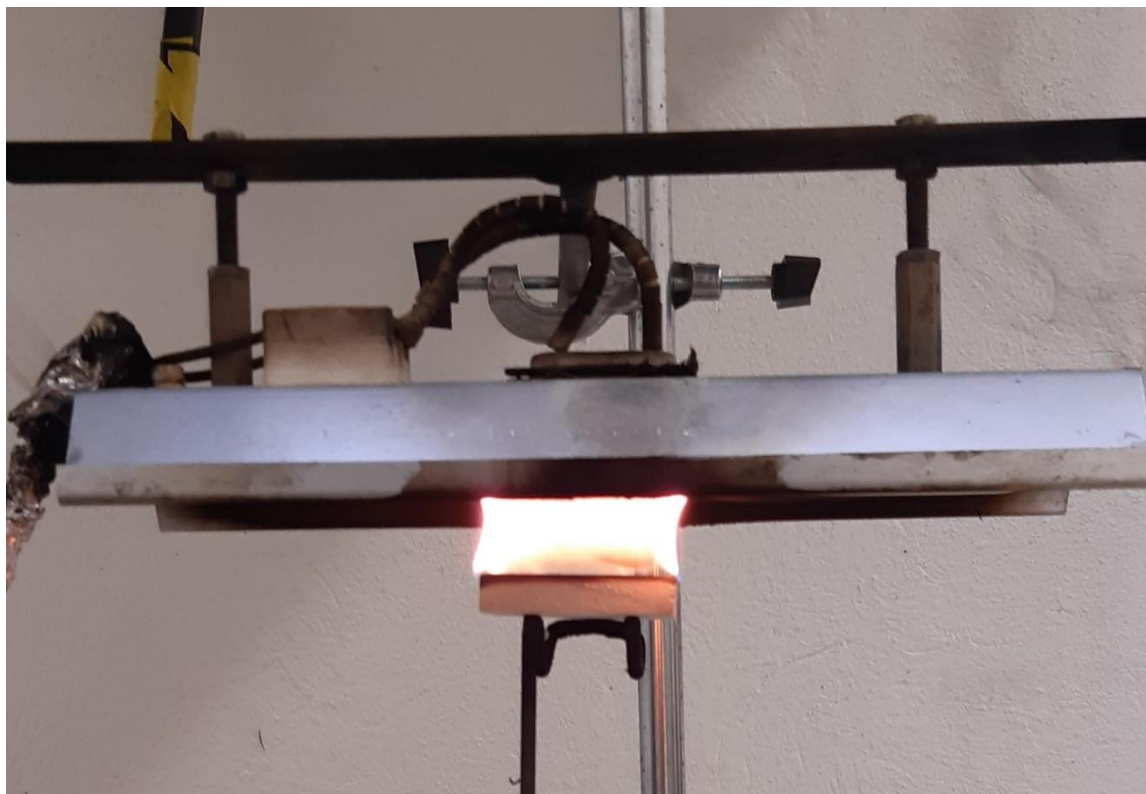
## 10 PŘÍLOHY

### 10.1 PŘÍLOHA 1 FOTKY PRŮBĚHU HOŘENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

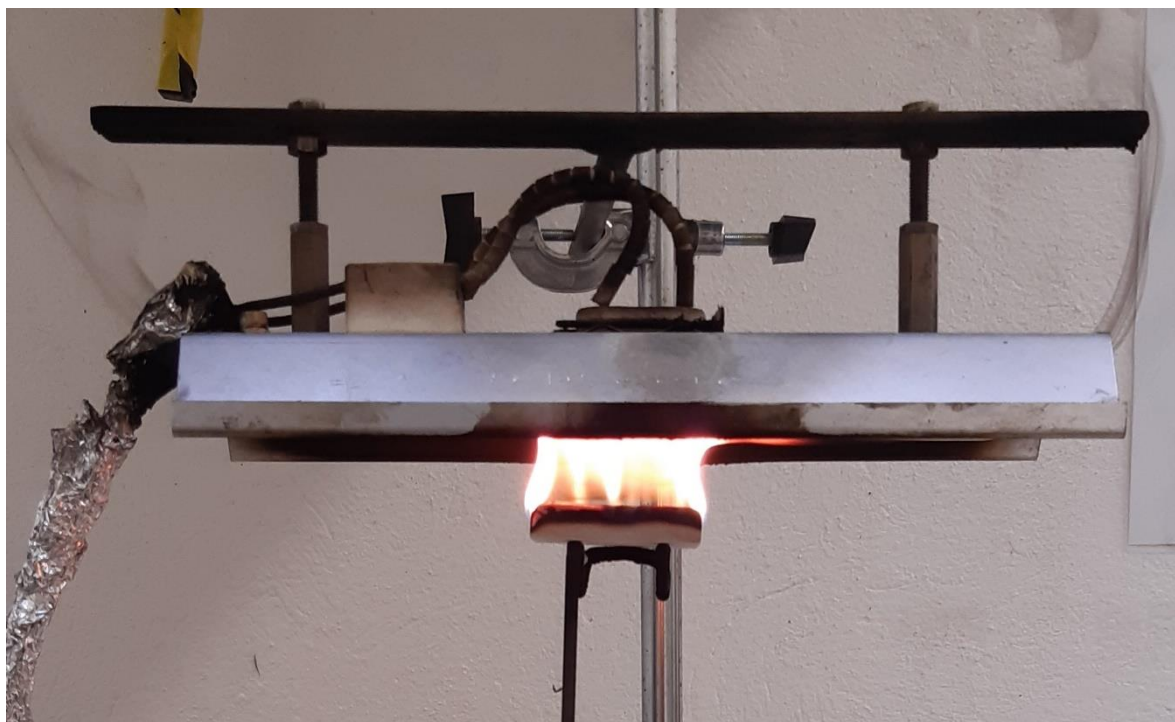
Zkušební vzorek před působením tepelného zdroje



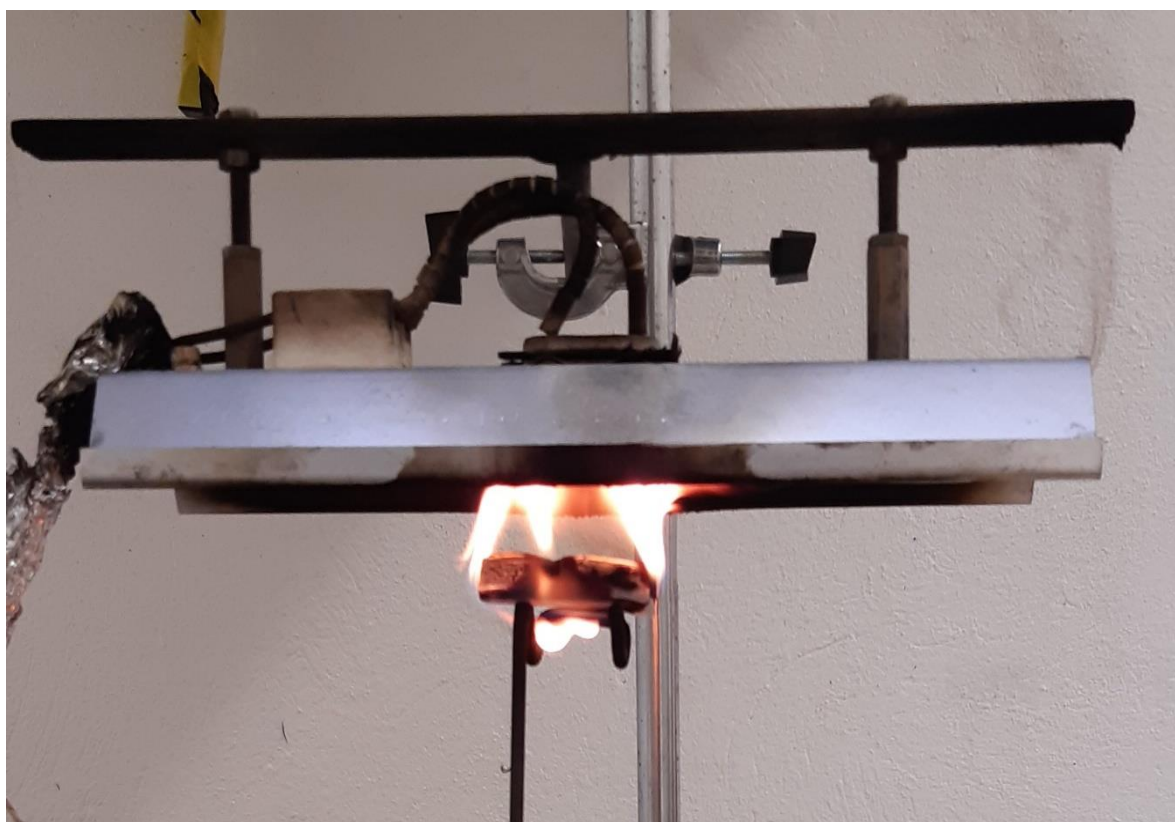
Zkušební vzorek v 1. fázi hoření



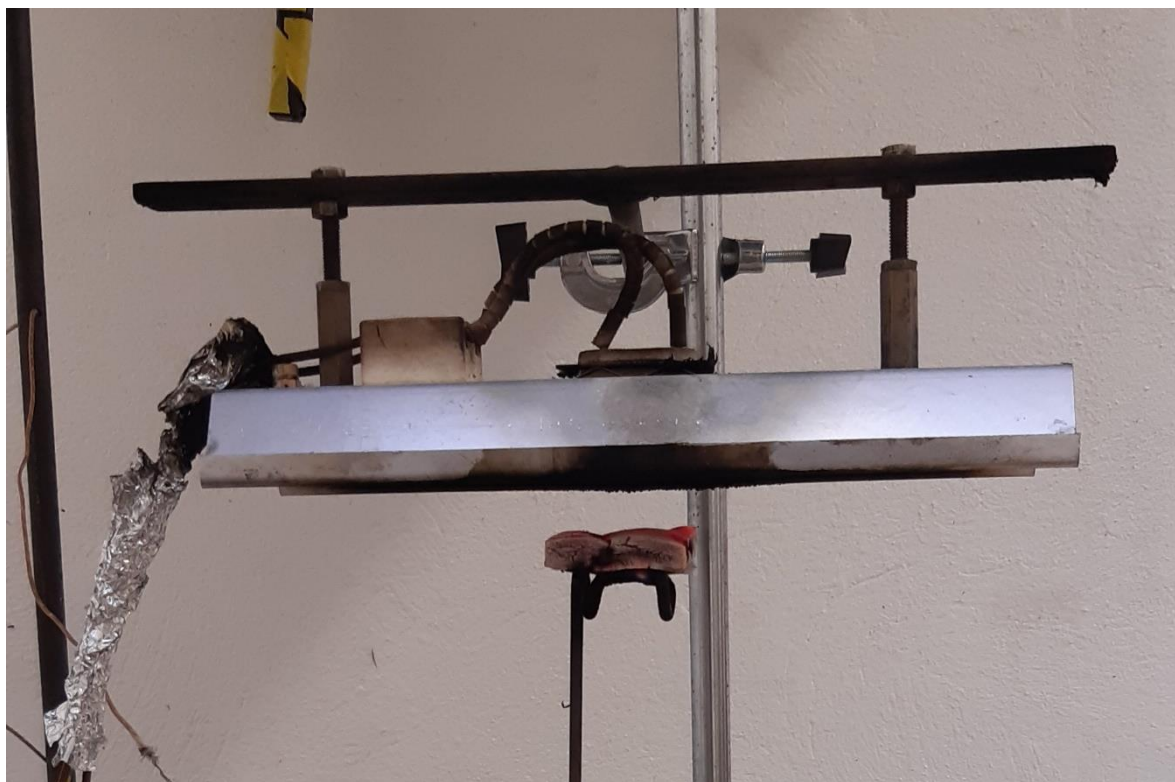
Zkušební vzorek v 2. fázi hoření, zde dochází k viditelné termické degradaci



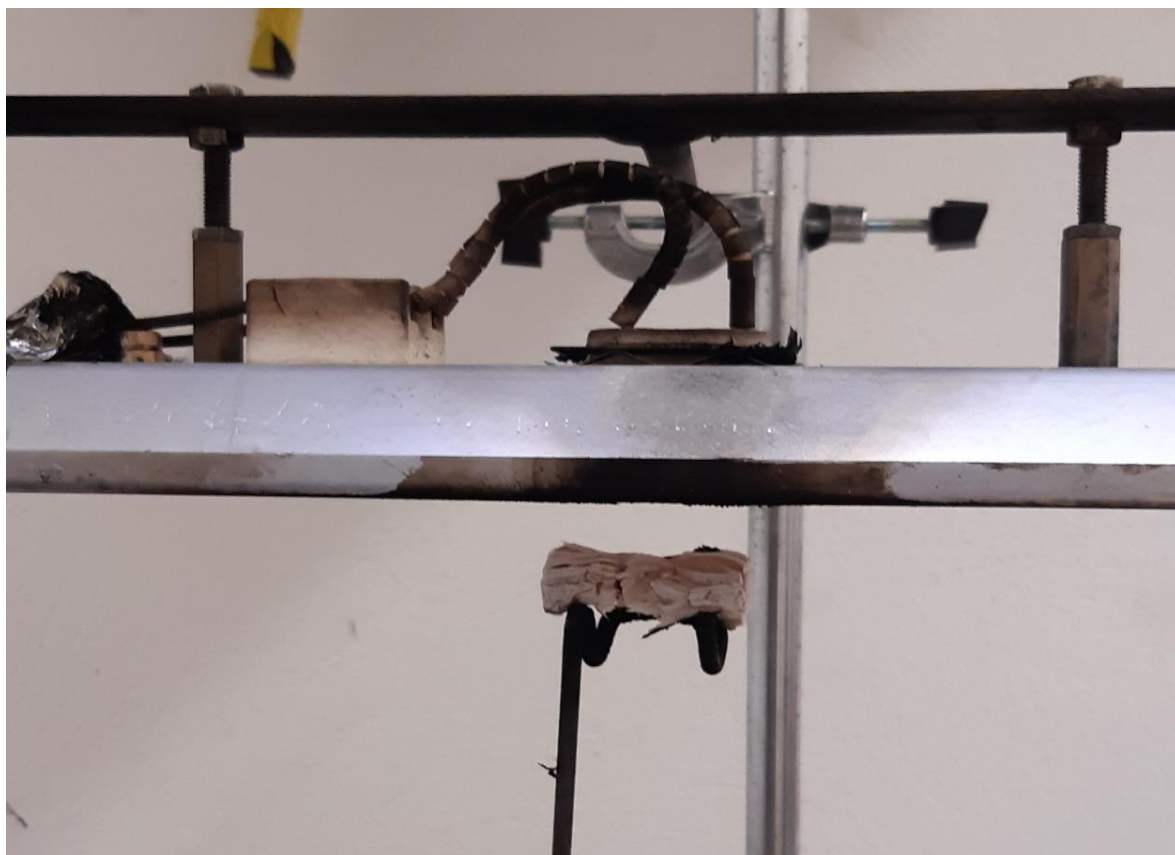
Celkové vzplanutí zkušební vzorku



Stále žhavý zkušební vzorek, avšak plamen se pomalu ztrácí



Absence plamene, avšak zkušební vzorek stále ubývá na hmotnosti



Porovnání vzorků č. 5;6 a 7 před působením tepelného zdroje a termicky zdegradovaných vzorků



Porovnání vzorku č.3 před působením tepelného zdroje a termicky zdegradovaného vzorku



Porovnání všech 6 ti termicky zdegradovaných vzorků



## 10.2 PŘÍLOHA 2 NAMĚŘENÉ HODNOTY ÚBYTKU HMOTNOSTI ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

(pozn.: u vzorku č. 6 nebyly naměřeny všechny údaje z důvodu selhání zapisovacího programu RLAB)

Vzorky	1	2	3	4	5	6
Čas [s]	Hmotnost [g]					
0	7,63	8,66	7,74	9,99	8,14	9,5
1	7,63	8,66	7,74	9,99	8,14	9,43
2	7,63	8,65	7,74	9,99	8,14	9,38
3	7,62	8,65	7,74	9,99	8,14	9,34
4	7,62	8,65	7,74	9,99	8,14	8,84
5	7,62	8,65	7,74	9,99	8,14	8,65
6	7,62	8,65	7,74	9,99	8,14	7,71
7	7,62	8,65	7,74	9,99	8,14	7,55
8	7,62	8,65	7,74	9,99	8,14	7,18
9	7,62	8,65	7,74	9,99	8,14	7,03
10	7,62	8,65	7,74	9,99	8,14	6,85
11	7,62	8,65	7,74	9,98	8,14	6,7
12	7,62	8,64	7,74	9,98	8,14	6,5
13	7,62	8,64	7,73	9,98	8,14	6,39
14	7,61	8,64	7,73	9,98	8,13	6,26
15	7,61	8,64	7,73	9,98	8,13	6,15
16	7,61	8,64	7,73	9,97	8,13	6,04
17	7,61	8,63	7,73	9,97	8,13	5,95
18	7,6	8,63	7,72	9,97	8,13	5,85
19	7,6	8,63	7,72	9,96	8,12	5,75
20	7,6	8,63	7,72	9,96	8,12	5,63
21	7,6	8,62	7,72	9,96	8,12	5,43
22	7,59	8,62	7,71	9,95	8,11	5,31
23	7,59	8,62	7,71	9,95	8,11	4,75
24	7,59	8,61	7,71	9,94	8,1	4,64
25	7,58	8,61	7,7	9,94	8,1	4,51
26	7,58	8,61	7,7	9,94	8,1	4,08
27	7,58	8,6	7,7	9,93	8,09	3,99
28	7,57	8,6	7,69	9,93	8,08	3,95
29	7,57	8,59	7,69	9,92	8,07	3,9
30	7,56	8,59	7,69	9,92	8,06	3,71
31	7,56	8,59	7,68	9,91	8,05	3,22
32	7,55	8,58	7,68	9,91	8,03	3,22
33	7,55	8,57	7,67	9,9	8,02	3,2
34	7,55	8,56	7,66	9,9	8	3,16
35	7,54	8,55	7,65	9,89	7,97	3,01



36	7,53	8,53	7,63	9,89	7,95	2,96
37	7,53	8,52	7,62	9,88	7,92	2,93
38	7,52	8,5	7,6	9,87	7,89	2,89
39	7,5	8,48	7,57	9,85	7,85	2,82
40	7,49	8,46	7,55	9,84	7,82	2,79
41	7,47	8,43	7,53	9,82	7,78	2,76
42	7,45	8,4	7,5	9,8	7,75	2,72
43	7,43	8,37	7,47	9,77	7,7	2,57
44	7,41	8,34	7,43	9,75	7,66	2,54
45	7,38	8,3	7,4	9,72	7,62	2,42
46	7,36	8,26	7,37	9,69	7,58	2,4
47	7,33	8,22	7,32	9,65	7,54	2,38
48	7,29	8,18	7,29	9,62	7,5	2,35
49	7,26	8,14	7,25	9,58	7,46	2,31
50	7,23	8,1	7,21	9,54	7,43	2,29
51	7,19	8,06	7,17	9,5	7,38	2,22
52	7,15	8,02	7,13	9,46	7,35	2,17
53	7,11	7,98	7,1	9,41	7,32	
54	7,07	7,94	7,06	9,37	7,28	
55	7,04	7,9	7,02	9,33	7,25	
56	6,99	7,86	6,99	9,29	7,21	
57	6,96	7,82	6,95	9,24	7,18	
58	6,92	7,78	6,92	9,21	7,15	
59	6,89	7,75	6,88	9,17	7,11	
1 min	6,85	7,71	6,85	9,13	7,08	
1	6,81	7,67	6,81	9,09	7,05	
2	6,77	7,64	6,78	9,05	7,02	
3	6,74	7,6	6,74	9,01	6,99	
4	6,7	7,57	6,71	8,98	6,96	
5	6,66	7,53	6,68	8,94	6,93	
6	6,63	7,5	6,65	8,9	6,9	
7	6,6	7,47	6,61	8,87	6,86	
8	6,56	7,43	6,58	8,84	6,83	
9	6,52	7,4	6,55	8,8	6,81	
10	6,49	7,36	6,52	8,77	6,78	
11	6,46	7,33	6,49	8,74	6,74	
12	6,42	7,3	6,46	8,7	6,72	
13	6,38	7,27	6,43	8,67	6,69	
14	6,35	7,24	6,4	8,64	6,66	
15	6,32	7,21	6,36	8,61	6,63	
16	6,28	7,18	6,34	8,58	6,6	
17	6,24	7,14	6,31	8,54	6,57	
18	6,21	7,11	6,28	8,51	6,55	
19	6,18	7,08	6,25	8,48	6,52	
20	6,14	7,05	6,22	8,45	6,49	
21	6,11	7,02	6,19	8,41	6,46	

22	6,07	6,99	6,17	8,38	6,44
23	6,04	6,96	6,14	8,35	6,4
24	6	6,93	6,11	8,32	6,38
25	5,97	6,9	6,08	8,29	6,35
26	5,94	6,87	6,06	8,26	6,33
27	5,91	6,84	6,03	8,23	6,29
28	5,87	6,81	6	8,2	6,27
29	5,84	6,78	5,97	8,16	6,24
30	5,81	6,75	5,94	8,13	6,22
31	5,78	6,72	5,91	8,1	6,19
32	5,74	6,69	5,88	8,07	6,16
33	5,71	6,65	5,86	8,04	6,13
34	5,68	6,62	5,83	8,01	6,11
35	5,65	6,59	5,79	7,98	6,08
36	5,62	6,57	5,76	7,95	6,05
37	5,59	6,53	5,73	7,91	6,02
38	5,56	6,5	5,71	7,88	6
39	5,53	6,47	5,67	7,85	5,96
40	5,5	6,44	5,64	7,83	5,94
41	5,47	6,41	5,61	7,79	5,91
42	5,44	6,37	5,58	7,76	5,88
43	5,41	6,34	5,54	7,73	5,85
44	5,38	6,31	5,52	7,71	5,82
45	5,35	6,28	5,49	7,67	5,79
46	5,32	6,24	5,46	7,64	5,76
47	5,29	6,21	5,42	7,62	5,73
48	5,26	6,18	5,39	7,59	5,7
49	5,22	6,14	5,36	7,55	5,67
50	5,19	6,11	5,33	7,52	5,64
51	5,16	6,08	5,3	7,5	5,61
52	5,13	6,05	5,27	7,47	5,58
53	5,1	6,01	5,25	7,44	5,55
54	5,07	5,98	5,22	7,41	5,52
55	5,04	5,94	5,19	7,38	5,49
56	5,01	5,91	5,16	7,35	5,46
57	4,97	5,87	5,13	7,32	5,43
58	4,94	5,84	5,11	7,29	5,4
59	4,91	5,81	5,07	7,26	5,38
2 min	4,88	5,77	5,05	7,23	5,35
1	4,84	5,74	5,02	7,2	5,32
2	4,81	5,71	5	7,17	5,29
3	4,78	5,67	4,97	7,15	5,26
4	4,75	5,64	4,94	7,12	5,23
5	4,72	5,61	4,91	7,09	5,2
6	4,69	5,58	4,89	7,06	5,18
7	4,66	5,54	4,86	7,03	5,15

8	4,63	5,51	4,83	7,01	5,12
9	4,59	5,48	4,81	6,97	5,09
10	4,56	5,45	4,78	6,95	5,06
11	4,53	5,41	4,75	6,92	5,03
12	4,5	5,38	4,73	6,9	5
13	4,47	5,35	4,7	6,86	4,97
14	4,44	5,32	4,68	6,84	4,95
15	4,41	5,29	4,65	6,81	4,92
16	4,38	5,26	4,62	6,78	4,89
17	4,35	5,22	4,6	6,75	4,86
18	4,32	5,19	4,58	6,73	4,84
19	4,29	5,16	4,55	6,7	4,81
20	4,26	5,12	4,52	6,67	4,79
21	4,23	5,09	4,5	6,64	4,76
22	4,2	5,06	4,48	6,62	4,74
23	4,17	5,02	4,45	6,59	4,71
24	4,14	4,99	4,42	6,56	4,68
25	4,11	4,96	4,4	6,53	4,66
26	4,08	4,93	4,38	6,51	4,64
27	4,05	4,89	4,35	6,48	4,61
28	4,02	4,86	4,33	6,45	4,58
29	3,99	4,83	4,31	6,42	4,56
30	3,96	4,79	4,29	6,39	4,54
31	3,94	4,76	4,26	6,37	4,51
32	3,91	4,73	4,24	6,34	4,48
33	3,88	4,7	4,22	6,31	4,46
34	3,85	4,66	4,2	6,29	4,44
35	3,82	4,63	4,17	6,26	4,41
36	3,79	4,59	4,15	6,23	4,38
37	3,76	4,56	4,13	6,2	4,36
38	3,73	4,52	4,11	6,17	4,34
39	3,7	4,49	4,09	6,15	4,31
40	3,67	4,46	4,07	6,12	4,29
41	3,64	4,43	4,05	6,09	4,26
42	3,61	4,39	4,03	6,07	4,24
43	3,58	4,35	4,01	6,04	4,22
44	3,55	4,32	3,99	6,02	4,19
45	3,52	4,29	3,97	5,99	4,17
46	3,48	4,25	3,95	5,96	4,15
47	3,45	4,22	3,93	5,94	4,13
48	3,42	4,18	3,91	5,91	4,1
49	3,38	4,15	3,89	5,89	4,08
50	3,34	4,11	3,87	5,86	4,06
51	3,31	4,08	3,85	5,84	4,03
52	3,27	4,05	3,83	5,81	4,01
53	3,23	4,01	3,81	5,78	3,99

54	3,19	3,97	3,79	5,76	3,96
55	3,15	3,94	3,77	5,73	3,94
56	3,11	3,91	3,75	5,71	3,92
57	3,06	3,87	3,73	5,68	3,9
58	3,02	3,83	3,72	5,65	3,88
59	2,98	3,8	3,7	5,63	3,85
3 min	2,94	3,76	3,68	5,6	3,83
1	2,89	3,72	3,66	5,57	3,81
2	2,84	3,68	3,65	5,54	3,79
3	2,8	3,64	3,63	5,51	3,76
4	2,76	3,6	3,61	5,48	3,74
5	2,7	3,56	3,6	5,44	3,72
6	2,66	3,51	3,58	5,41	3,7
7	2,62	3,47	3,56	5,38	3,67
8	2,57	3,43	3,55	5,35	3,65
9	2,52	3,38	3,53	5,32	3,62
10	2,47	3,33	3,52	5,29	3,6
11	2,43	3,28	3,5	5,26	3,58
12	2,38	3,23	3,49	5,23	3,55
13	2,33	3,18	3,47	5,19	3,53
14	2,29	3,12	3,46	5,16	3,5
15	2,24	3,07	3,44	5,13	3,48
16	2,2	3,02	3,43	5,1	3,45
17	2,15	2,97	3,41	5,06	3,43
18	2,11	2,91	3,4	5,04	3,4
19	2,07	2,85	3,38	5,01	3,38
20	2,03	2,8	3,37	4,98	3,35
21	1,98	2,74	3,35	4,94	3,33
22	1,95	2,68	3,34	4,91	3,3
23	1,91	2,62	3,32	4,88	3,28
24	1,88	2,57	3,31	4,86	3,25
25	1,84	2,51	3,29	4,82	3,22
26	1,81	2,45	3,28	4,8	3,19
27	1,78	2,39	3,26	4,77	3,17
28	1,75	2,34	3,25	4,74	3,14
29	1,71	2,29	3,24	4,71	3,11
30	1,69	2,23	3,22	4,68	3,08
31	1,66	2,18	3,21	4,65	3,05
32	1,64	2,13	3,19	4,63	3,02
33	1,61	2,09	3,18	4,6	2,99
34	1,59	2,04	3,17	4,57	2,97
35	1,58	2	3,16	4,54	2,94
36	1,56	1,96	3,14	4,51	2,9
37	1,54	1,92	3,13	4,49	2,87
38	1,52	1,89	3,12	4,46	2,84
39	1,51	1,86	3,11	4,43	2,81

40	1,5	1,83	3,09	4,4	2,77
41	1,48	1,8	3,08	4,38	2,74
42	1,47	1,77	3,07	4,35	2,71
43	1,46	1,75	3,06	4,32	2,68
44	1,45	1,73	3,04	4,3	2,64
45	1,43	1,71	3,03	4,27	2,6
46	1,43	1,69	3,02	4,24	2,57
47	1,42	1,68	3,01	4,21	2,53
48	1,41	1,66	2,99	4,19	2,49
49	1,4	1,65	2,98	4,16	2,45
50	1,39	1,64	2,97	4,13	2,41
51	1,38	1,63	2,96	4,11	2,38
52	1,37	1,62	2,94	4,08	2,33
53	1,36	1,61	2,93	4,05	2,29
54	1,36	1,6	2,92	4,02	2,25
55	1,35	1,59	2,91	4	2,22
56	1,34	1,58	2,89	3,97	2,17
57	1,33	1,58	2,88	3,94	2,14
58	1,33	1,57	2,87	3,91	2,1
59	1,32	1,56	2,86	3,88	2,06
4 min	1,32	1,55	2,84	3,85	2,02
1	1,31	1,55	2,83	3,82	1,99
2	1,3	1,54	2,82	3,78	1,95
3	1,3	1,53	2,81	3,75	1,92
4	1,29	1,53	2,8	3,71	1,89
5	1,29	1,52	2,79	3,68	1,86
6	1,28	1,52	2,78	3,64	1,83
7	1,28	1,51	2,77	3,6	1,8
8	1,27	1,51	2,75	3,56	1,77
9	1,26	1,5	2,74	3,52	1,75
10	1,26	1,49	2,73	3,47	1,72
11	1,26	1,49	2,72	3,43	1,7
12	1,25	1,48	2,71	3,39	1,68
13	1,24	1,47	2,7	3,34	1,66
14	1,24	1,47	2,69	3,29	1,64
15	1,23	1,46	2,68	3,24	1,62
16	1,23	1,46	2,66	3,19	1,6
17	1,23	1,45	2,65	3,14	1,59
18	1,22	1,45	2,64	3,08	1,57
19	1,22	1,44	2,63	3,03	1,56
20	1,21	1,44	2,62	2,98	1,55
21	1,21	1,43	2,61	2,93	1,53
22	1,2	1,43	2,6	2,88	1,52
23	1,2	1,42	2,59	2,83	1,51
24	1,19	1,42	2,58	2,78	1,5
25	1,19	1,41	2,57	2,73	1,49

26	1,18	1,41	2,55	2,67	1,48
27	1,18	1,4	2,54	2,63	1,47
28	1,17	1,4	2,53	2,58	1,46
29	1,17	1,4	2,52	2,54	1,45
30	1,16	1,39	2,51	2,5	1,45
31	1,16	1,39	2,5	2,46	1,44
32	1,15	1,38	2,49	2,42	1,43
33	1,15	1,38	2,48	2,39	1,42
34	1,15	1,37	2,47	2,35	1,42
35	1,14	1,37	2,46	2,32	1,41
36	1,14	1,37	2,45	2,29	1,4
37	1,13	1,36	2,44	2,26	1,4
38	1,13	1,36	2,44	2,23	1,39
39	1,12	1,35	2,43	2,21	1,39
40	1,12	1,35	2,42	2,19	1,38
41	1,12	1,34	2,41	2,17	1,38
42	1,11	1,34	2,4	2,15	1,37
43	1,11	1,34	2,39	2,13	1,37
44	1,11	1,33	2,38	2,11	1,36
45	1,1	1,33	2,37	2,1	1,36
46	1,1	1,32	2,36	2,08	1,35
47	1,09	1,32	2,35	2,07	1,35
48	1,09	1,32	2,34	2,05	1,34
49	1,09	1,31	2,34	2,04	1,34
50	1,08	1,31	2,33	2,03	1,33
51	1,08	1,3	2,32	2,02	1,33
52	1,07	1,3	2,31	2	1,32
53	1,07	1,3	2,3	1,99	1,32
54	1,07	1,29	2,29	1,98	1,31
55	1,06	1,29	2,28	1,97	1,31
56	1,06	1,28	2,27	1,96	1,3
57	1,06	1,28	2,27	1,95	1,3
58	1,05	1,28	2,26	1,94	1,29
59	1,05	1,27	2,25	1,93	1,29
5 min	1,05	1,27	2,24	1,92	1,28
1	1,04	1,26	2,23	1,91	1,28
2	1,04	1,26	2,22	1,9	1,28
3	1,03	1,26	2,22	1,89	1,27
4	1,03	1,25	2,21	1,88	1,27
5	1,03	1,25	2,2	1,88	1,26
6	1,02	1,25	2,19	1,87	1,26
7	1,02	1,24	2,19	1,86	1,26
8	1,02	1,24	2,18	1,85	1,25
9	1,01	1,23	2,17	1,85	1,25
10	1,01	1,23	2,16	1,84	1,24
11	1,01	1,23	2,16	1,83	1,24

12	1	1,22	2,15	1,83	1,24
13	1	1,22	2,14	1,82	1,23
14	1	1,21	2,13	1,81	1,23
15	0,99	1,21	2,13	1,81	1,23
16	0,99	1,21	2,12	1,8	1,22
17	0,99	1,2	2,11	1,8	1,22
18	0,98	1,2	2,1	1,79	1,22
19	0,98	1,2	2,1	1,78	1,21
20	0,98	1,19	2,09	1,78	1,21
21	0,98	1,19	2,08	1,77	1,21
22	0,97	1,18	2,07	1,77	1,2
23	0,97	1,18	2,07	1,76	1,2
24	0,97	1,18	2,06	1,76	1,19
25	0,96	1,17	2,05	1,75	1,19
26	0,96	1,17	2,04	1,75	1,19
27	0,96	1,17	2,04	1,74	1,18
28	0,95	1,16	2,03	1,74	1,18
29	0,95	1,16	2,02	1,73	1,18
30	0,95	1,16	2,01	1,73	1,17
31	0,94	1,15	2,01	1,72	1,17
32	0,94	1,15	2	1,72	1,17
33	0,94	1,15	1,99	1,71	1,16
34	0,93	1,14	1,98	1,71	1,16
35	0,93	1,14	1,98	1,7	1,16
36	0,93	1,14	1,97	1,7	1,15
37	0,92	1,13	1,96	1,69	1,15
38	0,92	1,13	1,96	1,69	1,15
39	0,92	1,13	1,95	1,68	1,14
40	0,91	1,12	1,94	1,68	1,14
41	0,91	1,12	1,93	1,68	1,14
42	0,91	1,12	1,93	1,67	1,14
43	0,9	1,12	1,92	1,67	1,13
44	0,9	1,11	1,91	1,66	1,13
45	0,9	1,11	1,91	1,66	1,13
46	0,89	1,11	1,9	1,65	1,12
47	0,89	1,1	1,9	1,65	1,12
48	0,89	1,1	1,89	1,64	1,12
49	0,89	1,1	1,88	1,64	1,11
50	0,88	1,09	1,88	1,63	1,11
51	0,88	1,09	1,87	1,63	1,11
52	0,88	1,09	1,86	1,63	1,11
53	0,87	1,08	1,86	1,62	1,1
54	0,87	1,08	1,85	1,62	1,1
55	0,87	1,08	1,85	1,61	1,1
56	0,87	1,07	1,84	1,61	1,09
57	0,86	1,07	1,83	1,61	1,09

58	0,86	1,07	1,83	1,6	1,09
59	0,86	1,06	1,82	1,6	1,08
6 min	0,85	1,06	1,81	1,59	1,08
1	0,85	1,06	1,81	1,59	1,08
2	0,85	1,05	1,8	1,59	1,08
3	0,84	1,05	1,8	1,58	1,07
4	0,84	1,05	1,79	1,58	1,07
5	0,84	1,04	1,79	1,57	1,07
6	0,84	1,04	1,78	1,57	1,07
7	0,83	1,03	1,78	1,57	1,06
8	0,83	1,03	1,77	1,56	1,06
9	0,83	1,02	1,76	1,56	1,06
10	0,83	1,02	1,76	1,56	1,05
11	0,82	1,02	1,75	1,55	1,05
12	0,82	1,01	1,75	1,55	1,05
13	0,82	1,01	1,74	1,54	1,04
14	0,81	1,01	1,74	1,54	1,04
15	0,81	1	1,73	1,54	1,04
16	0,81	1	1,72	1,53	1,03
17	0,81	1	1,72	1,53	1,03
18	0,8	1	1,72	1,53	1,03
19	0,8	0,99	1,71	1,52	1,02
20	0,8	0,99	1,7	1,52	1,02
21	0,79	0,99	1,7	1,51	1,02
22	0,79	0,99	1,69	1,51	1,01
23	0,79	0,99	1,69	1,51	1,01
24	0,79	0,98	1,68	1,5	1,01
25	0,78	0,98	1,68	1,5	1,01
26	0,78	0,98	1,67	1,5	1
27	0,77	0,98	1,67	1,49	1
28	0,77	0,97	1,66	1,49	1
29	0,77	0,97	1,66	1,48	0,99
30	0,77	0,97	1,65	1,48	0,99
31	0,76	0,97	1,65	1,48	0,99
32	0,76	0,96	1,64	1,47	0,99
33	0,76	0,96	1,64	1,47	0,98
34	0,75	0,96	1,63	1,47	0,98
35	0,75	0,96	1,63	1,46	0,98
36	0,75	0,95	1,62	1,46	0,98
37	0,75	0,95	1,62	1,46	0,97
38	0,74	0,95	1,61	1,45	0,97
39	0,74	0,94	1,61	1,45	0,97
40	0,74	0,94	1,6	1,45	0,97
41	0,73	0,94	1,6	1,44	0,97
42	0,73	0,94	1,59	1,44	0,96
43	0,73	0,93	1,59	1,44	0,96



44	0,73	0,93	1,58	1,43	0,96
45	0,72	0,93	1,58	1,43	0,96
46	0,72	0,92	1,57	1,43	0,95
47	0,72	0,92	1,57	1,42	0,95
48	0,72	0,92	1,57	1,42	0,95
49	0,71	0,91	1,56	1,42	0,94
50	0,71	0,91	1,56	1,41	0,94
51	0,71	0,91	1,55	1,41	0,94
52	0,7	0,91	1,55	1,41	0,94
53	0,7	0,9	1,54	1,4	0,93
54	0,7	0,9	1,54	1,4	0,93
55	0,7	0,9	1,54	1,4	0,93
56	0,69	0,89	1,53	1,39	0,93
57	0,69	0,89	1,53	1,39	0,93
58	0,69	0,89	1,52	1,39	0,92
59	0,69	0,89	1,52	1,38	0,92
7 min	0,68	0,88	1,52	1,38	0,92
1	0,68	0,88	1,51	1,37	0,92
2	0,68	0,88	1,51	1,37	0,92
3	0,67	0,88	1,5	1,37	0,91
4	0,67	0,87	1,5	1,36	0,91
5	0,67	0,87	1,49	1,36	0,91
6	0,67	0,87	1,49	1,36	0,91
7	0,66	0,86	1,49	1,35	0,9
8	0,66	0,86	1,48	1,35	0,9
9	0,66	0,86	1,48	1,35	0,9
10	0,66	0,86	1,47	1,34	0,9
11	0,66	0,85	1,47	1,34	0,89
12	0,65	0,85	1,47	1,34	0,89
13	0,65	0,85	1,46	1,33	0,89
14	0,65	0,85	1,46	1,33	0,88
15	0,65	0,84	1,45	1,33	0,88
16	0,65	0,84	1,45	1,33	0,88
17	0,64	0,84	1,45	1,32	0,88
18	0,64	0,84	1,44	1,32	0,87
19	0,64	0,83	1,44	1,32	0,87
20	0,64	0,83	1,44	1,31	0,87
21	0,63	0,83	1,43	1,31	0,87
22	0,63	0,83	1,43	1,31	0,86
23	0,63	0,82	1,43	1,31	0,86
24	0,62	0,82	1,43	1,3	0,86
25	0,62	0,82	1,42	1,3	0,86
26	0,62	0,81	1,42	1,3	0,85
27	0,61	0,81	1,42	1,29	0,85
28	0,61	0,81	1,41	1,29	0,85
29	0,61	0,81	1,41	1,29	0,85

30	0,61	0,8	1,4	1,29	0,84
31	0,6	0,8	1,4	1,28	0,84
32	0,6	0,8	1,4	1,28	0,84
33	0,6	0,8	1,39	1,28	0,84
34	0,6	0,79	1,39	1,27	0,83
35	0,59	0,79	1,39	1,27	0,83
36	0,59	0,79	1,38	1,27	0,83
37	0,59	0,79	1,38	1,26	0,83
38	0,59	0,78	1,38	1,26	0,82
39	0,58	0,78	1,37	1,26	0,82
40	0,58	0,78	1,37	1,25	0,82
41	0,58	0,78	1,37	1,25	0,82
42	0,58	0,77	1,36	1,25	0,81
43	0,58	0,77	1,36	1,24	0,81
44	0,57	0,77	1,36	1,24	0,81
45	0,57	0,77	1,35	1,24	0,81
46	0,57	0,76	1,35	1,24	0,8
47	0,57	0,76	1,35	1,23	0,8
48	0,57	0,76	1,34	1,23	0,8
49	0,56	0,76	1,34	1,23	0,8
50	0,56	0,76	1,34	1,22	0,8
51	0,56	0,75	1,33	1,22	0,79
52	0,56	0,75	1,33	1,22	0,79
53	0,55	0,75	1,33	1,21	0,79
54	0,55	0,75	1,32	1,21	0,79
55	0,55	0,74	1,32	1,21	0,78
56	0,55	0,74	1,32	1,2	0,78
57	0,55	0,74	1,31	1,2	0,78
58	0,54	0,74	1,31	1,2	0,78
59	0,54	0,73	1,31	1,19	0,77
8 min	0,54	0,73	1,31	1,19	0,77
1	0,54	0,73	1,3	1,19	0,77
2	0,53	0,73	1,3	1,18	0,77
3	0,53	0,72	1,29	1,18	0,77
4	0,53	0,72	1,29	1,18	0,76
5	0,53	0,72	1,29	1,18	0,76
6	0,52	0,72	1,29	1,17	0,76
7	0,52	0,71	1,28	1,17	0,76
8	0,52	0,71	1,28	1,17	0,76
9	0,52	0,71	1,28	1,17	0,75
10	0,52	0,71	1,27	1,16	0,75
11	0,51	0,7	1,27	1,16	0,75
12	0,51	0,7	1,27	1,16	0,75
13	0,51	0,7	1,27	1,15	0,75
14	0,51	0,7	1,26	1,15	0,74
15	0,5	0,69	1,26	1,15	0,74

16	0,5	0,69	1,26	1,15	0,74
17	0,5	0,69	1,25	1,14	0,74
18	0,5	0,69	1,25	1,14	0,74
19	0,49	0,69	1,25	1,14	0,74
20	0,49	0,68	1,25	1,14	0,73
21	0,49	0,68	1,24	1,13	0,73
22	0,49	0,68	1,24	1,13	0,73
23	0,49	0,68	1,24	1,13	0,73
24	0,48	0,67	1,24	1,12	0,72
25	0,48	0,67	1,23	1,12	0,72
26	0,48	0,67	1,23	1,12	0,72
27	0,48	0,67	1,23	1,12	0,72
28	0,48	0,66	1,22	1,11	0,72
29	0,47	0,66	1,22	1,11	0,71
30	0,47	0,66	1,22	1,11	0,71
31	0,47	0,66	1,22	1,11	0,71
32	0,47	0,66	1,21	1,1	0,71
33	0,46	0,65	1,21	1,1	0,71
34	0,46	0,65	1,21	1,1	0,7
35	0,46	0,65	1,2	1,09	0,7
36	0,46	0,65	1,2	1,09	0,7
37	0,46	0,64	1,2	1,09	0,7
38	0,45	0,64	1,2	1,09	0,69
39	0,45	0,64	1,19	1,08	0,69
40	0,45	0,64	1,19	1,08	0,69
41	0,45	0,64	1,19	1,08	0,69
42	0,44	0,63	1,19	1,08	0,69
43	0,44	0,63	1,18	1,07	0,68
44	0,44	0,63	1,18	1,07	0,68
45	0,44	0,63	1,18	1,07	0,68
46	0,43	0,62	1,18	1,07	0,68
47	0,43	0,62	1,17	1,06	0,68
48	0,43	0,62	1,17	1,06	0,67
49	0,43	0,62	1,17	1,06	0,67
50	0,43	0,62	1,16	1,06	0,67
51	0,42	0,61	1,16	1,06	0,67
52	0,42	0,61	1,16	1,05	0,67
53	0,42	0,61	1,16	1,05	0,66
54	0,42	0,61	1,15	1,05	0,66
55	0,42	0,61	1,15	1,04	0,66
56	0,41	0,6	1,15	1,04	0,66
57	0,41	0,6	1,15	1,04	0,65
58	0,41	0,6	1,14	1,04	0,65
59	0,41	0,6	1,14	1,03	0,65
9 min	0,41	0,59	1,14	1,03	0,65
1	0,4	0,59	1,13	1,03	0,65

2	0,4	0,59	1,13	1,02	0,64
3	0,4	0,59	1,13	1,02	0,64
4	0,4	0,59	1,13	1,02	0,64
5	0,4	0,58	1,12	1,02	0,64
6	0,39	0,58	1,12	1,01	0,63
7	0,39	0,58	1,12	1,01	0,63
8	0,39	0,58	1,12	1,01	0,63
9	0,39	0,58	1,12	1,01	0,63
10	0,38	0,57	1,11	1	0,63
11	0,38	0,57	1,11	1	0,63
12	0,38	0,57	1,11	1	0,63
13	0,38	0,57	1,11	1	0,63
14	0,37	0,57	1,1	0,99	0,63
15	0,37	0,56	1,1	0,99	0,62
16	0,37	0,56	1,1	0,99	0,62
17	0,37	0,56	1,1	0,99	0,62
18	0,36	0,56	1,09	0,98	0,62
19	0,36	0,55	1,09	0,98	0,62
20	0,36	0,55	1,09	0,98	0,62
21	0,36	0,55	1,09	0,98	0,62
22	0,36	0,55	1,09	0,98	0,61
23	0,35	0,54	1,08	0,97	0,61
24	0,35	0,54	1,08	0,97	0,61
25	0,35	0,54	1,08	0,97	0,61
26	0,35	0,54	1,08	0,97	0,61
27	0,35	0,54	1,07	0,96	0,6
28	0,35	0,53	1,07	0,96	0,6
29	0,35	0,53	1,07	0,96	0,6
30	0,34	0,53	1,07	0,96	0,6
31	0,34	0,53	1,07	0,95	0,6
32	0,34	0,53	1,06	0,95	0,59
33	0,34	0,52	1,06	0,95	0,59
34	0,34	0,52	1,06	0,95	0,59
35	0,34	0,52	1,06	0,94	0,59
36	0,33	0,52	1,06	0,94	0,59
37	0,33	0,52	1,05	0,94	0,59
38	0,33	0,51	1,05	0,94	0,58
39	0,33	0,51	1,05	0,93	0,58
40	0,33	0,51	1,05	0,93	0,58
41	0,33	0,51	1,05	0,93	0,58
42	0,32	0,51	1,04	0,93	0,58
43	0,32	0,51	1,04	0,93	0,58
44	0,32	0,5	1,04	0,92	0,57
45	0,32	0,5	1,04	0,92	0,57
46	0,32	0,5	1,03	0,92	0,57
47	0,31	0,5	1,03	0,92	0,57

48	0,31	0,5	1,03	0,91	0,57	
49	0,31	0,49	1,03	0,91	0,56	
50	0,31	0,49	1,02	0,91	0,56	
51	0,31	0,49	1,02	0,91	0,56	
52	0,3	0,49	1,02	0,9	0,56	
53	0,3	0,49	1,02	0,9	0,56	
54	0,3	0,49	1,01	0,9	0,55	
55	0,3	0,48	1,01	0,9	0,55	
56	0,3	0,48	1,01	0,89	0,55	
57	0,29	0,48	1,01	0,89	0,55	
58	0,29	0,48	1	0,89	0,55	
59	0,29	0,48	1	0,89	0,55	
10 min	0,28	0,47	1	0,89	0,54	