

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

**Diplomová práce**

**SAMOVZNÍCENÍ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ  
VE VZTAHU K POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI  
KOMÍNŮ**

SELF-IGNITION OF TIMBER STRUCTURES IN RELATION TO FIRE  
SAFETY OF CHIMNEYS

Bc. Michal Fabián

vedoucí práce: Ing. Marek Pokorný, Ph.D.

2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Fabián Jméno: Michal Osobní číslo: 437980  
Zadávající katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Integrální bezpečnost staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Samovznícení dřevěných konstrukcí ve vztahu k požární bezpečnosti komínů

Název diplomové práce anglicky: Self-ignition of timber structures in relation to fire safety of chimneys

Pokyny pro vypracování:

- 1/ Stav poznání v oblasti složení a tepelné degradace dřeva
- 2/ Analýza českých technických norem pro komínové systémy s ohledem na požární bezpečnost staveb
- 3/ Případové studie závažných požárů staveb od komínů
- 4/ Technické řešení místa prostupu komínu hořlavou konstrukcí
- 5/ Návrh, příprava, realizace a vyhodnocení experimentu se zaměřením na tepelnou degradaci a hoření dřeva
- 6/ Doporučení pro navazující výzkum

Seznam doporučené literatury:

- [1] BABRAUSKAS, Vytenis. Ignition handbook: principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management and forensic science. Issaquah, Wash: Fire Science Publishers, 2003. ISBN 978-0-9728111-3-2.
- [2] KAČÍKOVÁ, Danica, Miroslava NETOPILOVÁ a Anton OSVALD. Dřevo a jeho termická degradácia. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006. ISBN 978-80-86634-78-4.
- [3] HEJTMÁNEK, Petr, Hana NAJMANOVÁ a Libor ŠEVČÍK. Rychlost uvolňování tepla jako parametr pro hodnocení chování materiálů při požáru. iMateriály.cz [online]. 3. září 201
- [4] ČSN EN 1443 - Komíny - Všeobecné požadavky

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Marek Pokorný, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 24.9.2019 Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

26. 9. 2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Michal Fabián

Název diplomové práce: Samovznícení dřevěných konstrukcí ve vztahu k požární bezpečnosti komínů

Základní část: Samovznícení dřevěných konstrukcí ve vztahu k požární bezpečnosti komínů podíl: 100 %

Formulace úkolů: 1/ Stav poznání v oblasti složení a tepelné degradace dřeva; 2/ Analýza českých technických norem pro komínové systémy s ohledem na požární bezpečnost staveb; 3/ Případové studie závažných požárů staveb od komínů; 4/ Technické řešení místa prostupu komínu hořlavou konstrukcí; 5/ Návrh, příprava, realizace a vyhodnocení experimentu se zaměřením na tepelnou degradaci dřeva a proce hoření; 6/ Doporučení pro navazující výzkum

Podpis vedoucího DP: .....

Datum: 24.9.2019

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: .....

Datum: .....

3. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: .....

Datum: .....

4. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: .....

Datum: .....

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pod odborným vedením Ing. Marka Pokorného, Ph.D., a s použitím zdrojů uvedených v seznamu literatury.

Nemám námitek pro proti použití tohoto školního díla ve smyslu §60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 5. 1. 2020

.....

Bc. Michal Fabián

## **Poděkování**

Prostřednictvím této diplomové práce bych chtěl poděkovat několika osobám, které mi během mého vysokoškolského studia neskutečně pomohly, a bez kterých by tato práce nemusela vzniknout.

Především patří největší poděkování celé mé rodině, která mě nejvíce podporovala a pomáhala ve všech směrech při studiu. Dále bych chtěl velmi poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Marku Pokornému, Ph.D., za odborné vedení a pomoc při zpracování práce a poskytnutí prostoru pro experiment v požární laboratoři v UCEEB v Praze. Rovněž Ing. Walteru Sodomkovi mladšímu a Ing. Valtru Sodomkovi staršímu z firmy MESSY, s.r.o., za prvotní konzultaci a orientaci v problematice. Za poskytnutí konzultace, odborných a praktických materiálů ohledně řešeného tématu panu kpt. Bc. Danielu Mlčochovi, DiS., z MV-GŘ HZS ČR v Praze. V poslední řadě děkuji kpt. Ing. Václavu Vystrčilovi za odborné vedení při zkoušce v kónickém kalorimetru v TÚPO HZS ČR.

# Abstrakt

Diplomová práce poukazuje na problematiku uložení dřevěného prvku v blízkosti komínového tělesa v uzavřené hořlavé stavební konstrukci, kde je dřevěný prvek utěsněný, dlouhodobě tepelně degradovaný kumulovanou energií a existuje zde reálná možnost jeho samovznícení. K samovznícení často dochází po ukončení topné sezóny následkem kumulované energie. Práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část. V teoretické části jsou shrnuty poznatky ze současného stavu poznání, tzn. složení dřeva, jeho fyzikálních a mechanických vlastností, tepelných a požárních charakteristik, rizik tepelné degradace, rešerše legislativy a problematiky prostupů. Tato část je doplněna o konzultace s odborníky v oblasti komínových systémů a oblasti zjišťování příčin požárů Hasičského záchranného sboru České republiky. Experimentální část je rozdělena na dva experimenty. Experiment 1 se zaměřuje na dlouhodobou cyklickou tepelnou degradaci dřevěného prvku UV žárovkou, kdy jsou vytvořeny tři skupiny různě tepelně degradovaných vzorků smrkového dřeva. V experimentu 2 se tyto skupiny vzorků zkouší v kónickém kalorimetru a zkoumá se možnost a doba do vznícení. Dále se porovnávají jejich rychlosti uvolňování tepla a sleduje úbytek hmotnosti.

## Klíčová slova

Dřevo; komín; prostup konstrukcí; teplo; degradace; teplota; samovznícení; požár; kónický kalorimetr

# Abstract

The aim of the diploma thesis is to point out the problematics of the placement of a timber item not far from a chimney body in a closed flammable building construction. The timber item is nearly sealed, under a long-term thermal stress, lately degraded by accumulated heat. There is a real possibility of its self-ignition. Casually this happens after the end of the heating season, as the accumulation of the energy gets its peak. The work is divided to theoretical and experimental parts. Current knowledge of the problematics is summarized. In the theoretical part, furthermore the timber structure, its physical and mechanical characteristics, thermal and fire characteristics, the risks of the thermal degradation, legislation searches and the problematics of permeation are mentioned to necessary details. The experimental part covers two experiments. The first experiment focuses on long-term cyclic thermal degradation of a wooden item by a UV bulb. Three groups of variously degraded spruce pieces were set. The second experiment deals with reactions of the pieces on the heat in the conical calorimeter. The investigation also focuses on the possibility of the ignition as well as on the time to the ignition itself. The measuring of the speed of release of warmth and the decrease of weight is lately compared.

## Keywords

Timber; chimney; penetration of building structure; heat; degradation; temperature; self-ignition; fire; cone calorimeter

# Seznam použitých symbolů a zkratek

## Latinské symboly

|                                     |   |                   |
|-------------------------------------|---|-------------------|
| A                                   | Plocha  | m <sup>2</sup>    |
| T <sub>ign</sub> , t <sub>ign</sub> | Čas vznícení vzorku   | s                 |
| w <sub>abs</sub>                    | Absolutní vlhkost   | %                 |
| w <sub>rel</sub>                    | Relativní vlhkost   | %                 |
| T                                   | Teplota   | °C                |
| Δh <sub>c,eff</sub>                 | Efektivní výhřevnost  | MJ/kg             |
| m <sub>e</sub>                      | Koncová hmotnost  | g                 |
| m <sub>i</sub>                      | Počáteční hmotnost  | g                 |
| m <sub>0</sub>                      | Hmotnost vlhkého vzorku                                       | g                 |
| m <sub>1</sub>                      | Hmotnost suchého vzorku                                       | g                 |
| Q                                   | Množství uvolněného tepla z m <sup>2</sup> hořlavého výrobku  | kW/m <sup>2</sup> |
| q <sup>“</sup> <sub>180</sub>       | Průměrná hodnota rychlosti uvolňování tepla HRR po dobu 180 s | kW/m <sup>2</sup> |
| q <sup>“</sup> <sub>300</sub>       | Průměrná hodnota rychlosti uvolňování tepla HRR po dobu 300 s | kW/m <sup>2</sup> |
| q <sup>“</sup> <sub>celk</sub>      | Celkové uvolněné teplo  | MJ/m <sup>2</sup> |
| q <sup>“</sup> <sub>max</sub>       | Max. dosažená hodnota rychlosti uvolňování tepla HRR          | kW/m <sup>2</sup> |

## Řecké symboly

|                                    |                              |                   |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------|
| λ                                  | Součinitel tepelné vodivosti | W/(m×K)           |
| ρ                                  | Objemová hmotnost            | kg/m <sup>3</sup> |
| ω, ω <sub>0</sub> , ω <sub>1</sub> | Vlhkost                      | %                 |
| Δ                                  | Rozdíl                       | -                 |

## Zkratky

|           |  |
|-----------|--|
| HZS       | Hasičský záchranný sbor  |
| UCEEB     | Univerzitní centrum energeticky efektivních budov                        |
| MV-GŘ HZS | Ministerstvo vnitra – Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru |
| TÚPO      | Technický ústav požární ochrany  |

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| UV                             | ultrafialové (z angl. ultraviolet)  |
| PAVUS                          | Požární a výzkumný ústav stavební   |
| OSB                            | Lisovaná deska z orientovaných rozprostřených velkoplošných desek   |
| TGA                            | Termo-gravimetrická analýza   |
| DTA                            | Diferenční termická analýza   |
| HRR                            | Rychlost uvolňování tepla (z angl. „heat release rate“)   |
| THR                            | Celkové uvolněné teplo (z angl. „total heat rate“)  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | oxid hlinitý  |
| CO, CO <sub>2</sub>            | Oxid uhelnatý, oxid uhličitý  |
| DP1, DP2, DP3                  | Druh konstrukční části  |
| A1, A2, B–F                    | Třída reakce na oheň výrobků  |
| EI                             | Požární odolnost stavebních konstrukcí  |
| G                              | Odolnost proti vyhoření sazí v komíně   |
| d0                             | Doplňková klasifikace vyjadřující odkapávání plamenně hořících kapek (d0 – materiál neodkapává)               |
| s1, s2                         | Doplňková klasifikace vyjadřující intenzitu vývoje kouře (s1 – nízká tvorba kouře, s2 – střední tvorba kouře) |
| E0, E3, E5                     | Uzavřenost prostupu konstrukcí (z angl. „enclosure“)  |
| F1, F2                         | Podlaží (z angl. „flooring“)  |
| P0C, P1C, P3C                  | Prostup konstrukcí (z angl. „permeation“)   |
| TC01–TC15                      | Termočlánek (z angl. „termocouple“)   |
| SIT                            | Teplota vznícení (z angl. „self-ignition temperature“)  |
| FIT                            | Teplota vzplanutí (z angl. „flame ignition temperature“)  |
| ISO                            | Mezinárodní organizace pro standartizaci (z angl. „International organization for standardization“)           |
| DIN                            | Německý institut pro normalizaci  |
| ČSN                            | Česká technická norma   |



# Obsah

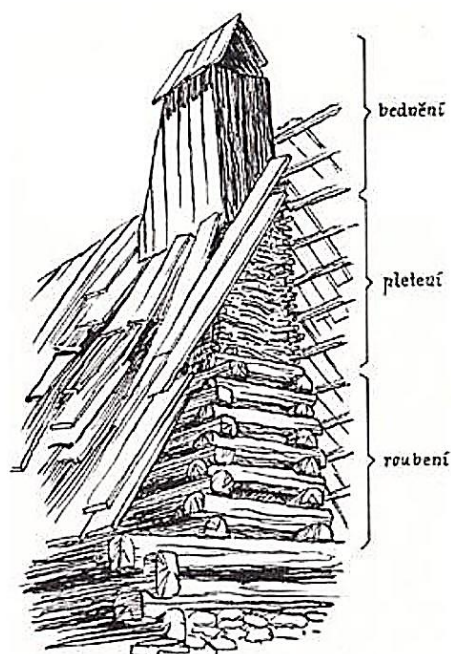
|   |       |            |
|---|-------|------------|
| <b>Prohlášení</b>                                 | ..... | <b>IV</b>  |
| <b>Poděkování</b>                                 | ..... | <b>V</b>   |
| <b>Abstrakt</b>                                   | ..... | <b>VI</b>  |
| <b>Abstract</b>                                   | ..... | <b>VI</b>  |
| <b>Seznam použitých symbolů a zkratk</b>          | ..... | <b>VII</b> |
| <b>Obsah</b>                                      | ..... | <b>IX</b>  |
| <br>  |       |            |
| <b>1 Úvod</b>                                     | ..... | <b>12</b>  |
| 1.1 Cíle diplomové práce                          | ..... | 13         |
| 1.2 Struktura práce                               | ..... | 13         |
| <br>  |       |            |
| <b>2 Současný stav poznání</b>                    | ..... | <b>15</b>  |
| 2.1 Úvod do problematiky                          | ..... | 15         |
| 2.2 Dřevo a jeho složení                          | ..... | 17         |
| 2.2.1 Složení dřeva                               | ..... | 18         |
| 2.2.2 Fyzikální a mechanické vlastnosti           | ..... | 20         |
| 2.3 Tepelně technické charakteristiky             | ..... | 20         |
| 2.3.1 Vlhkost                                     | ..... | 21         |
| 2.3.2 Objemová hmotnost                           | ..... | 22         |
| 2.3.3 Tepelná vodivost                            | ..... | 22         |
| 2.4 Požárně technické charakteristiky             | ..... | 22         |
| 2.4.1 Teplota vznícení                            | ..... | 22         |
| 2.4.2 Teplota vzplanutí                           | ..... | 23         |
| 2.4.3 Rychlost odhořívání                         | ..... | 23         |
| 2.4.4 Rychlost uvolňování tepla                   | ..... | 23         |
| 2.4.5 Hořlavost                                   | ..... | 24         |
| 2.4.6 Reakce na oheň                              | ..... | 25         |
| 2.5 Rizika tepelné degradace                      | ..... | 25         |
| 2.5.1 Vliv zvýšené teploty na hlavní složky dřeva | ..... | 26         |
| 2.5.2 Tepelná degradace                           | ..... | 26         |
| 2.5.3 Tepelné samovznícení                        | ..... | 27         |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 2.5.4    | Hodnocení možnosti samovznícení v souvislosti se zjišťováním příčin vzniku požárů pro Hasičský záchranný sbor České republiky ..... | 28        |
| 2.5.5    | Zuhelnatění.....  | 29        |
| 2.5.6    | Žhnutí dřeva .....  | 29        |
| 2.6      | Metody měření pro termickou analýzu .....   | 30        |
| 2.6.1    | Setchkinova pec .....   | 30        |
| 2.6.2    | Kónická kalorimetrie.....   | 33        |
| 2.7      | Legislativa pro komínové systémy z hlediska požární bezpečnosti .....   | 35        |
| 2.8      | Technické řešení a místa prostupu hořlavou konstrukcí.....  | 37        |
| 2.8.1    | Technologické provedení prostupů.....   | 38        |
| 2.8.2    | Prostupy kovových komínů .....  | 39        |
| <b>3</b> | <b>Experiment 1 – tepelná degradace UV zářením.....</b>   | <b>42</b> |
| 3.1      | Cíl experimentu.....  | 42        |
| 3.2      | Popis a příprava vzorků.....  | 42        |
| 3.3      | Příprava experimentu .....  | 46        |
| 3.4      | Tepelná degradace vzorků žárovkou.....  | 48        |
| 3.5      | Závěr experimentu .....   | 51        |
| <b>4</b> | <b>Experiment 2 – proces hoření dřeva s různou úrovní degradace.....</b>  | <b>53</b> |
| 4.1      | Cíl experimentu.....  | 55        |
| 4.2      | Příprava vzorků .....   | 55        |
| 4.3      | Průběh zkoušky .....  | 57        |
| 4.4      | Diskuze získaných výsledků .....  | 57        |
| 4.5      | Závěr experimentu .....   | 62        |
| <b>5</b> | <b>Závěr .....</b>  | <b>63</b> |
| <b>6</b> | <b>Návaznost a doporučení pro další práci.....</b>  | <b>64</b> |
|          | <b>Seznam obrázků.....</b>  | <b>65</b> |
|          | <b>Seznam tabulek .....</b>   | <b>68</b> |
|          | <b>Literatura .....</b>   | <b>69</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Příloha 1 – Grafy dlouhodobého tepelného namáhání UV žárovkou z experimentu 1.....</b> | <b>72</b> |
| <b>Příloha 2 – Report a fotodokumentace ze zkoušky kónickým kalorimetrem .....</b>        | <b>74</b> |
| <b>Příloha 3 – Případové studie požárů komínů způsobené samovznícením.....</b>            | <b>80</b> |

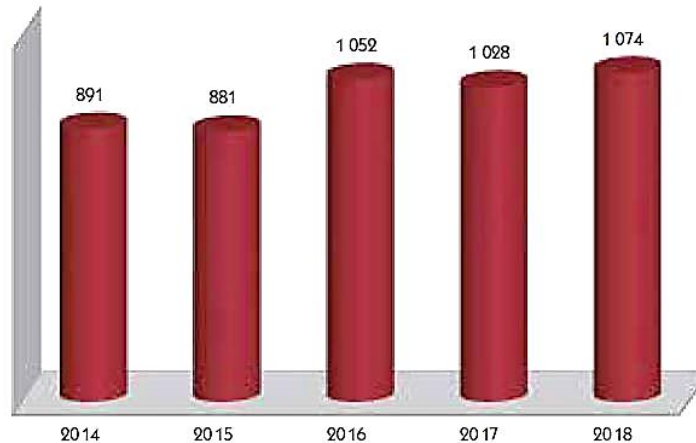
# 1 Úvod

Komíny jsou již po několik století nedílnou součástí většiny staveb. V minulých stoletích se komíny stavěly ze dřeva (obr. 1), později, z důvodu požárních předpisů z kamene nebo pálených cihel. V současné době tvoří komíny ve stavbách převážně certifikované systémy s důrazem na bezpečnost. I přes pokrok současné moderní výstavby, která je reprezentována ve velké míře nízkoenergetickými a pasivními objekty (často dřevostavbami), se však stavebnictví potýká s problémy v oblasti jejich požární bezpečnosti. Právě prostup komínu hořlavou obálkou budovy představuje značné riziko i v případě, že se jedná o výrobcem certifikovaný systém. Neboť je důležité klást důraz na provedení a dodržení všech technických, technologických a konstrukčních zásad pro zajištění potřebné požární bezpečnosti.



obr. 1: Dřevěný komín z 2. pol. 20. století [1]

Pravidelně v průběhu topné sezóny dochází k velkému počtu požárů komínů způsobených jejich nevyhovujícím technickým a provozním stavem. Požáry jsou často způsobené vyhořením sazí ve spalinové cestě, nesprávném používání tepelných spotřebičů při provozu topidel, zasdění trámu do komínu (nevyvločkované komíny) nebo vydrolených spárách v komínovém plášti. To se stává obzvláště zanedbáním povinnosti nechat si vyčistit a zkontrolovat spalinovou cestu osobou způsobilou pro tuto činnost. Tato povinnost je dána vyhláškou č. 34/2016 Sb. o čištění, kontrole a revizi spalinové cesty [2] a zákona č. 133/1985 Sb. o požární ochraně [3], které stanovují povinnost každoroční revize a čištění spalinové cesty revizním technikem odborně způsobilým pro čištění spalinové cesty. I přes tuto povinnost se od roku 2016 neustále zvyšuje počet požárů od vyhoření sazí nebo samovznícením, viz statistické ročenky od roku 2016 (obr. 2) [4].



obr. 2: Počet požárů od komínu [4]

Hlavně požáry způsobené samovznícením hořlavých konstrukcí od komínového tělesa představují značný problém v moderní výstavbě objektů. Je kladem velký důraz na uzavřenost obálky budovy a minimalizaci energetické náročnosti. Do těchto objektů se navrhuje nejen spalínové cesty vestavěné do betonového či keramického pláště, ale také nerezové komíny. Kvůli uzavření obálky objektu se utěšňuje prostup nerezového komínu v hořlavé stavební konstrukci tepelnou izolací a navazujícími těsníci systémy. To však způsobuje při provozu spalínové cesty kumulaci tepla okolo prostupu, které nemá kam unikát (není odvětráno) a hořlavý prvek je nakumulovaným teplem vysušován. To může později (v rádech týdnů, měsíců i let) vyústit v samovznícení dřevěného prvku a následný požár objektu.

## 1.1 Cíle diplomové práce

Cíle diplomové práce jsou následující:

- analýza tepelné degradace,
- přehled legislativy pro komínové systémy z hlediska požární bezpečnosti staveb,
- technická řešení prostupů komínu hořlavou stavební konstrukcí,
- experimentální ověření a zhodnocení průběhu tepelné degradace,
- případové studie závažných požárů od komínů samovznícením hořlavé konstrukce,
- ověření teorie tepelné degradace a procesu hoření pomocí experimentů.

## 1.2 Struktura práce

*Kapitola „Úvod“* zasvěcuje do základní motivace a cílů diplomové práce. Obsahuje strukturu jednotlivých kapitol

*Kapitola „Současný stav poznání“* rozebírá velkou část pojmů použitých v práci. Součástí jsou informace o struktuře dřeva, jeho tepelně technických a požárně technických charakteristikách, rizikách tepelné degradace, rešerše legislativy pro komínové systémy, technická řešení prostupů hořlavou stavební konstrukcí a rozbor z hlediska problematiky zjišťování příčin požárů.

*Kapitola „Experiment 1 – tepelná degradace UV zářením“* představuje experimentální ověření průběhu tepelné degradace smrkových kvádrů pomocí horkovzdušné sušárny a UV žárovky, které proběhlo v prostorech požární laboratoře v UCEEB ČVUT v Praze.

V kapitole *„Experiment 2 – proces hoření různých fází degradace dřeva“* je popsána a vyhodnocena zkouška v kónickém kalorimetru, která proběhla v TÚPO HZS ČR v Praze – Modřanech. Při zkoušce proběhlo měření na různě tepelně degradovaných smrkových kvádrech za účelem zjištění doby vznícení.

*Kapitola „Závěr“* rekapituluje a zdůrazňuje poznatky z této práce.

*Kapitola „Návaznost a doporučení pro další práci“* upřesňuje možnosti pro další výzkum v problematice.

## 2 Současný stav poznání

První zabudování komínu do stavby se datuje od 15. století. Před komínem tu byl tzv. dýmník (obr. 3), připomínající dnešní kuchyňskou digestoř, který odváděl dým z místností do podkrovního prostoru. Vypadalo to jako obrácený trychtýř zavěšený ze stropu nad zdrojem ohně, kterým v té době bylo většinou obyčejné ohniště. Místnosti s dýmníkem se říkalo polo-dýmná jizba. Kouř z jizby neodcházel ven, nýbrž do půdního prostoru, odkud pozvolna dostával prodyšnou střešou do vzduchu. Byl to velmi primitivní vynález tzv. lidové architektury sestávající z proutí a latí a zevnitř zpevněný hlínou [5].



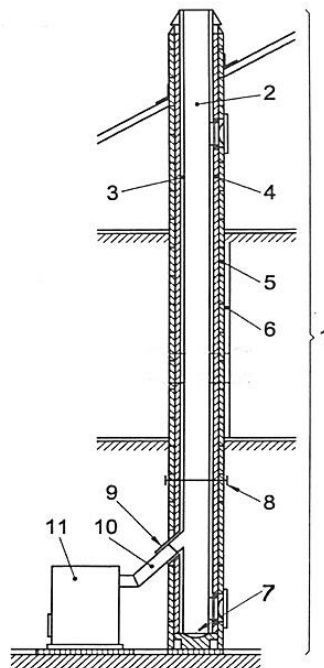
obr. 3: Raně středověké otopní zařízení [1]: a) dýmník ukotvený do stropu a přilehlé stěny nad pecí; dýmník tvořený jedinou dřevěnou příčkou ukotvenou přes roh mezi dvě sousedící stěny domu; b) řešení vyústění dýmníku do prostoru podstřeší

Kolem 15. století se objevily komíny sahající až nad samotnou střechu a odváděly tak kouř zcela mimo dům. První komíny byly dřevěné či hlinito-dřevěné, v průběhu 17. a 18. století se hlavně pod tlakem požárních předpisů přecházelo na komíny zděné, které byly tvořeny jen vertikální dutinou ve zdivu. Jejich průduchy už byly svedeny až k zemi a využívaly tak k odvodu kouře umělého tahu [5].

Soudobé komínové systémy jsou mnohem propracovanější především z hlediska bezpečnosti a systémového provedení. Komíny a jejich součásti jsou v budovách vždy předmětem zvýšeného zájmu při řešení podmínek požární bezpečnosti při projektování, stavbě a jejím užívání. Předpisy v této oblasti obsahují požadavky, které vychází především z historických zkušeností, kdy nesprávné provedení komínu bávalo často příčinou vzniku požáru, a obsahují jak technické (projektové), tak provozní požadavky.

### 2.1 Úvod do problematiky

Komíny jsou jednovrstvé, nebo vícevrstvé svislé konstrukce s jedním, nebo více průduchy. Hlavní část komínu tvoří tzv. spalinová cesta, což je dutina určená k odvodu spalin do volného ovzduší. Nedílnou součástí spalinové cesty je kouřovod, tj. konstrukční díl pro spojení mezi spalinovým hrdlem spotřebiče paliv a sopouchem (obr. 4).



obr. 4: Schéma konstrukčních částí komínu [6]; legenda: 1 – komín, 2 – spalinová cesta, 3 – komínová vložka, 4 – izolace, 5 – komínový plášť, 6 – opláštění (obklad), 7 – půdice, 8 – vícevrstvý komín, 9 – komínová tvarovka, 10 – kouřovod, 11 – spotřebič paliv

Kouřovody nesmí spojovat požární úseky a nesmí procházet prostory, které nemohou být kontrolovány. Spalinová cesta musí být navržena tak, aby za všech provozních podmínek připojených a místně obvyklých povětrnostních podmínek byl zajištěn bezpečný odvod spalin komínem, nebo svislým kouřovodem s funkcí komína nad střechu budovy, popřípadě vývodem spalin stěnou fasády a jejich rozptyl do volného ovzduší. Nesmí dojít k ohrožení bezpečnosti a zdraví osob nebo zvířat a musí být zajištěna požární bezpečnost všech prostorů, kterými spalinová cesta prochází. Dále musí být komínový plášť konstrukce druhu DP1<sup>1</sup>. Tomuto požadavku odpovídají komíny keramické, betonové a kovové, případně další nehořlavé materiály. Komíny mohou být taky plastové nebo z jiného přírodního či umělého materiálu. Komínový plášť je z hlediska požární bezpečnosti nejčastěji posuzován jako šachta, což je nejbezpečnější způsob pro vedení spalinové cesty vnitřkem objektu, zejména vedení skrze hořlavou stavební konstrukci [8].

Při porovnání starších (2. pol. 20 století) a současných staveb (21. století) si můžeme povšimnout znatelného rozdílu průchodu komínu hořlavými stavebními konstrukcemi a také rozdílného materiálu konstrukce komínu (dříve převážně zděné; dnes systémové keramické, betonové apod.). Ve starších stavbách (zděných, betonových) byly stropy i střechy tvořené dřevěnými trámy, které byly pobité z vrchu prkny s následnou skladbou podlahy, respektive krytiny. Zejména konstrukcí stropu komín procházel tak, že na každou stranu od jeho povrchu

<sup>1</sup> DP1, DP2, DP3 – kategorizace pro nosné a požárně dělící konstrukce dle ČSN 73 0810 – Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení [7] z hlediska hořlavosti použitých materiálů, respektive výrobků (DP1 obvykle z nehořlavých materiálů, kdy materiály nezvyšují v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru.



musela být mezera min. 50 mm (vzdálenost trámu od komínu min. 50 mm) a dutina takto vzniklá okolo komínového tělesa měla být provětrávaná. Podobně tomu bylo při průchodu trámu zděnou stěnou poblíž průduchu. Pak tu byly i případy, kdy se komín vestavěl dodatečně do stavby, a došlo na situaci, kdy trám překážel, takže se zazdil do komínu. To ovšem mělo v dalších letech následek, že spaliny tento trám zapálily a došlo k požáru, který byl ve většině případů devastující.

U současných staveb (dřevostavby, nízkoenergetické a pasivní objekty) je stále větší snaha o snížení jejich energetické bilance z důvodů přísnějších legislativních požadavků na energetickou náročnost, neprůvzdušnost a požadavky na vytápění. Má-li se totiž zajistit neprůvzdušnost obálky budovy, je zapotřebí uzavřenost stavební konstrukce, kterou ovšem komínové těleso umístěné uvnitř stavby narušuje, protože jsou kladeny jisté konstrukční požadavky na umístění komínu poblíž hořlavých konstrukcí. Do takovýchto staveb se nejčastěji umisťují nerezové, plastové a jiné komíny a při průchodu hořlavou konstrukcí se těsně obalují tepelnou izolací právě pro utěsnění [9].

Právě průchod a utěsnění komínového tělesa v hořlavé stavební konstrukci je problematický aspekt moderních staveb především z hlediska požární bezpečnosti. V topné sezóně dochází k pravidelnému ohřívání izolované stavební konstrukce od komínového tělesa (především od nerezových komínů), případně od jiného zdroje tepla (horkovodní trubky prostupující stropem) a tím i ke kumulaci tepla v konstrukci. V případě hořlavého stropu, kdy se komín nachází v těsné blízkosti dřevěného tepelně izolovaného trámu, se teplo dlouhodobě kumuluje v izolaci. Dochází k postupnému vysušování tohoto trámu a přirozenému chování jako přírodního prvku vystavenému změnami teplot. U trámu, který je dlouhodobě vystaven tomuto namáhání nižší teplotou, může dojít k jeho (samo)vznícení a náhlému požáru celé konstrukce a objektu.

Tato práce se bude věnovat především tepelné degradaci povrchu dřevěného prvku. Jaký má vliv nízká teplota na složky dřeva, vysušování prvku jako celku a na riziko požáru způsobeného samovznícením.

## **2.2 Dřevo a jeho složení**

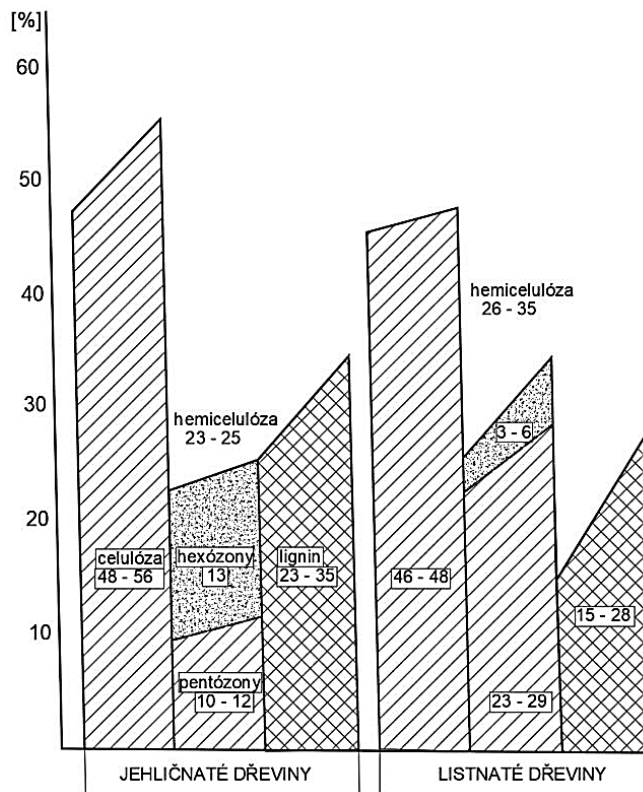
Dřevo je jedinou obnovitelnou surovinou, kterou lze využít pro realizaci nosných konstrukcí ve výstavbě. Dřevěné stavby, ve srovnání s ostatními stavebními materiály, představují nejmenší zatížení životního prostředí a potřebu energie při jejich výstavbě, užívání i likvidaci. Obvodové konstrukce na bázi dřeva mají vynikající tepelně technické vlastnosti. Z hlediska tepelného odporu dřevěných stěn lze s moderními konstrukcemi na bázi dřeva srovnat pouze konstrukce a objekty ze sendvičového zdiva, přičemž při srovnatelných tepelných odporech jsou konstrukce dřevěné výrazně subtilnější. Podstatně nižší hmotnost stavebních prvků na bázi dřeva výrazně snižuje náklady na přepravu materiálu. Nízká hmotnost a snadná demontovatelnost vytváří podmínky pro možnost jednoduchých a nenáročných úprav dřevěných konstrukcí během užívání stavby.

I když je dřevo stále více využívaným materiálem, panuje i určitá skepse k jeho použití, mimo jiné z nedůvěry k jeho požární bezpečnosti. Dřevo, jakožto hořlavý materiál, může v jistých

ohledech vykazovat lepší chování při požáru než například ocel. Ocelový prvek ztrácí únosnost náhle při dosažení kritické teploty a tento proces je nevratný. Dřevo odhořívá postupně a i v případě jeho částečného poškození ohněm je možné dále dřevěné konstrukce použít [10].

### 2.2.1 Složení dřeva

Dřevo je vysoce komplexní bio-polymerový materiál. Biopolymerní látky, často v literatuře popisované jako hlavní stavební prvky dřeva, pokrývají 90–97 %. **Celulóza a hemicelulóza** představují přibližně **70 %** této hlavní látky (obr. 5). Přibližně **30 %** celkové hmoty se skládá z látky zvané **lignin**. Ostatní látky jsou popsány jako doprovodné látky, např. vosky, taniny, minerály atd. Každá látka ve dřevě má svou vlastní funkci a vykazuje jedinečné chování za zvýšených teplot. V mikroskopické rovině je dřevo tvořeno buněčnými stěnami. Funkce hlavních prvků lze přirovnat k betonu. **Základním** konstrukčním **prvkem**, který tvoří rám buňky, je **celulóza** [11].

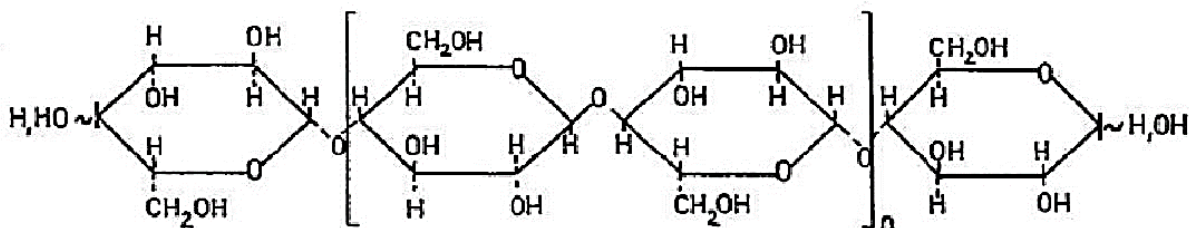


obr. 5: Podíl výskytu hlavních organických látek ve dřevě jehličnatých a listnatých dřevin [12]

Chemicky se všechny druhy dřeva skládají ze stejných prvků, a to přibližně ve stejném množství. **Organické látky**, tvořící převážnou část dřeva, obsahují kolem 50 % uhlíku, 43 % kyslíku, 6 % vodíku a 0,3 % dusíky. Zbytek do 100 % (tj. cca 0,7 %) tvoří látky minerální, obsahující draslík, sodík, vápník, fosfor, hořčík aj. [13].

## Celulóza

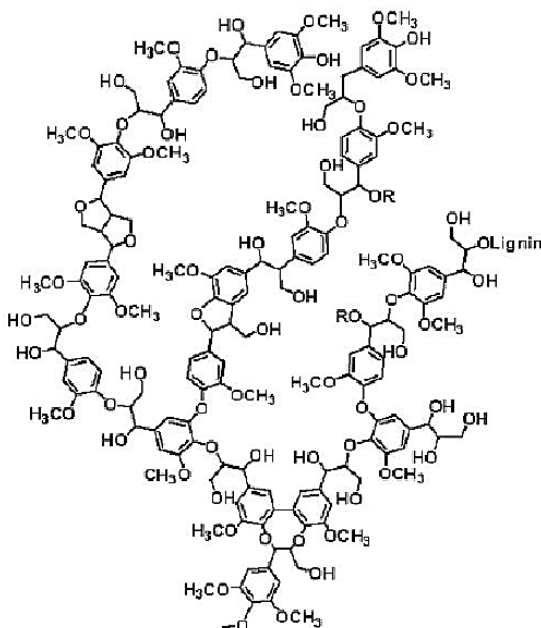
Největší zastoupení ve dřevě má celulóza (obr. 6). Je to **základní** stavební materiál buněčné stěny. Jedná se o polysacharid, jehož základní stavební jednotkou je beta-D-glukóza  $C_6H_{12}O_6$  (glukóza), vznikající její polymerací. Polymerace je proces, při kterém dochází k navazování základní jednotky do dlouhých řetězců [14].



obr. 6: Makromolekula celulózy [15]

## Lignin

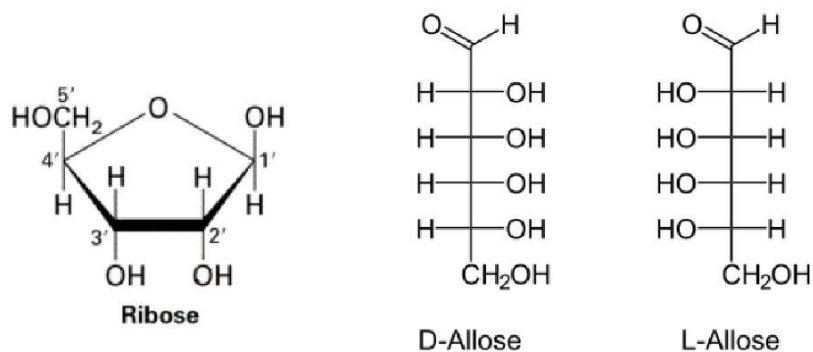
Další významnou složkou je lignin (obr. 7). Jedná se o poly-fenolickou strukturu – stavební jednotkou jsou deriváty fenyln-propanu (fenylnpropanoidy). Vzhledem ke své složité struktuře je považován za **nejsložitější** přírodní polymer. Lignin má významný vliv na **výhřevnost** dřeva. Je totiž tepelně méně stálý a jeho rozklad začíná již při 140 °C, v důsledku toho **dřevo hnědne** [14].



obr. 7: Amorfni struktura ligninu [14]

## Hemicelulózy

Poslední významnou složkou jsou hemicelulózy (obr. 8). Jsou to polysacharidy, které se svým chemickým složením podobají celulóze. Spolu s celulózu pak hemicelulózy tvoří polysacharidovou složku dřeva – **holo-celulózu**. Hemicelulózy mají vliv na chemické a fyzikální vlastnosti dřeva, které se projevují zejména při technologických úpravách (například sušení) [14].



obr. 8: Složky hemicelulózy (Ribose, D-Allose, L-Allose) [14]

## 2.2.2 Fyzikální a mechanické vlastnosti

Vlastnosti dřeva se od sebe liší ve směru rovnoběžně s vlákny a kolmo k vláknům. Tento anizotropní charakter dřeva se projevuje při rozměrových změnách spojených s příjmem a výdejem vody, pohybem vody a tepla ve dřevě a zejména při mechanickém namáhání.

Ve vztahu k okolnímu prostředí je dřevo hydroskopický materiál schopný přijímat nebo odevzdávat vodu, ať už ve skupenství kapalném nebo plynném. Se změnou obsahu vody ve dřevě jsou spojeny změny objemové hmotnosti dřeva, rozměrové vlastnosti, technologické postupy zpracování a další. Přítomnost vody ve dřevě se vyjadřuje vlhkostí dřeva. Jedná se o podíl hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu – vlhkost  $w_{abs}$ , nebo podíl hmotnosti vody k hmotnosti mokrého dřeva – vlhkost relativní  $w_{rel}$ . Pro charakteristiku fyzikálních a mechanických vlastností dřeva se používá absolutní vlhkost dřeva. Z důvodů hydroskopicity dřeva je, ve srovnání s jinými materiály, obtížně určitelná jeho hustota. Pro charakteristiku hustoty dřeva používáme nejčastěji hustotu dřeva v suchém stavu, hustotu dřeva při vlhkosti 12 % a hustotu dřeva vlhkého.

Pro požární odolnost dřevěných prvků a konstrukcí jsou důležité změny mechanických vlastností při tepelném namáhání. Jedna z velkých **nevýhod** při sledování vlastností dřeva je jeho **proměnlivost** a to jak v rámci jednoho vzorku dřeva (heterogenita a anizotropie), tak i mezi jednotlivými vzorky ze stejných nebo rozličných druhů dřevin [10].

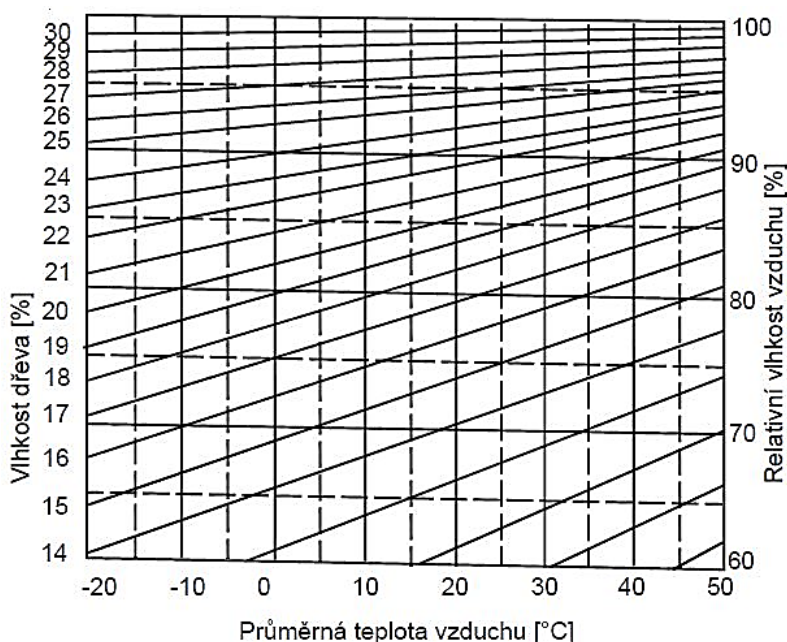
## 2.3 Tepelně technické charakteristiky

Tepelně technické charakteristiky popisují změnu chování materiálu, v tomto případě dřeva, při zvyšující se nebo zvýšené teplotě. Dřevo je materiálem, u kterého závisí tepelné charakteristiky na obsahu vody (vlhkosti) v něm obsažené. Při **velkém obsahu vlhkosti** (přes 20 %) je vyšší jeho tepelná vodivost a zároveň je dřevo **hůře hořlavé**. Při nízké vlhkosti (do 10 %) je **velmi dobrým** tepelně-izolačním materiálem a nemusí se například chránit impregnací a podobnými chemickými úpravami proti biologickým škůdcům.

### 2.3.1 Vlhkost

Vlhkost dřeva patří mezi zásadní faktory posuzované při tepelném namáhání. Vlivem tepla se voda obsažená ve dřevě odpařuje a tím je dřevo náchylnější k degradaci. Rozeznáváme vlhkost **absolutní a relativní**. **Absolutní vlhkost** dřeva je vyjádřena poměrem hmotnosti vody a hmotnosti vysušeného dřeva, **relativní** je poměr hmotnosti vody ke hmotnosti mokrého dřeva. Vyjadřuje se převážně v % [12].

Dřevo je materiál hygrokopický (materiál, jež snadno pohlcuje a udržuje vzdušnou vlhkost) a mění svoji vlhkost v závislosti na okolním prostředí, tj. relativní vzdušné vlhkosti a teplotě vzduchu (obr. 9). Pokud je dřevo vystaveno dostatečně dlouhou dobu určitým podmínkám, dojde k ustálení vlhkosti. Tento stav se nazývá stav vlhkostní rovnováhy. Dřevo v surovém stavu obsahuje velké množství vody. Pro zpracování je vhodné dřevo s vlhkostí do 20 %. Pokud má dřevo vlhkost do 12 %, nemusí se chránit před napadením biologickými škůdci.



obr. 9: Předpokládaná vlhkost v závislosti na teplotě a vlhkosti vzduchu [16]

Ve dřevě se nachází **voda volná, vázaná a chemicky vázaná**. **Voda volná** ve dřevě vyplňuje mezibuněčné prostory, při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností má podstatně menší význam, než voda vázaná. **Voda vázaná** (hygrokopická) se nachází v buněčných stěnách a je vázána vodíkovými můstky na amorfni části celulózy a hemicelulózy. Ve dřevě se vyskytuje při vlhkostech 0–30 % a při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností má největší význam [16].

#### Nejčastěji se vyskytující vlhkosti dřeva:

- vlhkost 100 % – dřeviny dlouhodobě máčeny ve vodě,
- vlhkost 50–100 % – dřeviny čerstvě vytažené z vodní lázně,
- vlhkost 15–20 % – dřeviny skladovány ve venkovním prostředí a zastřešeny,

- vlhkost 8–10 % – dřevo uložené v místnosti při pokojové teplotě v rozmezí 19–23 °C,
- vlhkost 8 % a méně – dřeviny sušené v sušárnách při teplotě 100±5 °C [16].

### 2.3.2 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je jednou z nejdůležitějších fyzikálních vlastností dřeva. Jedná se o hmotnost dřeva dělenou jeho objemem za stejného obsahu vlhkosti. Objemová hmotnost závisí na druhu dřeva a jeho vlhkosti, s rostoucí vlhkostí vzrůstá. Dřevo je hydrokopickým materiálem, který získává nebo ztrácí vlhkost, aby se přizpůsobil okamžitému stavu okolního prostředí. V suchém stavu se u běžných dřevin pohybuje v rozmezí 400–700 kg/m<sup>3</sup>. Smrkové dřevo má mezi 400–500 kg/m<sup>3</sup> a například bukové či dubové 600–700 kg/m<sup>3</sup> [11, 16].

### 2.3.3 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost ( $\lambda$ ) dřeva je malá a zvětšuje se s objemovou hmotností, vlhkostí a teplotou dřeva. Ve směru vláken je dřevo dvakrát vodivější než kolmo na vlákna. Součinitel tepelné vodivosti pryskyřičného dřeva při vlhkosti 15 % se pohybuje kolem 0,25 W/(m×K) a kolmo na vlákna kolem 0,075 W/(m×K) [13].

## 2.4 Požárně technické charakteristiky

Požárně technické charakteristiky je možné definovat jako číselné hodnoty, pomocí kterých se snažíme vystihnout chování látek a materiálů při vzniku a v průběhu hoření až do jeho ukončení, a kvantifikovat tak související rizika. Mezi nejznámější dělení při popisu chování látek za požáru patří rozlišování látek na hořlavé a nehořlavé. Obecně je hodnoceno, jak významnou měrou mohou tyto látky přispívat k rozvoji požáru. Kodex požárních norem pracuje především s charakteristikami uvedenými v následujících kapitolách [18].

### 2.4.1 Teplota vznícení

Teplota vznícení – SIT (self-ignition temperature) je nejnižší teplota, při které se za definovaných zkušebních podmínek hořlavá látka ve směsi se vzduchem sama bez iniciace vznítí. Jako vznícení se označuje začátek chemické reakce směsi plynu nebo páry za objevení otevřeného plamene. Při stanovení teploty vznícení se vznícení vyvolá pouze působením tepla, nikoli otevřeným plamenem nebo jiskrou.

Ovšem teplota vznícení také závisí na vlhkosti a vysušenosti dřeva, neboť jinou teplotu vznícení bude mít dřevěný prvek vystavený vnějším povětrnostním podmínkám a jinou prvek skrytý uvnitř stavby, například ve stropní konstrukci.

Teplota vznícení dřeva se pohybuje v rozmezí 280–399 °C. Dřevo má schopnost tepelného samovznícení, ke kterému dochází dlouhodobým působením tepla, které nepřevyšuje teplotu vznícení daného materiálu [19].

## 2.4.2 Teplota vzplanutí

Teplota vzplanutí – FIT (flame ignition temperature) je nejnižší teplota, při které hořlavá látka za normálního tlaku vyvine tolik hořlavých par, že tyto ve směsi se vzduchem při krátkodobém přiblížení přesně definovaného otevřeného plaménku krátce vzplanou, ale dále nehoří. Při teplotách pod teplotou vzplanutí není možné zapálení, protože tlak par látky je příliš malý k tomu, aby se vytvořily zápalné směsi par se vzduchem. To však neznamená, že při teplotách pod teplotou vzplanutí neexistují nebezpečí požáru. Zdrojem zapálení může být látka velmi rychle zahřátá na svou teplotu vzplanutí [19]. Teplota vzplanutí smrkového dřeva je přibližně 340 °C [20].

## 2.4.3 Rychlost odhořívání

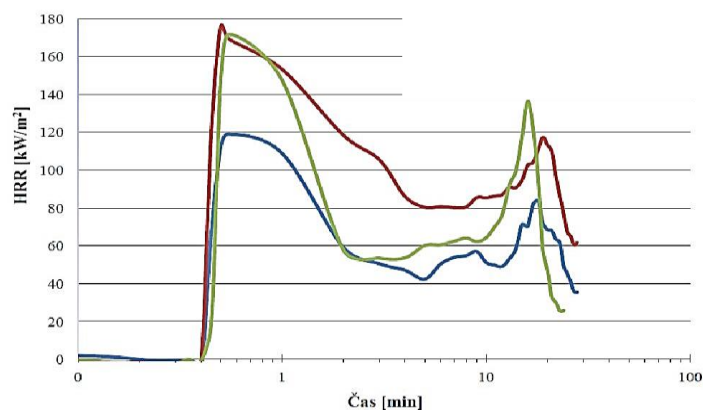
Rychlost odhořívání je charakteristická pro každý materiál. Je uváděna buď hmotnostním úbytkem tepelně namáhaného materiálu, nebo lineárním úbytkem materiálu. Hmotnostní úbytek je pak vyjadřován úbytkem hmotnosti za časovou jednotku z jednotky plochy ( $\text{kg/m}^2 \times \text{s}$ ) a lineární rychlost odhořívání je vyjádřena hloubkou odhoření za časovou jednotku ( $\text{mm/s}$ ) [12].

## 2.4.4 Rychlost uvolňování tepla

Za jednu z nejpodstatnějších požárně technických charakteristik je v poslední době považován parametr rychlosti uvolňování tepla (HRR – Heat Release Rate, případně RHR – Rate of Heat Release). Tato charakteristika indikuje velikost požárního nebezpečí, vyjadřuje míru hořlavosti materiálu a zároveň může sloužit jako důležitý nástroj při modelování rozvoje požáru a simulaci požárních scénářů.

V tomto ohledu figuruje HRR jako stěžejní vstupní údaj pro široké spektrum nástrojů hodnotících požární rizika a ovlivňuje prakticky všechno ostatní kvantifikované proměnné související s požárem. Významnou předností rychlosti uvolňování tepla je fakt, že tato charakteristika neuvádí pouze celkové množství uvolněného tepla (jednotka joule), nýbrž vyjadřuje i jeho časovou závislost v průběhu rozvoje požáru. Měřenou jednotkou je tedy joule za sekundu [J/s] neboli watt. Vzhledem k hodnotám, které se v reálném měřítku požárů běžně vyskytují, se častěji pracuje s kilowatty [kW], popřípadě megawatty [MW] [18].

Průběh rychlosti uvolňování tepla je pro dřevo specifické. Křivka HRR roste s počátkem hoření dřeva, na dřevu se postupem hoření vytváří zuhelnatělá vrstva sloužící jako izolant, takže křivka HRR začne klesat. Dřevo je dále vystaveno a narušováno tepelným namáháním a dochází k narušení zuhelnatělé vrstvy a hoření další vrstvy pod ní. To způsobí opětovný nárůst křivky a po té dohoření. Z tohoto důvodu jsou u dřeva často viditelné dva píky (obr. 10).



obr. 10: Graf rychlosti uvolňování tepla pro smrkové dřevo [12]

## 2.4.5 Hořlavost

Hořlavost dřeva je úzce spojena s tepelnými vlastnostmi dřeva – přenosem tepla ve dřevě. Ačkoliv je dřevo hořlavým materiálem, v mnoha ohledech předčí nehořlavé kovy, je-li vystaveno ohni. Hořlavost dřeva je ovlivňována jeho chemickým složením, průměrným zastoupením základních chemických konstituant dřeva. Kromě rozdílné výhřevnosti se chemické složky také liší svojí odolností vůči termickému rozkladu – pyrolýze.

tab. 1: Tepelný rozklad dřeva

| Tepelní rozmezí | Charakteristický proces  |
|-----------------|--|
| pod 100 °C      | vysoušení dřeva – ztráta volné vlhkosti  |
| 100–150 °C      | celková ztráta volné vlhkosti  |
| 150–200 °C      | ztráta vázané vlhkosti   |
| 200–280 °C      | pomalá pyrolýza: intenzivní vývoj páry, uvolnění prchavých produktů s nízkou výhřevností (do 5 000 kJ/m <sup>3</sup> ) |
| 280–400 °C      | nárůst teploty, tvorba lehce zápalných plynů s vysokou výhřevností (84 000–16 800 kJ/m <sup>3</sup> )                  |
| 400–500 °C      | maximální tvorba hořlavých plynů s výhřevností až 200 000 kJ/m <sup>3</sup> )  |
| nad 500 °C      | snižování množství plynných zplodin  |

Nejméně odolné vůči termickému rozkladu jsou hemicelulózy, které se rozkládají v teplotním intervalu 170–240 °C. Celulóza je vůči působení tepla odolnější než hemicelulózy. Do teploty 250 °C je její rozklad jen mírný, intenzivní termický rozklad nastává v teplotním intervalu 250–350 °C. Nejodolnější složkou dřeva je lignin. Aktivní rozklad ligninu probíhá při teplotách 300–400 °C. Dřevo, podobně jako jiné tuhé materiály, nehoří přímou reakcí s kyslíkem. Shrnutí



hlavních pochodů probíhajících při tepelném rozkladu a hoření dřeva se ztrátou vlhkosti uvádí předchozí tabulka (tab. 1) [21].

## 2.4.6 Reakce na oheň

Reakce na oheň je ukazatel, jak výrobky přispívají svou hořlavostí k rozvoji a intenzitě vznikajícího požáru (na rozdíl od požární odolnosti stavebních konstrukcí vystavených plně rozvinutému požáru). Výrobky jsou nejčastěji na základě kombinace několika malo-rozměrových laboratorních zkoušek klasifikovány dle evropských norem do jedné ze sedmi tříd s označením A1, A2, B, C, D, E, nebo F (tab. 2). Stupnice charakterizuje výrobky od třídy A1, jakožto zcela nepřispívající k požáru, po třídu F, jakožto výrobky výrazně se podílející na rozvoji a intenzitě požárů.

Společně s třídou reakce na oheň A2 až D (popřípadě E) bývá u výrobků uváděna a v požární legislativě požadována tzv. doplňková klasifikace vyjadřující intenzitu vývoje kouře (s1, s2, s3; „s“ z angličtiny jako „smoke“) a plamenně hořících kapek (d0, d1, d2; „d“ z angličtiny jako „droplet“). Vyšší číslo klasifikace „s“ nebo „d“ znamená vyšší míru tvorby doprovodných komponentů hoření (kouře, kapek). Lze se tak setkat s úplným zápisem v podobě, například pro konstrukční dřevo, D-s2,d0 [22].

tab. 2: Třídy reakce na oheň stavebních výrobků [22]

| Třída reakce na oheň |    | Orientační příklad výrobku   |
|----------------------|----|--|
| Nehořlavé výrobky    | A1 | Výrobky z keramiky, skla, kovu, betonu, tepelně izolační deska z minerálních vláken  |
|                      | A2 | Sádkartonová nebo sádro-vláknitá deska   |
| Hořlavé výrobky      | B  | Kontaktní zateplovací systém s hořlavým tepelným izolantem (např. expandovaný polystyren), vinylové podlahy, cementotřískové desky |
|                      | C  | Tepelně izolační deska z fenolické pěny  |
|                      | D  | Konstrukční dřevo, desky na bázi dřeva   |
|                      | E  | Tepelně izolační deska z polyuretanu nebo expandovaného polystyrenu (s retardéry hoření)   |
|                      | F  | Výrobky, u kterých třída nebyla stanovena  |

Třidu reakce na oheň pro vybrané stavební výrobky lze bez nutnosti nákladného zkoušení klasifikovat s využitím informativní přílohy A v ČSN 73 0810 [7]. Tabelárně jsou dány třídy pro tradiční výrobky častého využití. V tabulce A.2, přílohy A, ČSN 73 0810 jsou uvedené třídy reakce na oheň desek na bázi dřeva, kde se nachází desky s klasifikací B–E. Desky cemento-třískové se řadí do B-s1,d0, rostlé bukové nebo dubové dřevo na podlaze jako C-s1, do ostatních tříd (D–E) jsou zařazeny třískové, vláknité, OSB, překližkové desky a desky z rostlého dřeva. Taktéž konstrukční dřevo (řezané, hoblované nebo kulatina) se řadí do třídy D (dle tab. A.4 téže normy).

## 2.5 Rizika tepelné degradace

Dřevo vystavené tepelnému namáhání postupně ztrácí svoji vlhkost, tím i hmotnost, neboť ve dřevě během toho procesu dochází ke dlouhodobému znehodnocení jeho základních složek, a to

již při teplotách okolo 100 °C, jež je popsáno níže. Následek mlže být snazší zapálitelnost a hořlavost jeho povrchu. Tepelnou degradací se také můžou znatelně snížit hodnoty teploty vzplanutí a vznícení, nebo dojít k samovznícení povrchu i bez toho, aby byla potřeba iniciace zápalným zdrojem. Může nastat také situace, kdy se dřevěný prvek vystavený tepelnému namáhání nevznítí, ale na jeho povrchu nebo těsně pod povrchem dochází k exotermickým reakcím, jejichž účinkem dřevo žhne.

### 2.5.1 Vliv zvýšené teploty na hlavní složky dřeva

Vůči účinkům vysokých teplot je **nejméně** odolná **hemicelulóza**, která se rozkládá při teplotě 170–240 C. Její stupeň degradace roste v závislosti na teplotě a čase expozice. Depolymerizace hemicelulózy probíhá nejprve na oligosacharidy a monosacharidy a ty se dále štěpí a pentozany (furfuraly) a hexosany (hydroxymethyl furfuraly), které jsou méně hygroskopické. Přítomnost acetylových skupin významně ovlivňuje tepelnou degradaci hemicelulózy. Tyto acetylové skupiny jsou velmi nestabilní a při tepelném působení se přeměňují na kyselinu octovou, která působí jako katalyzátor a urychluje rozklad polysacharidů [23].

**Celulóza** je vůči tepelnému namáhání **odolnější** v porovnání s hemicelulózou, a to v důsledku její krystalické struktury. Termo-oxidace a dehydratace je kontrolována difúzními procesy a probíhá především v amorfních podílech polysacharidů. Termo-oxidační homolytické radikálové depolymerizační reakce probíhají výrazněji při teplotách nad 150 °C [23].

**Lignin** je **termicky nejstabilnější** složkou fytohmoty. Jeho trojrozměrná benzenoidní struktura značně odolává tepelnému působení. Hlavně při pomalém zahřívání za atmosférického tlaku se vytvoří podmínky pro kondenzační reakce. V první fázi ohřevu ligninu (100–180 °C) dochází k jeho plastifikaci, hodnoty molových hmotností klesají v důsledku depolymerizačních reakcí. Při teplotách nad 300 °C dochází ke štěpení jednoduché uhlíkové vazby v málo aktivních akrylových částech a při vyšších teplotách dochází ke štěpení éterové vazby mezi benzenovým jádrem a metylovou skupinou. Při teplotách blízkých se 460 °C se atomy uhlíku v zuhelnatělém zbytku uspořádají do grafitové struktury [23].

### 2.5.2 Tepelná degradace

Zvýšená teplota nad 100 °C má vliv na změnu fyzikálních, strukturálních a chemických vlastností dřeva. Kromě teplot ovlivňují změny i jiné faktory, jako čas, atmosféra, tlak a množství přítomné vody, takže se za jistých podmínek dají pozorovat změny dřeva i při teplotách do 100 °C. Chemické složení dřeva se však mění při zvýšené vlhkosti (hydro-termická úprava) nebo snížením tlaku (vakuové sušení) i při teplotách pod 100 °C.

Termická degradace dřeva při teplotách pod 100 °C se projevuje úbytkem hmotnosti, změnami komponentů v lignin-sacharidové matici, jako i změnami fyzikálních a mechanických vlastností dřeva. Rychlost degradace je potom tak nízká, že není možné uvést dolní hranici, při které termická degradace začne. Při termické degradaci probíhají následující typy chemických reakcí: dehydratace, depolymerizace, statistická degradace a termo-oxidace. Jejich důsledkem je

změna pevnostních vlastností, pokles relativních molekulových hmotností jednotlivých složek dřeva, aktivní degradace sacharidového podílu a nakonec bezplamenné a plamenné hoření [24].

### 2.5.3 Tepelné samovznícení

Pod pojmem tepelné samovznícení rozumíme proces, při kterém dojde ke vznícení hořlaviny dlouhodobým působením poměrně vysoké teploty (80–100 °C). Při nízkých teplotách (15–25 °C) reakce mezi palivem (dřevo) a vzdušným kyslíkem prakticky neprobíhá. Její rychlost je tak malá, že se proces oxidace neprojevuje navenek žádným tepelným efektem. Rychlejší proces oxidace začíná až po zahřátí materiálu na kritickou teplotu. Tepelné samovznícení je tedy proces termo-oxidace, který se projevuje hořením (plamenným či bezplamenným) po předcházející samo-zahřívání látek zahřátých na teplotu, při kterých uvolněné reakční teplo převyšuje množství a rychlost tepla odváděného do okolí.

Dalším důležitým faktorem je objemová hmotnost a povrch materiálu. Při velmi malém objemu hořlavé látky je její povrch, který odvádí vzniklé teplo, tak velký, že uvolněné teplo při oxidaci i při vysokých teplotách nemůže převýšit množství odváděného tepla a k samovznícení nedochází.

Důležitým ukazatelem požární nebezpečnosti určité látky se sklonem k samovznícení je měrný povrch materiálu, který se určí z rozměrů a tvaru materiálu. K tepelnému samovznícení mají sklon především celulózové materiály [25].

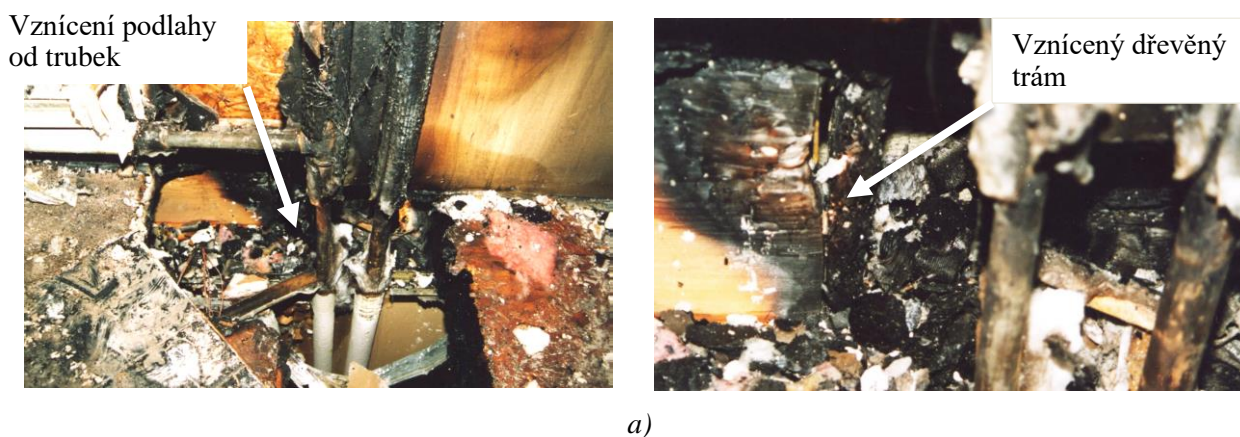
Tepelné samovznícení vzniká při zahřívání hořlavé látky na teploty, při kterých dochází k termickému rozkladu a proces spontánního samo-zahřívání probíhá na úkor tepla vznikajícího při exotermických reakcích v objemu látky. Důležitou úlohu přitom hrají oxidační reakce produktů termického rozkladu. Hoření uvnitř látky probíhá ve formě tlení, které při zvýšení množství oxidovadla může přejít na plamenné hoření a v některých případech i k výbuchu.

Tepelné samovznícení se v praxi často vyskytuje zejména při sušících procesech. Například v teplovzdušné sušárně u látek, které podléhají tepelnému rozkladu při zvýšených teplotách (dřevo, len, papír) se nejprve odpaří voda obsažená ve struktuře hořlavé látky, potom těžší podíly živíc, až na uhlíkatý zbytek, který se může vznítit při teplotě horkého vzduchu v sušárně.

U rostlinných materiálů při tepelném rozkladu se plynné produkty uvolňují bez toho, aby se vznítily, většinou dochází k nedokonalému hoření ve formě tlení a vznikající uhlíkatý zbytek shoří. V případě, že se do ohniska tepelného samo-zahřívání, respektive tlení dostane vzduch, může dojít k plamennému hoření. Dřevo se začíná při zahřívání na teplotu mezi 130–150 °C samo-zahřívát. Když jsou vytvořené podmínky pro akumulaci tepla, může se samovznítit. Při běžných teplotách k tomuto stavu nemá sklony. K samovznícení dřeva v otevřených dřevěných konstrukcích nemůže dojít, neboť nedojde k akumulaci tepla. Většinou se dřevo samovznítí v uzavřených prostorách, které jsou vystaveny dlouhodobému zahřívání a dochází zde ke kumulaci tepla, které nemá kam unikát [25].

## „Pyroforický uhlík“ a dlouhodobé nízkoteplotní vznícení dřeva

Ve druhé polovině 20. století byla vznesena tvrzení, kde vědecké výzkumy vyvrátily pojem pyroforický uhlík (samovznítitelný uhlík). Proto bylo vzneseno tvrzení, že dřevo vystavené dlouhodobému nízkoteplotnímu zdroje nemůže vykazovat spontánní spalování, pokud je zdroj tepla pod 150 °C. Ukázalo se, že tato tvrzení vznikají pouze na základě velmi zjednodušených teorií, které nelze kvantifikovat jako důležité vzhledem k problému jevu [26].



obr. 11 [26]: Požár způsobený kontaktem potrubí z horkovodních topného systému:

a) vznícení dřevěné podlahové/stropní konstrukce od horkovodního potrubí (levé potrubí na obrázku), pec ohřívala vodu na teplotu mezi 88–93 °C

Pokud se dřevěný prvek vznítí/vzplane po zahřívání po dobu několika minut až hodin, lze konstatovat, že je zapálený kvůli vnějšímu ohřevu. Pokud je však dřevo vystaveno po dobu měsíců nebo let teplotě nižší než 250 °C, může se vznítit, protože v tomto časovém měřítku hraje roli samo-ohřev. V publikované **Příručce vznícení** [26] obsahující sbírku údajů o teplotách, které se vyskytly při různých událostech ve světě, se dřevo po expozici vznítilo po měsíci až několika letech. Obzvláště dobře zdokumentovaný incident popsáný v této příručce je znázorněn na obr. 11 včetně komentáře. Příručka také popisuje, že incident zahrnující nejnižší zdokumentovanou teplotu, při které byl ohlášen požár, zahrnovalo potrubí na horkou vodu o teplotě 77 °C.

Je důležité si uvědomit, že fyzikální a chemické mechanismy, které se podílejí na vznícení v důsledku vnějšího zahřívání, a ty, které jsou způsobeny samovolným ohřevem, se liší a nelze předpokládat žádný specifický vztah mezi hodnotou 250 °C a 77 °C [26].

### 2.5.4 Hodnocení možnosti samovznícení v souvislosti se zjišťováním příčin vzniku požárů pro Hasičský záchranný sbor České republiky

Samovznícení je děj, při němž dochází k vývinu a/nebo akumulaci tepelné energie v látce (samo-zahřívání) a který vede k zahřátí této látky na teplotu hoření nebo výbuchu. Mezi látky, které mají sklon k samovznícení, patří plyny, kapaliny a pevné látky (**dřevo ve všech formách**, uhlí, brikety, rostlinné materiály).

**Samovznícení** bývá následkem dlouhodobé tepelné degradace, což je endotermní reakce, při níž se uvolní méně energie, než jí bylo ze začátku dodáno. Reakce není samovolná, je třeba

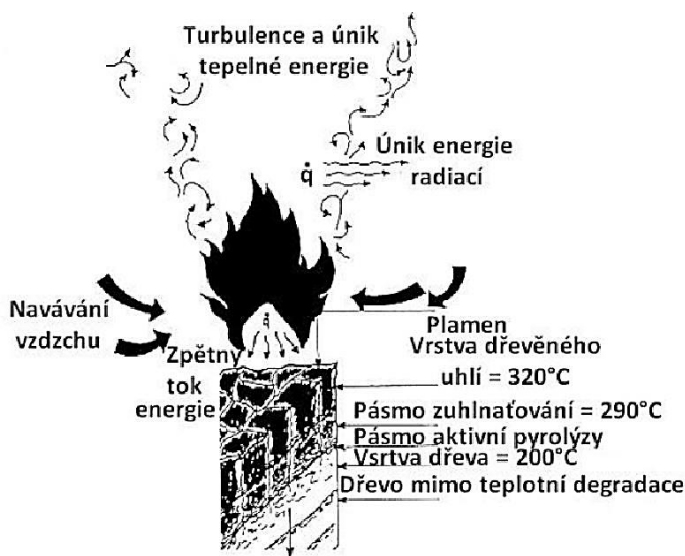
energii do systému neustále dodávat, což může trvat **měsíce i roky**. V **I. fázi** při teplotě cca 100 °C se ze dřeva ztrácí přirozená vlhkost. Ve **II. fázi** při teplotě do 300 °C se ze dřeva ztrácí vázaná vlhkost, uvolňuje pryskyřice a kapalné uhlovodíky, hořlavé plyny a dřevo uhelnatí. Mění se barva dřevní hmoty od žluté, přes hnědou až do černé [27, 28].

V návaznosti na tuto kapitolu byly poskytnuty, komisařem vyšetřujícím příčiny vzniku požárů HZS ČR, odborná vyjádření ze závažných požárů, u kterých bylo prokázáno samovznícení dřevěné konstrukce od komínového tělesa. Tyto požáry měly příčinu zazděný trám do komínu. Zkrácené a upravené verze, vhodné pro použití do této práce, jsou v Příloze 3.

## 2.5.5 Zuhelnatění

Jsou-li konstrukční prvky ze dřeva a materiálů na bázi dřeva vystaveny požáru, nejprve na povrchu vzplanou a poměrně silně hoří do té doby, než se na jejich povrchu vytvoří zuhelnatělá vrstva dřevní hmoty. Tato vrstva (obr. 12) brání přístupu vzduchu do vnitřních částí průřezů prvků, tlumí hoření a má též dobré tepelně izolační vlastnosti. Teplota ve zbytkovém průřezu prvku zůstává nezměněna prakticky již v malé vzdálenosti od povrchu. V důsledku toho nedochází ke změně fyzikálních a mechanických vlastností dřeva a materiálů na bázi dřeva ve zbytkovém průřezu [29].

Zuhelnatění se může též v mírnější podobě vyskytnout při působení sálavého tepla na povrch dřevěné konstrukčního prvku. Povrch přitom znatelně popraská do tzv. šachovnice, přičemž je znatelná změna barvy povrchu (hnědavá barva).



obr. 12: Schéma hoření dřeva [14]

## 2.5.6 Žhnutí dřeva

Jedná se o **exotermní reakci**, při níž se uvolňuje značné množství tepla a probíhá oxidace rozkladných produktů. Jestliže probíhá oxidační proces pomalu, stačí převládající část tepla unikat do okolního prostoru. Při dosažení určité rychlosti se uvolněné teplo nestačí rozptýlit do okolí a dochází k samo-zahřívání dřeva. U chráněné dřevní hmoty probíhá proces rozkladu s omezeným

přístupem vzduchu, doprovázený světelným efektem bez plamenů (bezplamenné hoření), tedy **tzv. žnutí** [30].

Dle ČSN EN ISO 13943 – Požární bezpečnost staveb – Slovník [31] a zkušební normy ČSN EN 16733 – Zkoušky reakce na oheň staveních materiálů – Stanovení náchylnosti stavebního výrobku k souvislému doutnání [32] se jedná o **hoření** pevného materiálu **bez plamene**, avšak s vyzařováním světla ze zóny hoření. Principem zkušební metody dle výše zmíněné zkušební normy je vystavení vzorku stálému sálavému teplu z propanového hořáku s jeho plamenem dopadajícím na povrch vzorku.

S tímto pojmem též souvisí **teplota žnutí**. To je nejnižší teplota tuhé látky, při níž bez působení otevřeného plamene dochází ke žnutí. Ke žnutí dochází zejména u prachů a sypkých materiálů při tom se zapalují směsi plyných zplodin rozkladu látky a vzduchu. Zdroji vznícení mohou být volné horké povrchy (potrubí, otopná tělesa, komín) [19].

## 2.6 Metody měření pro termickou analýzu

Existuje několik experimentálních metod používaných pro zjišťování parametrů termické analýzy přímým měřením. V této práci budou zmíněny pouze laboratorní metody malého a středního měřítka.

Příkladem metod malého měřítka, ve kterých se používají vzorky o hmotnosti několika miligramů, jsou termo-gravimetrie (TGA), diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC) a diferenční termická analýza (DTA). Tyto metody slouží pro sledování úbytku hmotnosti na velice přesných vahách při vystavení zvýšené teplotě.

Do metod středního měřítka patří zejména zkoušky v Setchkinově peci [33] a v kónickém kalorimetru. Do Setchkinovi pece se používají vzorky o malém rozměru a hmotnosti několika gramů, do kónického kalorimetru vzorky většího rozměru a hmotnosti stovek gramů. Pomocí nich se zjišťují především požárně technické charakteristiky zmíněné v kapitole [2.3](#).

### 2.6.1 Setchkinova pec

Měřicí přístroj je vhodný k určování teploty vznícení a vzplanutí (definice v kapitole [2.4.1](#) a [2.4.2](#)). Touto metodou se postupně ohřívají vzorky materiálů vzduchem různými konstantními teplotami, dokud jedna z nich nezpůsobí zapálení vzorku. Zápalná teplota je počáteční teplota okolo vzorku, která vytvoří dostatečné množství plynů, jež přiblížením plamene, jiskry nebo horkého povrchu, způsobí zapálení. Zapálení nejvíce hořlavých materiálů bývá iniciováno přítomností dostatečného množství kyslíku. Než dojde k zapálení, musí být kyslík součástí reakce s pevnými, kapalnými nebo plynými látkami při vývoji teploty a rozkladu materiálu. Produkty rozkladu se musí uvolňovat postupně tak, aby podporovaly reakci.

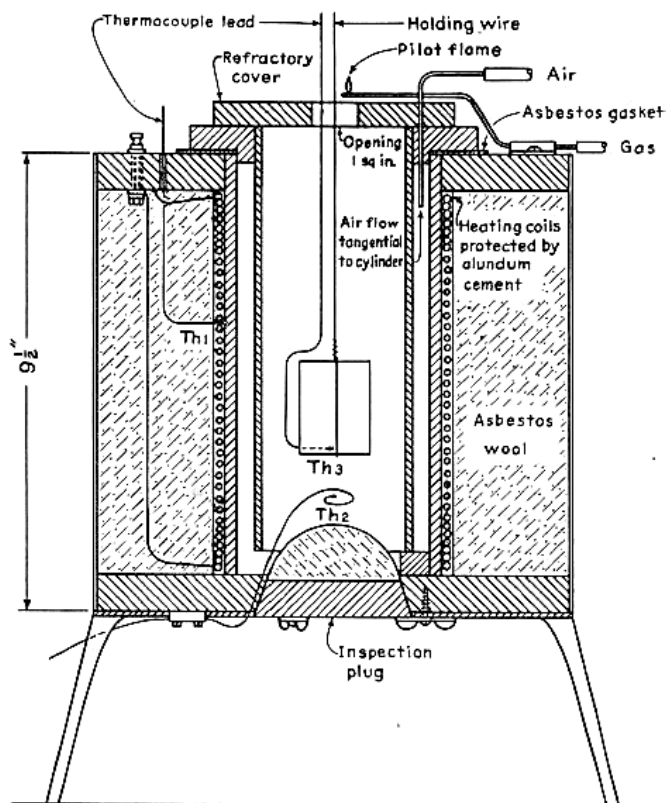
Hoření je definováno jako neustálá exotermická reakce způsobená počáteční teplotou oxidace a vzrůstající teplotou reaktantu přesahující teplotu, při které dochází k explozi, plamennému hoření, nebo žnutí. Rychlost oxidační reakce, stejně jako rychlost jejího zrychlení

k samovznícení, závisí na rychlosti rozptylu tepla. To závisí částečně na teplotním rozdílu reakční hmoty a jejího okolí a částečně na rychlosti proudění vzduchu. Optimální příznivé rychlosti vzduchu musí být dosaženo podle potřeb každého vzorku. Tento proces je často doprovázen vznikem par, které v této fázi nemusí být hořlavé kvůli malé rychlosti vývoje a následným zředěním vzduchem.

Samovznícení je obvykle pozorováno v podobě exploze, ohně nebo žhnutí. Teplota vznícení je doprovázena explozí nebo plameny a obvykle k ní dochází za poměrně vysoké teploty vzduchu. Nicméně pomalý rozklad a karbonizace některých plastů vede k roztavení rohů a hran i při nižších teplotách [34].

### **Přístroj**

Setchkinova pec (obr. 13) je pec sestávající se z vertikální elektricky vyhřívané trubkové pece s otvorem průměru 100 mm a výšky 220 mm. Pec je ze žáruvzdorného materiálu (například keramika) a odolává teplotě nejméně 1000 °C. Trubní pec je ohřívána elektřinou procházející skrz padesáti závitový nichromový drát upnutý v azbestovém pouzdru, ovinutý kolem trubky a zapuštěný v alundovém ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) cementu. Vnitřní žáruvzdorná trouba o průměru 76 mm, výšky 220 mm a tloušťkou stěny 3 mm je umístěna uvnitř trubkové pece na malých krychlích na dně pece. Prostor mezi trubkami je využíván k cirkulaci a ohřívání vzduchu, od měděné trouby je přejímáno teplo tangenciálně do žáruvzdorné trubice. Předehřátý vzduch vstupuje do vnitřní trubice spodem. Vrch této trubky je zakryt žáruvzdorným diskem s dvířky pro pozorování a pro odvod kouře a plynů. Pokud je požadováno, může malý plamen procházet skrz tato dvířka. Na otvoru ve spodní části pece je instalován kotouč pro odstranění reziduí, které se nahromadí během zkoušky.



obr. 13: Setchkinova pec [33]

Nárůst teploty vzduchu ve vnitřní trubce je měřen termočlánkem (Th2) umístěným pod přístrojem. Doporučuje se tento termočlánek chránit před tepelným tokem vzorku během silné oxidační reakce, zvláště pokud je termočlánek blízko vzorků. Nicméně protože teplota vzduchu přiváděná do komory je konstantní, je jakýkoli okamžitý nárůst zaznamenan termočlánkem (Th2) během silných oxidačních reakcí nepodstatný. Teplota vzduchu ve vnitřní trubce je udržována konstantní, zásluhou proudu přiváděnému regulátorem zapojeným do série s topnými spirálami. Nastavení proudu je přednostně vytaveno dle záznamu prvního termočlánku (Th1), který oproti druhému nemá zpožděnou reakci na změny. Třetí termočlánek (Th3) je buď připevněn na povrch vzorku, nebo je zasunut zespodu do vzorku. Nárůst teploty vzorku je indikován právě tímto termočlánkem a je závislý na rychlosti oxidační reakce. Přesné umístění třetího termočlánku ve vzorku nemá velký význam kvůli odchylce místa vznícení. Vznícení obvykle začíná od povrchu spodní části, a proto je důležité umístit termočlánek v této oblasti. Malý holý termočlánek se na styk se vzorkem umísťuje, protože zaznamenává jemné kolísání teploty [21, 29].

### Vzorek

Velikost vzorku závisí na typu a možnostech materiálu. Standardní velikost je obvykle specifikována pro nespalitelné testy maximálně  $38 \times 50 \times 19$  mm. Avšak pro určení vlastností vzplanutí plastů je preferována velikost vzorku  $19 \times 19 \times 13$  mm. Pro materiály vyráběné jako tenké pláty je pro účel testu vzorek navrstven z několika plátů, ale do maximální tloušťky 13 mm. Pospojování vzorku je zajištěno obmotáním drátem. Materiály vyráběné ve formě malých kusů, jako třísek, pilin, prachů apod., které se během ohřívání roztaví, nebo bublají ještě před vznícením, se testují pomocí drátěného košíku, nebo porcelánového kelímku o objemu  $500 \text{ mm}^3$ . Velikost



vzorku odpovídá množství hořlavých plynů, které během testu emitují, proto jsou větší vzorky vhodnější. Nicméně velikost vzorku je při testu omezena vahou. Ta musí být v rozmezí 2–3 g [33].

## 2.6.2 Kónická kalorimetrie

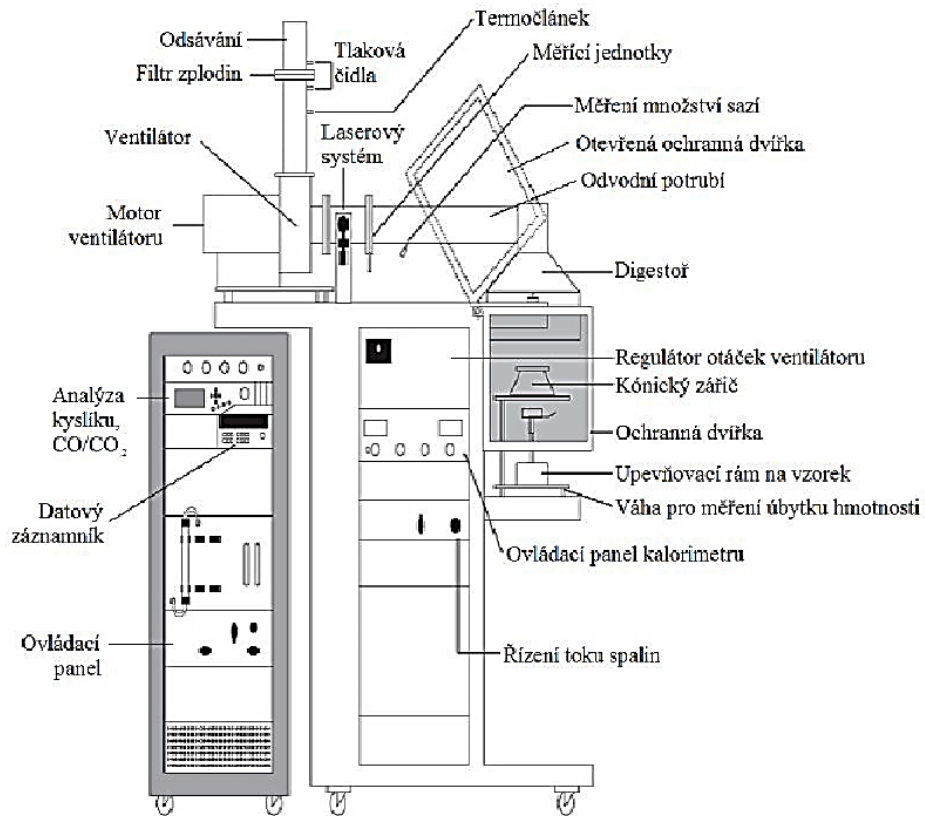
Metoda kónické kalorimetrie je celosvětově nejpoužívanější malo-rozměrová zkouška pro stanovení parametru HRR (heat release rate) a dalších požárně technických charakteristik. Kromě tohoto parametru je metodou kónické kalorimetrie možno stanovit i další charakteristiky, například úbytek hmotnosti, hustotu kouře, produkci spalin (CO, CO<sub>2</sub>), čas do vznícení apod. [18].

**Zkušební zařízení dle ISO 5660-1 se skládá z několika základních částí (obr. 14):**

- vah pro měření úbytku hmotnosti,
- upevňovacího rámu na vzorek,
- piezoelektrického zdroje jiskry,
- kónické topné spirály,
- odvodního potrubí s analyzátory jednotlivých veličin,
- měřící ústředny.

Vzorek zkoušeného materiálu čtvercového tvaru o rozměrech 100 × 100 mm s maximální tloušťkou 50 mm je umístěn v upevňovacím rámu, který se po celou dobu zkoušky nachází na vahách snímající úbytek hmotnosti. Tepelné namáhání vzorku je zajištěno pomocí kónického zářiče – topné spirály – který na vzorek působí sálavým teplem o hustotě tepelného toku 0–100 kW/m<sup>2</sup>.

Zkušební norma stanovuje dvě zkušební hustoty tepelného toku, 35 kW/m<sup>2</sup> a 50 kW/m<sup>2</sup>, které odpovídají přibližným teplotám 670 a 770 °C. Jako zápalný zdroj funguje piezometrický zapalovač, který je umístěn 5 mm nad držákem vzorku



obr. 14: Schéma kónického kalorimetru [35]

Zplodiny hoření jsou odváděny do odtahového potrubí pomocí ventilátoru zajišťující normový průtok ( $0,024 \pm 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$ ) [36]. Před samotným ventilátorem je v potrubí umístěn odběr plynných vzorků, měřicí jednotka (prsteneček) a měřidlo optické hustoty kouře pomocí laserového paprsku. V samotném prstenci se nachází dva filtry pro odstranění částic. V odtahovém potrubí je dále umístěn základní analyzátor koncentrace kyslíku, případně doplňkové analyzátoři pro stanovení koncentrace oxidu uhličitého a uhelnatého, termoelektrický článek pro měření teploty, případně další zařízení pro analýzu produktů spalování [18, 30].

### Průběh zkoušky

Před zahájením každého experimentu je nutné provést kalibraci zkušebního zařízení. Kalibrovan musí být analyzátor kyslíku při běžné koncentraci kyslíku v okolním vzduchu 20,95 % a dále celý kalorimetr včetně kalibrační konstanty kalorimetru C, která je stěžejní pro výpočty při vyhodnocování měření. Na závěr je standardně dle normy nastaven tepelný tok kónického zářiče, který působí na povrch vzorku.

Zkušební vzorek  $100 \times 100 \times 50 \text{ mm}$  se umístí do upevňovacího rámu, zatímco neexponované plochy musí být zabaleny do jedné vrstvy hliníkové fólie o tloušťce 0,025–0,04 mm, která ochrání vzorek proti vnějším vlivům. Pokud je vzorek menší tloušťky než 50 mm, musí být pod vzorek umístěna vrstva minerální izolace pro vyrovnání tlouštěk. Pod zapnutý tepelný zářič chráněný radiační clonou se vloží rám se vzorkem. Nad vzorek se umístí jiskrový zapalovač, zapne se a odstraní clona. Jakmile dojde ke vzplanutí vzorku, zapalovač se vypne a odstraní z prostoru spalování [18, 30].

Standardní délka zkoušky není delší než 32 minut od vzplanutí zkušebního vzorku, eventuálně může být ukončena dříve, pokud nedochází k dalšímu spalování, nebo nedojde-li k zapálení vzorku během 30 minut.

**Dle průběhu zkoušky jsou vyhodnoceny především následující výstupní parametry:**

- čas do vzplanutí vzorku [s],
- délka trvání zkoušky [s],
- hmotnost na začátku  $m_i$  a na konci zkoušky  $m_c$ ,
- celkové uvolněné teplo  $q''_{\text{celk}}$  (THR – Total Heat Release) [MJ/m<sup>2</sup>],
- maximální dosažená hodnota rychlosti uvolňování tepla  $q''_{\text{max}}$  (HRR) [kW/m<sup>2</sup>],
- maximální hodnota rychlosti uvolňování tepla HRR po 180 a 300 s –  $q''_{180}$  a  $q''_{300}$  [kW/m<sup>2</sup>],
- graf uvolňování tepla HRR v čase [kW/m<sup>2</sup>],
- efektivní výhřevnost  $\Delta h_{c,\text{eff}}$  [MJ/kg<sup>2</sup>],
- chování vzorku během zkoušky.

Normou je stanoven minimální počet 3 zkoušek jednoho vzorku. Výsledné hodnoty uvolněného tepla  $q''_{300}$  a efektivní výhřevnosti  $\Delta h_{c,\text{eff}}$  se kontrolují a porovnávají s vypočteným aritmetickým průměrem a pokud se jedna z hodnot odchyluje od průměru o více než 10 %, je nutné provést další dvě dodatečné zkoušky. Ze všech 5 hodnot se vypočte nový aritmetický průměr a vyloučí se dvě zkoušky, které jsou od průměru nejvzdálenější [18], [36].

## **2.7 Legislativa pro komínové systémy z hlediska požární bezpečnosti**

V kmenových ani dalších normách požární bezpečnosti staveb se o posuzování komínových systémů ohledně jejich požární odolnosti nic nedočteme. Výjimku tvoří norma ČSN 73 0810 – Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení [7], která má v poznámce pod čl. 6.1.8 obsaženou definici spalinové cesty, ale zmíněný článek pouze odkazuje na posouzení spalinových cest dle normy jiné, a to ČSN EN 1443 [37]. Z toho vyplývá, že v oblasti požární bezpečnosti není dostatek podkladů a informací pro posuzování požární bezpečnosti komínů.

Požární bezpečností spalinových cest se zabývá norma ČSN 73 4201 ed.2 o navrhování, provádění a připojování spotřebičů paliv do komínů a kouřovodů [38]. Ta, z hlediska požární bezpečnosti, požaduje požární odolnost z vnějšku ven, a to klasifikací ve smyslu EI (mezní stav celistvosti a izolační schopnosti po určitou dobu trvání požáru) dle zkušební evropské normy ČSN EN 13501-2:2004 pro klasifikaci stavebních výrobků na základě zkoušek. Zmíněná evropská norma udává, že dané požární odolnosti (EI) může být dosaženo tak, že spalinová cesta má sama o sobě požadovanou požární odolnost, nebo je spalinová cesta vestavěna do šachty, jejíž stěny splňují požadavek na požární odolnost, případně spalinová cesta s opláštěním jako celek splňuje požadovanou požární odolnost. Mimo jiné se v normě dočteme konstrukčních zásad pro styk dřevěných konstrukcí s komínovým zdivem, viz [kapitola 2.7](#).

Obyčnými požadavky po umístění a zabudování komínu ve stavbě včetně požární odolnosti se zabývá norma ČSN EN 1443:2019 [37]. Norma nařizuje, že výrobce systémového komínu musí deklarovat minimální vzdálenost hořlavých výrobků od komínového tělesa, což platí pro požární odolnost z vnitřku ven provětrávanou dutinou. Tato norma je k letošnímu listopadu novelizovaná, a to zejména v části požární odolnosti, kde se stanovuje změna, která stanovuje minimální vzdálenost včetně dutin uzavřených. To znamená, že je mezi komínovým tělesem a hořlavou stavební konstrukcí možno dutinu utěsnit například tepelnou izolací třídy reakce na oheň A1/A2. Tato změna má být doplněna prostřednictvím indexu k požární odolnosti proti vyhoření sazí Gxx (a-1) (tab. 3), neboli požární odolnosti z vnitřku ven (obr. 15)

tab. 3: Doplnění indexu k odolnosti G proti vyhoření sazí dle ČSN EN 1443:2019 (volně přeloženo) [37]

| Typ zkušební konstrukce | Konstrukce typu |            |            | Prostup podlahou |            | Uzavřenost |
|-------------------------|-----------------|------------|------------|------------------|------------|------------|
|                         | stěna           | 1. podlaží | 2. podlaží | 1. podlaží       | 2. podlaží |            |
| a                       | WC100           | F1C200     | F2C100     | F1P0C            | F2P0C      | E0         |
| b                       | WC100           | F1C200     | F2C100     | F1P1C            | F2P1C      | E3         |
| c                       | WC100           | F1C200     | F2C400     | F1P1C            | F2P3C      | E3         |
| d                       | WC100           | F1C400     | F2C100     | F1P3C            | F2P0C      | E0         |
| e                       | WC300           | F1C500     | F2C200     | F1P3C            | F2P3C      | E0         |
| f                       | WC100           | F1C200     | F2C100     | F1P3C            | F2P3C      | E0         |
| g                       | WC500           | F1C1000    | F2C200     | F1P3C            | F2P3C      | E0         |
| h                       | WC400           | F1C200     | F2C400     | F1P3C            | F2P3C      | E5         |
| i                       | WC300           | F1C200     | F2C1000    | F1P3C            | F2P3C      | E5         |
| j                       | WC500           | F1C200     | F2C1000    | F1P3C            | F2P3C      | E5         |
| k                       | WC600           | F1C200     | F2C600     | F1P3C            | F2P3C      | E5         |
| l                       | WC300           | F1C200     | F2C500     | F1P3C            | F2P3C      | E5         |

Poznámka:

W – konstrukce stěny

F1 – 1. podlaží; C100 je stěna/podlaha s tloušťkou izolace 100 mm

F2 – 2. podlaží; Cx00 je stěna/podlaha s tloušťkou v násobcích 100 mm

P0C – odvětrávaný prostup podlahou, plně odvětráno, nic mezi komínem a podlahou

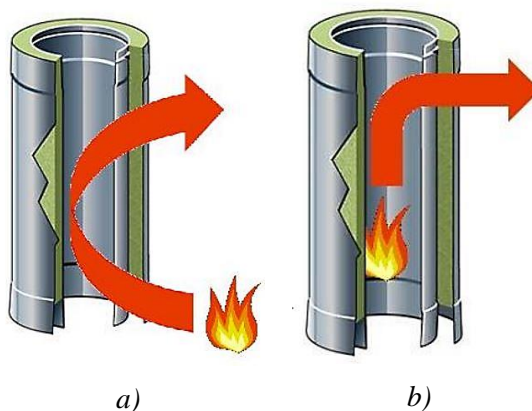
P1C – prostup podlahou částečně uzavřený bez izolace, dle výrobce

P3C – prostup podlahou zcela utěsněn izolací, dle výrobce

E3 – uzavřený bez roštu (mřížky), dle výrobce

E5 – chráněná mezera mezi komínem a zkoušenou konstrukcí, dle výrobce

Pro požární odolnost z vnějšku ven (obr. 15) norma nepřímou odkazuje na odpovídající zkušební předpisy. Zatím však nebyla vydána odpovídající evropská zkušební norma a mělo by se postupovat dle národních norem, jsou-li ovšem k dispozici.



obr. 15[39]: Požární bezpečnost komínů: a) požární odolnost z vnějšku ven; b) požární odolnost z vnitřku ven

Zkušební evropské normy pouze stanovují požární odolnost z vnitřku ven – proti vyhoření sazí. Tato norma ve svém dodatku A1 informuje, že není k dispozici žádná zkušební metoda na odolnost zvnějšku ven. Místo toho má být hodnocena dle národních předpisů. Tyto normy jsou dostupné pouze pro keramické komínové a plastové vložky, ale žádná pro nerezové/kovové komíny. Pro tyto komíny se použijí zkušební normy pro šachty a potrubí. Což znamená, že nerezový kovový komín lze zabudovat do šachty s požární odolností, nebo je možné komín umístit na fasádu.

Podle získaných informací, společností Schiedel<sup>2</sup> a PAVUS<sup>3</sup> využívají zkoušek a hodnocení dle německé národní technické normy DIN 18160-1 – Komínové systémy – návrh a realizace a navazujících předpisů s tím, že deklarují požární odolnost podle jiného zvláštního dokumentu.

Jako shrnutí informací lze konstatovat, že v oblasti komínových systémů v požární bezpečnosti není příliš použitelných informací a je potřeba se na to zaměřit mimo jiné v oblasti výzkumu a zkoušek – experimentů, které by nám mohly být později nápomocné a zjednodušit posuzování komínů.

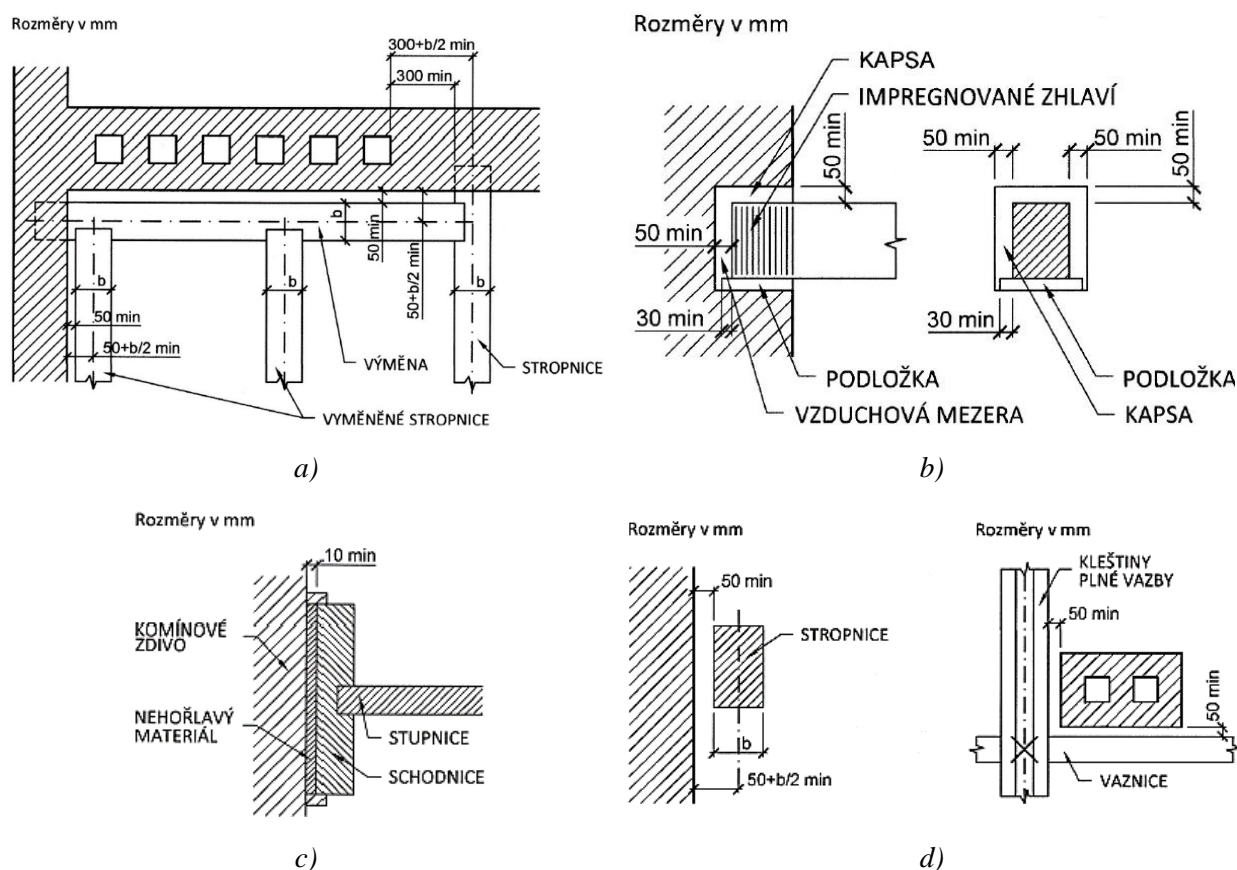
## 2.8 Technické řešení a místa prostupu hořlavou konstrukcí

Konstrukčními zásadami pro styk dřevěných konstrukcí se zdívkou a komínovým zdívkou se zabývá především ČSN 73 4201 ed.2 [38], čl. 1.3 v příloze G. Zde jsou uvedeny minimální vzdálenosti pro uložení dřevěných nosníků od komínového zdiva. Minimální vzdálenost pro uložení dřevěného nosníku je 50 mm od komínové pláště pro zajištění provětrávané dutiny. Uložení dřevěného nosníku do komínového zdiva s komínovými průduchy musí být tak, že vzdálenost bočního povrchu nosníku od vnitřního líce komínového průduchu bude minimálně 300 mm (obr. 16).

<sup>2</sup> <https://www.schiedel.com/cz/>

<sup>3</sup> <http://www.pavus.cz/index.php>

Jak již bylo zmíněno v kapitole výše, prostor mezi komínovým pláštěm a hořlavým materiálem by měl být tvořen trvale větranou vzduchovou mezerou. To se týká celé délky komínů, tedy i všech průstupů komínového tělesa stropní i střešní konstrukcí, včetně průstupů stěnou tvořenou hořlavými materiály. V případě, že toto řešení není konstrukčně proveditelné (veškeré současné nízkoenergetické a pasivní stavby), lze teoreticky mezeru vyplnit izolačním materiálem a minimální vzdálenost stanovit výpočtem. Jistým vodítkem mohou být vzory řešení uvedené v ČSN 06 1008 [40], které jsou ovšem poplatné době vzniku (před rokem 1997) a v současné praxi tedy těžko použitelné [9].



obr. 16 [38]: Konstrukční zásady pro umístění hořlavých prvků u komínu: a) Uložení dřevěného nosníku do komínového zdiva a na výměnu rovnoběžnou s komínovým zdivem; b) uložení dřevěného nosníku do zdiva; c), d) prvky probíhající podél zdiva

## 2.8.1 Technologické provedení průstupů

Způsobů provedení a umístění především kovových komínů ve stavbě není mnoho. Nejčastější řešení je umístit kovový, respektive nerezový komín na fasádu objektu. Každopádně se volí mimo jiné umístění v obálce budovy a to tak, že by se průstup jak hořlavou konstrukcí stěny, tak hořlavou stropní a střešní konstrukcí měl utěsnit nehořlavým materiálem, případně tepelnou izolací z minerálních vláken. Utěsnění nehořlavým, respektive žáruvzdorným materiálem používají

přední výrobci<sup>4)5)6)</sup> systémových nerezových komínů a požárních průchodek<sup>7)</sup> v České republice. Jedná se o materiály z vermikulitu, kalcium silikátu, skleněného vlákna na bázi oxidu křemičitého, vápenného

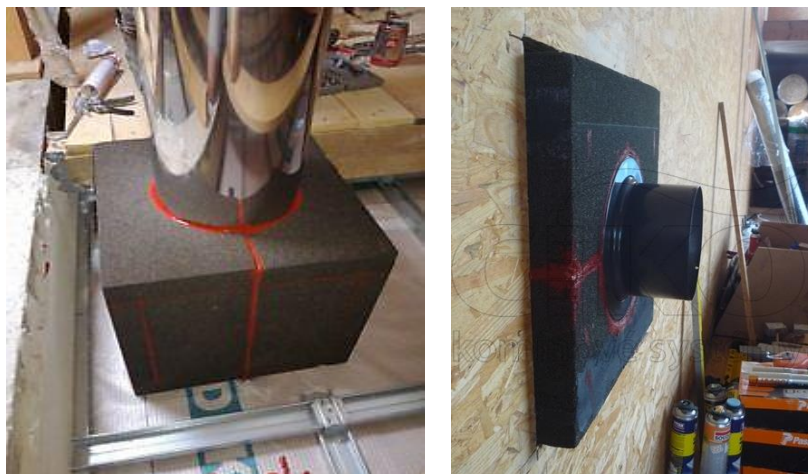
a hořčnatého, dále liapor-betonu, pěno-skla a izolace z minerálních vláken (obr. 17). Právě v případě nízkoenergetických a pasivních staveb je pro výrobce důležité, aby bylo možné napojení střešní a pojistné hydroizolace na nerezový komín včetně napojení na žáruvzdorný materiál.

Utěsněním nehořlavými materiály i přes požadavky na provětrávanou dutinu se výrobci řídí zkušebními normami ČSN 06 1008 [40] a eurokódy pro určení minimální vzdálenosti komínu od hořlavých konstrukcí.

## 2.8.2 Prostupy kovových komínů

Jakékoliv podcenění problematiky vedení vícevrstvého kovového komína hořlavým stavebním materiálem přináší dříve či později problémy s možným požárem budovy. Nebezpečí je o to větší, že požár může vzniknout až po řadě měsíců, ale i po dokončení stavby, kdy dojde k samovznícení dřevěné konstrukce (obr. 18). Chybné provedení detailu prostupu komína nemusí zjistit ani revizní technik spalinových cest při revizi komína a kouřovodu, protože k průchodu stropní konstrukcí není obvykle přístup. Odpovědnosti se ale nevyhne stavební firma nebo dodavatel komína, kteří musí znát komínové a požární normy a musí zajistit požární bezpečnost budovy [41].

### Několik příkladů správně provedených prostupů



a)

---

<sup>4</sup> <https://www.schiedel.com/cz/produkty/nerezove-kominove-systemy/ignis-protect/>

<sup>5</sup> <https://ciko-kominy.cz/prostupy/>

<sup>6</sup> <https://www.kominy-komin.cz/pb/>

<sup>7</sup> <http://web.promatpraha.cz/>



c)



c)

obr. 17: Prostory kovových komínů hořlavou stavební konstrukcí: a) stropní/stěnová průchodka z pěnového skla<sup>8</sup>; b) průchodka z vermikulitu<sup>9</sup>; c) komínová šachta z kalcium silikátu<sup>10</sup>

### Několik příkladů požárů od chybně provedených postupů kovových komínů



a)



b)

<sup>8</sup> <https://ciko-kominy.cz/prostupy/>

<sup>9</sup> <https://www.schiedel.com/cz/produkty/nerezove-kominove-systemy/vermis/>

<sup>10</sup> <https://www.kominy-komin.cz/pb/>





c)



d)



e)

obr. 18[36]: Požáry od prostupů kovových komínů dřevěnou konstrukcí: a) prostup vícevrstvého komína dřevěným stropem bez průchodky; b) vícevrstvý kovový komín vedený dřevěnou stropní konstrukcí; c) nad neizolovaným kouřovodem od krbu vedena pozednice dřevěného krovu; d) výsledek nesprávně zaizolovaného prostupu stropem<sup>11</sup>; e) požár dřevěné stěny při průchodu kouřovodu do komína vedeného u fasády budovy.

---

<sup>11</sup> <https://ciko-kominy.cz/prostupy/>

### 3 Experiment 1 – tepelná degradace UV zářením

Níže představená experimentální metoda je vytvořena tak, aby vystihla dlouhodobou tepelnou degradaci dřevěného prvku v uzavřené hořlavé stavební konstrukci (strop, střecha, stěna) a blízkosti komínového tělesa. Dosavadní experimenty, které byly provedeny, se zabývaly především zkoušením vlastností dřeva a jeho složek za zvýšených teplot, a na vzorcích malého formátu. Vytvořil se experiment, při kterém bude dřevěný povrch dlouhodobě namáhán sálavým zdrojem tak, aby bylo co nejlépe napodobeno sezónní topení v komíně. Druh sálavého zdroje byl vybrán tak, aby bylo možné povrch dřevěného vzorku degradovat nerovnoměrně a přerušovaně.

V experimentu jsou znázorněny různé stupně tepelné degradace dřevěného prvku podle doby jeho zabudování do stavby:

- **1. stupeň tepelné degradace** = čerstvě zabudovaný prvek. To znamená, že má svoji přirozenou vlhkost a není nijak tepelně upraven.
- **2. stupeň tepelné degradace** = prvek, který již prošel tepelnou proměnou ve stavbě. Tento prvek je namáhán dlouhodobou tepelnou expozicí v interiéru, kdy je dosažena rovnovážná vlhkost.
- **3. stupeň tepelné degradace** = prvek po dlouhodobém namáhání interiérovou teplotou a zároveň je uložený v blízkosti komínového tělesa v topné sezóně.

Tato řešení jsou s ohledem na současnou výstavbu dřevostaveb, což míní převážně uložení u nerezového komínového pláště. Zdroj sálavého tepla tvoří UV žárovka o výkonu 150 W. Tento zdroj je navržený v návaznosti na již provedené experimenty v této oblasti, kdy se v okolí komínového tělesa při provozu vyskytovaly teploty nižší než 100 °C [9]. Pro napodobení stavu nerovnoměrného topení bude žárovka napojena přes spínací hodiny, což zajistí cyklické namáhání povrchu.

#### 3.1 Cíl experimentu

Podstatou experimentu je vytvoření tepelně degradovaných dřevěných vzorků. Tepelnou degradací se vysuší a sníží vlhkost. Degradované vzorky, dle teoretických předpokladů, by měly být náchylnější ke vznícení/samovznícení. Vzorky se dále použijí pro navazující experiment, ve kterém budou pozorovány a měřeny požárně technické charakteristiky.

#### 3.2 Popis a příprava vzorků

Pro experiment se vytvořily vzorky smrkového dřeva. Zvolilo se smrkové dřevo, protože je to nejčastěji používaný druh dřeva pro stavební konstrukce, především pro stropní a střešní sestavy.

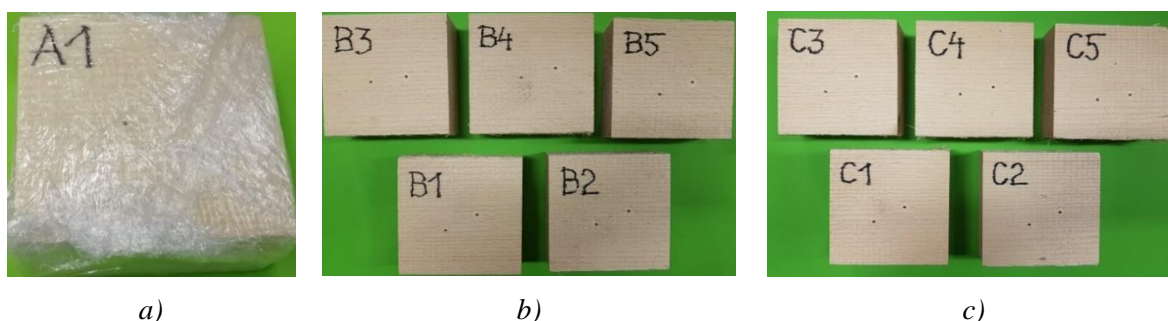
Vzorky se vyřezaly z fošny na kvádry o rozměru 100 x 100 x 48±2 mm a rozdělily se do tří následujících skupin (A, B, C) po pěti vzorcích, kdy každá skupina reprezentuje dřevěný prvek různou dobu ve stavbě (obr. 19):

- skupina vzorků A1 – A5,
- skupina vzorků B1 – B5,
- skupina vzorků C1 – C5.

**Skupina vzorků A** představuje dřevěný nosník zabudovaný čerstvě ve stavbě, o přirozené vlhkosti a hmotnosti, neošetřený a nevysušený; bez tepelné degradace.

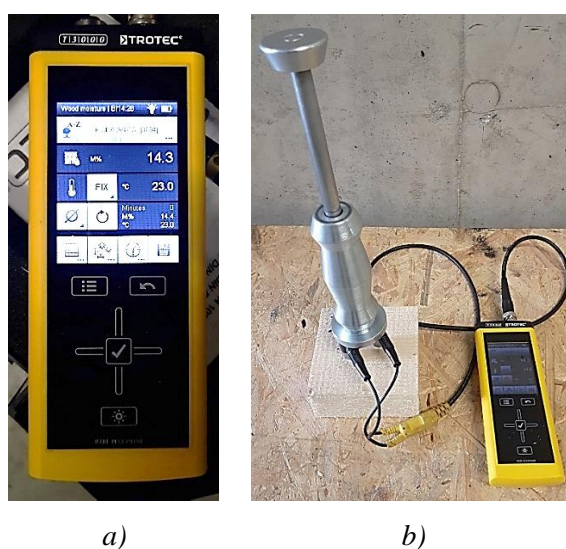
**Skupina vzorků B** představuje dřevěný nosník zabudovaný delší dobu ve stavební konstrukci, vystavený provozní interiérové teplotě – první stupeň tepelné degradace.

**Skupina vzorků C** představuje dřevěný nosník zabudovaný blízko komínového pláště ve stavební konstrukci, vystavený jak interiérové teplotě, tak vlivu provozu komínu (nerovnoměrné topení) – druhý stupeň tepelné degradace.



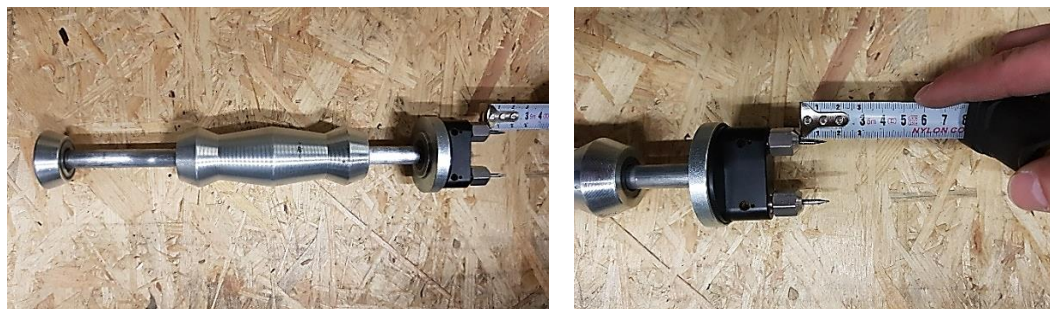
obr. 19: Skupiny vzorků: a) vzorek A již zabalen do folie; b) skupina vzorků B; c) skupina vzorků C

Vzorky se podrobily měření hmotnostní vlhkosti pomocí laboratorního vlhkoměru a hmotnosti pomocí laboratorních vah (tab. 4). Před samotným měřením vlhkosti bylo zapotřebí nejprve kalibrovat vlhkoměr na teplotu a vlhkost uvnitř požární laboratoře. Teplota byla 23 °C a vlhkost cca 36 % (obr. 20).



obr. 20: Měření vlhkoměrem Trotec T3000: a) kalibrace přístroje; b) měření vlhkosti prostřednictvím zárazecí elektrody

Při měření hmotnostní vlhkosti vzorků se do každého vzorku vrazily pomocí zarážecí sondy elektrody s hroty o délce 13 mm a do jedné minuty přístroj udal hodnotu vlhkosti vzorku (obr. 21).



obr. 21: Zarážecí sonda s elektrodami

tab. 4: Počáteční hmotnost a změřená vlhkost po výrobě vzorků (26. 4. 2019)

| Vzorek  | Hmotnost [g] | Vlhkost $\omega_0$ [%] |
|---|--------------|------------------------|
| A1  | 221,9        | 14,2                   |
| A2  | 222,3        | 14,2                   |
| A3  | 220,5        | 14,1                   |
| A4  | 223,3        | 14,3                   |
| A5  | 225,8        | 14,4                   |
| B1  | 219,6        | 14,1                   |
| B2  | 222,6        | 14,2                   |
| B3  | 221,6        | 14,1                   |
| B4  | 221,2        | 13,9                   |
| B5  | 227,0        | 14,5                   |
| C1  | 224,6        | 15,0                   |
| C2  | 218,0        | 14,7                   |
| C3  | 220,4        | 11,5 <sup>(*)</sup>    |
| C4  | 226,2        | 14,8                   |
| C5  | 221,0        | 14,9                   |
| (*) vlhkost vzorku byla měřena 2x kvůli ověření hodnoty |              |                        |

Vzorky A se následně zabalily do potravinářské fólie (obr. 19a), aby se zamezilo ztrátě nebo kumulaci vzdušné vlhkosti, na kterou je dřevo velmi náchylné, a ponechaly se pro navazující zkoušky popsané v kapitole 4.

Vzorky B a C se vložily do horkovzdušné sušárny a vysoušely se konstantní teplotou 70 °C po dobu jednoho týdne (obr. 22). Tato teplota byla zvolena jako optimální a odpovídající teplotě, která se může vyskytovat po dlouhodobé expozici v interiéru, kterou je utěsněn prostup kovového komínu v provozu [9]. Nebylo nutné, aby se vzorky vysušovaly příliš prudce vysokou teplotou, ale zároveň ani nízkou – pro lepší představu dlouhodobého vystavení nízké teplotě v uzavřené stavební konstrukci. Po vyjmutí ze sušárny se opět zvážily (tab. 6), nebyla jim však změřena vlhkost laboratorním vlhkoměrem (nebyl k dispozici), takže procenta vlhkosti jsou určena

výpočtem dle vztahu níže. Takto připravené vzorky se zabalily do fólie a ponechaly pro navazující experiment.



obr. 22: Skupiny vzorků B a C v sušárně o teplotě 70 °C po době jednoho týdne

**Výpočet vlhkosti dřeva byl stanoven dle následujícího vztahu:**

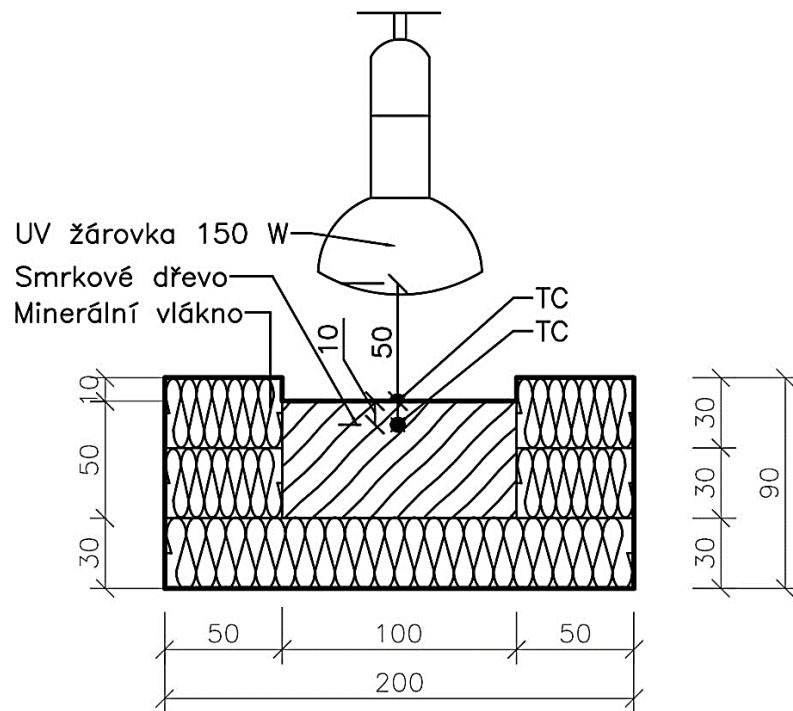
$$\omega = \left( \frac{m1 - m0}{m0} \right) \times 100 \text{ [%]} \quad (\text{rovnice 1})$$

kde:  $m1$  – hmotnost vzorku ve vlhkém stavu [g]  
 $m0$  – hmotnost vzorku ve vysušeném stavu [g]  
 $\omega$  – vlhkost [%]

tab. 5: Hmotnosti a přibližné vlhkosti po týdnu v sušárně o teplotě 70 °C (2. 5. 2019)

| Vzorek                       | $m1$ [g] | $m0$ [g] | $\omega$ [%] |
|------------------------------|----------|----------|--------------|
| B1                           | 219,6    | 194,0    | 13,2         |
| B2                           | 222,6    | 196,2    | 13,5         |
| B3                           | 221,6    | 195,8    | 13,2         |
| B4                           | 221,2    | 195,2    | 13,3         |
| B5                           | 227,0    | 199,4    | 13,8         |
| C1                           | 224,6    | 196,4    | 14,4         |
| C2                           | 218,0    | 191,0    | 14,1         |
| C3                           | 220,4    | 198,6    | 11,0         |
| C4                           | 226,2    | 197,8    | 14,4         |
| C5                           | 221,0    | 193,4    | 14,3         |
| $\omega$ – vypočtená vlhkost |          |          |              |

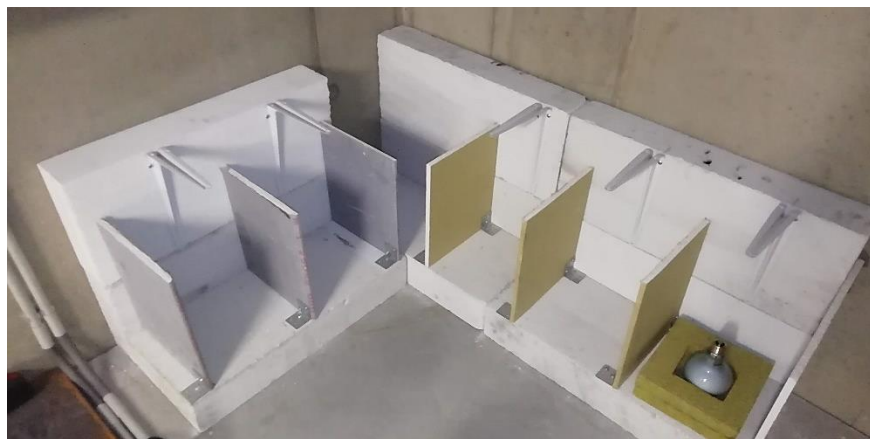
Aby se při sálání na vzorek alespoň částečně zamezilo úniku tepla ze dřeva, navrhlo se, že se vzorky vloží do boxu vytvořeného z minerální izolace. Box byl vytvořen ze tří desek z minerální vaty (protipožární izolace Isover) tloušťky 30 mm, nařezaly se z nich čtverce o délce strany 200 mm a do vždy do dvou se centricky vyřízl otvor 100 x 100 mm, třetí kus zůstal v celku a tvořil dno. Takto se daly vždy tři čtverce na sebe na celkovou výšku 90 mm, kdy po vložení dřevěného kvádru vata přesahuje horní hranu vzorku 10 mm (obr. 23).



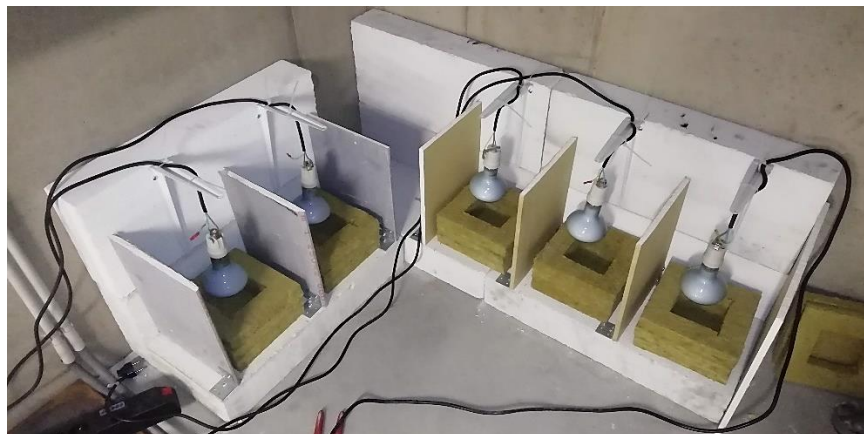
obr. 23: Schéma experimentu degradace dřeva UV lampou

### 3.3 Příprava experimentu

V požární laboratoři se do rohu místnosti vyskládalo několik pórobetonových tvárnice Ytong (100 x 249 x 599 mm), do kterých se přidělaly přepážky ze sádkartonu, jež vytvořily 5 stejných komor. Do každé z komor se na svisle loženou tvárnici přidělaly držáky pro žárovku. Do komor se poté vložily připravené boxy z minerální vaty (obr. 24).



a)



b)

obr. 24: Prostor experimentu: a) vyskládané tvárnice s přepážkami a držáky; b) uložené boxy

Pro zapojení UV žárovky se zajistily kabely se zástrčkou a objímkou. Vše se zapojilo do spínacích hodin a do elektrické sítě. Po přípravě prostoru se vložily rozbalené vzorky B a C do sušárny na teplotu 70 °C na 9 dní (obr. 25) pro ověření ustáleného stavu hmotnosti. Po vytažení ze sušárny se zvážily na laboratorních vahách s přesností 0,001 g a další den znovu. Vážení ve dvou dnech proběhlo z důvodu ověření ustálení stavu úbytku hmotnosti. Vzhledem k tomu, že hmotnost při obou váženích se lišila pouze o desetiny gramů, může být konstatováno, že se hmotnosti vzorků nachází v ustáleném stavu a není potřebné vzorky dále sušit (tab. 6).



obr. 25: Skupiny vzorků B a C podruhé v sušárně na teplotu 70 °C

Po zvážení se zabalily zpět do potravinářské folie. Orientační výpočet vlhkosti je dle empirického vztahu pro dřevo. Nepřesnosti ve vážení během těchto dvou dní mohou být způsobeny rozdílnou teplotou a vlhkostí v místnosti a manipulací se vzorky na váze. Nicméně tyto drobné nepřesnosti nebudou zohledněny v dalších měřeních.

**Výpočet vlhkosti dřeva byl stanoven dle následujícího, upraveného, vztahu:**

$$\omega_1 = \omega - \left( \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \right) [\%] \quad (\text{rovnice 2})$$

kde:  $m_1$  – hmotnost vzorku ve vlhkém stavu [g]  
 $m_0$  – hmotnost vzorku ve vysušeném stavu [g]

$\omega$  – původní vypočtená vlhkost [%]

$\omega_1$  – vypočtená vlhkost [%]

tab. 6: Hodnoty hmotnosti (váženo) a vypočtené vlhkosti po 9 dnech v sušárně (29. a 30. 8. 2019)

| Vzorek | $m_1$ [g] | $m_0$ [g] | $\omega$ [%] | $\omega_1$ [%] |
|--------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| B1     | 194,0     | 194,5     | 13,2         | 13,4           |
| B2     | 196,2     | 196,8     | 13,5         | 13,8           |
| B3     | 195,8     | 196,4     | 13,2         | 13,5           |
| B4     | 195,2     | 196,0     | 13,3         | 13,7           |
| B5     | 199,4     | 200,0     | 13,8         | 14,1           |
| C1     | 196,4     | 197,1     | 14,4         | 14,7           |
| C2     | 191,0     | 191,7     | 14,1         | 14,5           |
| C3     | 198,6     | 199,2     | 11,0         | 11,3           |
| C4     | 197,8     | 198,2     | 14,4         | 14,6           |
| C5     | 193,4     | 193,8     | 14,3         | 14,5           |

| Vzorek | $m_1$ [g] | $m_0$ [g] | $\omega$ [%] | $\omega_1$ [%] |
|--------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| B1     | 194,5     | 194,5     | 13,4         | 13,4           |
| B2     | 196,8     | 196,8     | 13,8         | 13,8           |
| B3     | 196,4     | 196,4     | 13,5         | 13,5           |
| B4     | 196,0     | 196,0     | 13,7         | 13,7           |
| B5     | 200,0     | 200,1     | 14,1         | 14,2           |
| C1     | 197,1     | 197,1     | 14,7         | 14,7           |
| C2     | 191,7     | 191,7     | 14,5         | 14,5           |
| C3     | 199,2     | 199,3     | 11,3         | 11,3           |
| C4     | 198,2     | 198,3     | 14,6         | 14,6           |
| C5     | 193,8     | 193,9     | 14,5         | 14,5           |

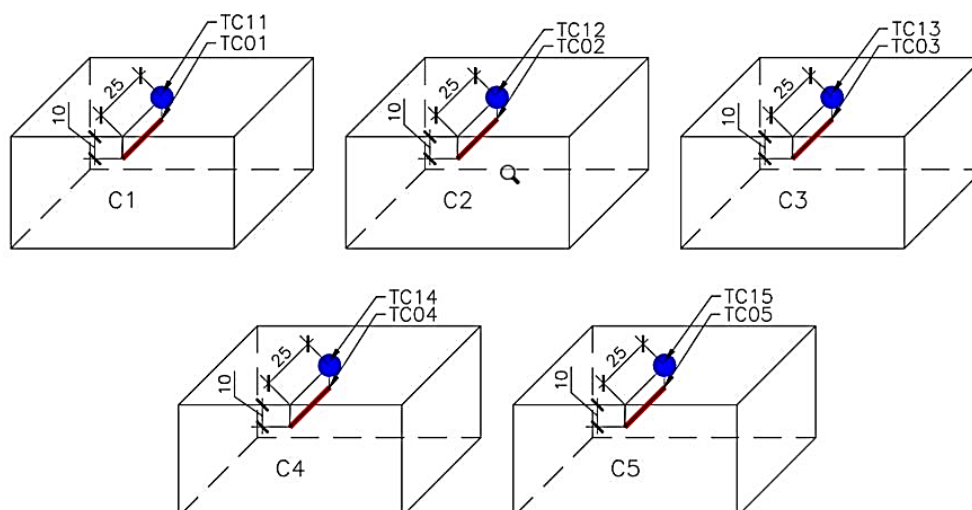
### 3.4 Tepelná degradace vzorků žárovkou

Tento stupeň degradace se provedl pouze skupině vzorků C. Před začátkem degradace žárovkou se vzorky rozbaly z fólie a vyvrtal se do nich otvor o průměru 2 mm z boční strany, 10 mm pod horní hranu a cca 45 mm do hloubky (obr. 27). Do otvoru každého vzorku se vsunul plášťový termočlánek průměru 1,5 mm, kterým se snímala teplota uvnitř vzorku během namáhání žárovkou. Potom se na každý vzorek na horní povrch přidělal kabelový termočlánek typu K průměru 0,5 mm pro snímání teploty na povrchu. Tento termočlánek se přelepil hliníkovou páskou, aby se snímala teplota na povrchu vzorku a nikoli teplota sálajícího tepla ze žárovky (obr. 26).



obr. 26: Přelepení termočlátku hliníkovou páskou





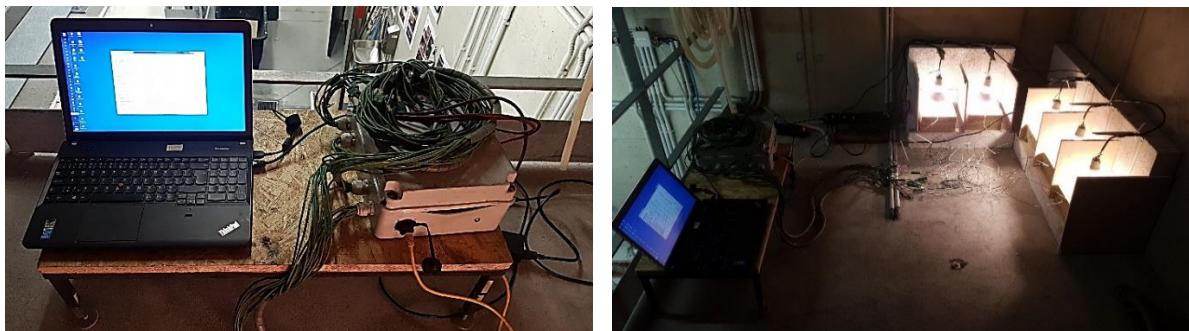
obr. 27: Umístění a popis termočlánků ve skupině vzorků C

Vzorky se po vyvrtání otvorů pro termočlánky vložily do připravených boxů a připojily na spínací hodiny. Hodiny se nastavily tak, aby žárovka svítila cyklicky po 3 hodinách, tj. 3 hodiny svítí, 3 hodiny nesvítí (obr. 28, obr. 30). Termočlánky se zapojily do ústředny a rozběhla se degradace vzorků žárovkou, která trvala cca 50 dní.

Z technických důvodů a neočekávaných mimořádných událostí bylo měření několikrát přerušeno, nicméně na samotný průběh degradace to nemělo vliv. Dat z ústředny bylo přijato dostatečné množství pro další zhodnocení, záznam jednoho dne (obr. 30), záznam dlouhodobý v Příloze 1.



obr. 28: Degradace skupiny vzorků C UV žárovkou – začátek (3. 9. 2019)



obr. 29: Zapojení termočlánků do ústředny se záznamem dat do počítače

Po ukončení fáze namáhání se vzorky vyjmuly, zvažily na laboratorních vahách, provedl se výpočet vlhkosti (tab. 7), zabalily se do potravinářské folie a ponechaly pro navazující experiment.

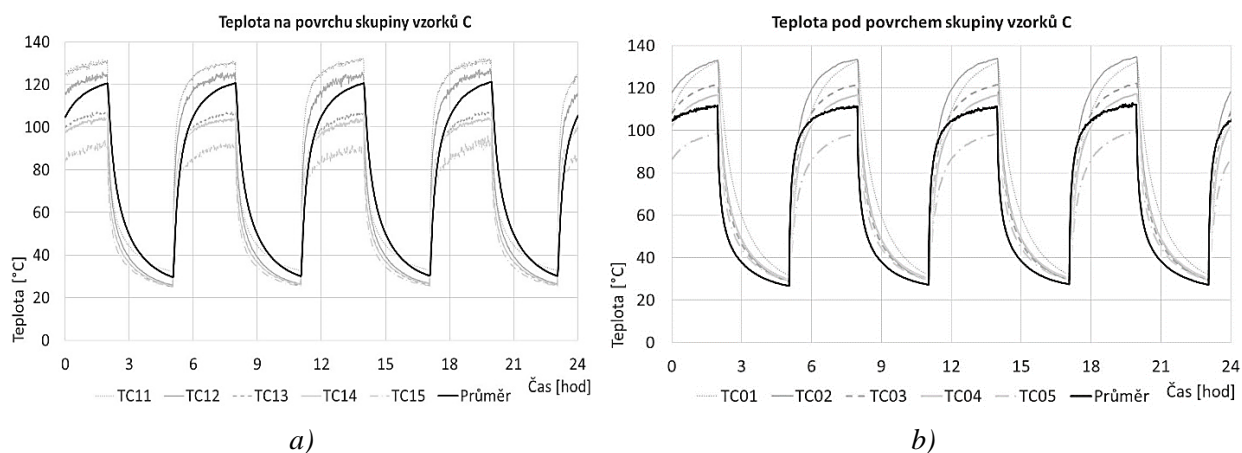
**Výpočet vlhkosti dřeva byl stanoven dle následujícího vztahu:**

$$\omega_1 = \omega - \left( \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \right) [\%] \quad (\text{rovnice 2})$$

kde:  $m_1$  – hmotnost vzorku ve vlhkém stavu [g]  
 $m_0$  – hmotnost vzorku ve vysušeném stavu [g]  
 $\omega$  – původní vypočtená vlhkost [%]  
 $\omega_1$  – vypočtená vlhkost [%]

tab. 7: Vážení vzorků a výpočet jejich vlhkosti (1. 10. 2019)

| Vzorek | $m_1$ [g] | $m_0$ [g] | $\omega$ [%] | $\omega_1$ [%] |
|--------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| C1     | 197,1     | 188,0     | 14,7         | 9,9            |
| C2     | 191,7     | 186,4     | 14,5         | 11,7           |
| C3     | 199,3     | 196,7     | 11,3         | 10,0           |
| C4     | 198,3     | 195,9     | 14,6         | 13,4           |
| C5     | 193,9     | 192,8     | 14,5         | 14,0           |



obr. 30: Data z termočlánků: a) teploty na povrchu skupiny vzorků C; b) teploty pod povrchem skupiny vzorků C

### 3.5 Závěr experimentu

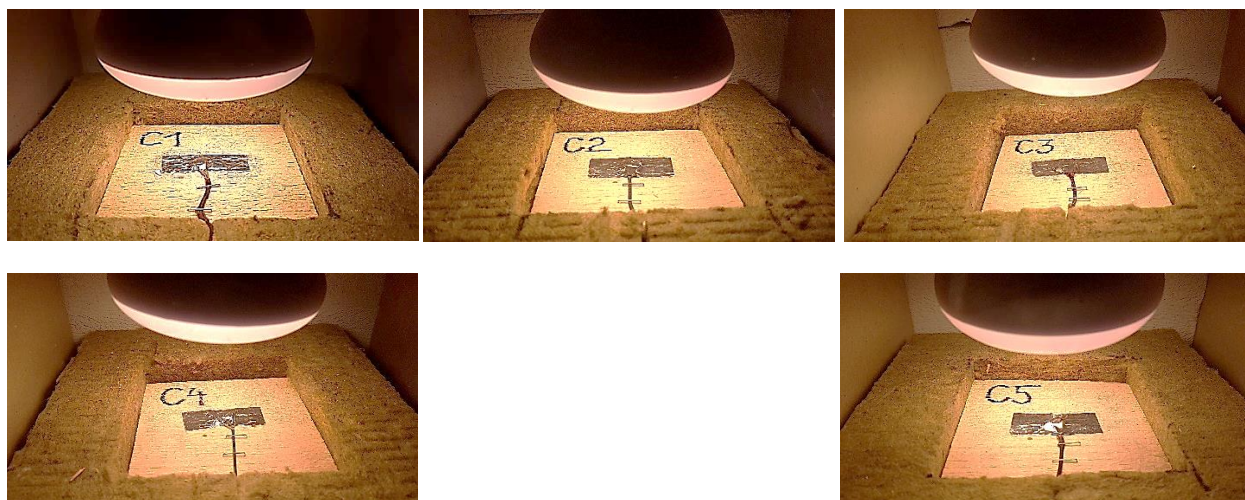
Pro tento experiment bylo vyrobeno 15 dřevěných vzorků ze smrkového dřeva. Vzorky se rozdělily do 3 skupin podle stupně degradace:

- skupina vzorků **A** – bez degradace,
- skupina vzorků **B** – vysušené v sušárně o konstantní teplotě 70 °C,
- skupina vzorků **C** – vysušené v sušárně o konstantní teplotě 70 °C a dále cyklicky tepelně namáhané sálavým zdrojem – UV žárovkou.

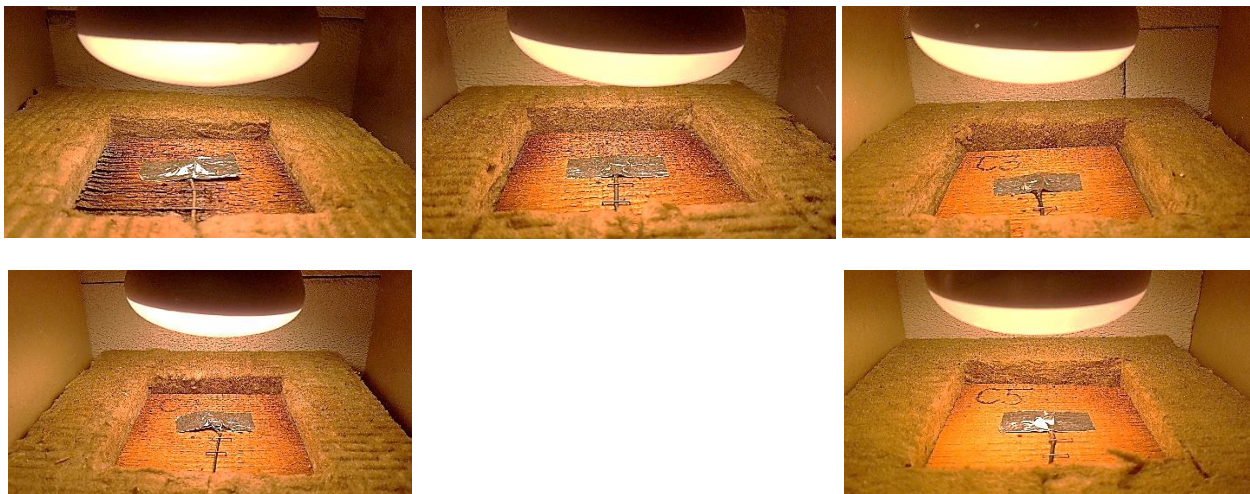
Všechny vzorky představují dřevěný prvek zabudovaný do izolované stavební konstrukce. **Skupina vzorků A** ukázala dřevěný prvek čerstvě ve stavbě. **Skupina vzorků B** ukázala prvek po nějaké době ve stavbě, kdy je namáhán provozní interiérovou teplotou, tj. vysušován. **Skupina vzorků C** ukázala dřevěný prvek v blízkosti komínového tělesa v topné sezoně, kdy je namáhán právě teplem z provozu komínu a dlouhodobou expozicí interiérové teploty.

Stěžejní částí tohoto experimentu bylo právě vytvoření vhodného druhu sálavého zdroje, díky kterému se podařilo alespoň částečně napodobit nepravidelný provoz (topení) komínu. Tímto zdrojem se stala UV žárovka o výkonu 150 W, která se zapojila do spínacích hodin, a tím se zajistilo cyklické namáhání dřevěného vzorku. Žárovka na vzorek působila periodicky po 3 hodinách, kdy se měřila pomocí termočlánků teplota na povrchu a pod povrchem. Teploty na povrchu ani pod povrchem zpravidla nepřekročily 150 °C.

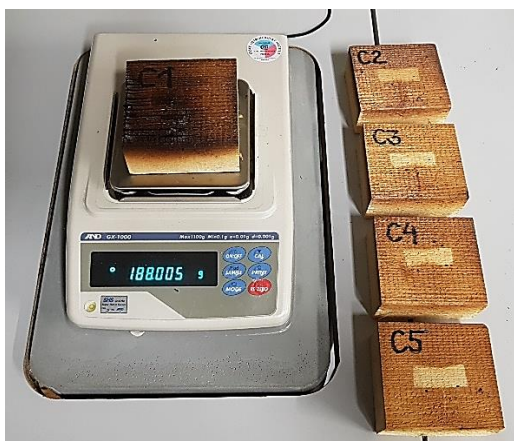
Podstatou experimentu bylo tedy vytvoření různých stupňů tepelné degradace podle doby zabudování dřevěného prvku do hořlavé stavební konstrukce v blízkosti sálavého zdroje tepla (komínu) a pozorování změn v jejich barvě, hmotnosti, vlhkosti a struktuře povrchu vystavenému degradaci. Vzorky v průběhu degradace jsou uvedeny na následující sekvenci fotografií (obr. 31, obr. 32).



obr. 31: Skupina vzorků C po započetí degradace UV žárovkou



obr. 32: Skupina vzorků C po cca 50 dnech degradace UV žárovkou



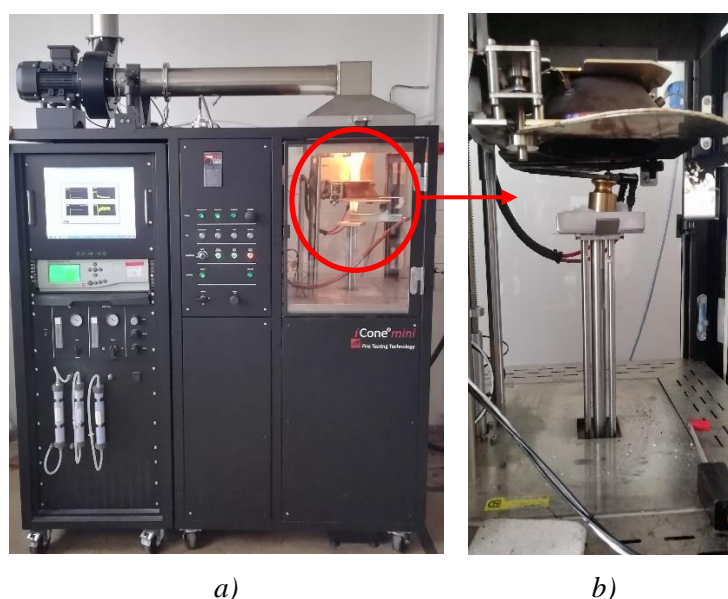
obr. 33: Vážení a pohled na degradovanou skupinu vzorků C

Při pohledu na finální degradaci vzorků C (obr. 33) si můžeme všimnout jasného rozdílu mezi vzorkem C1 a ostatními. Rozdílem těchto vzorků je především ve zbarvení a poruše povrchu. U vzorku C1 je vidět začínající zuhelnatění a popraskání povrchu. Tento jev je způsobený pravděpodobně atypickým kusem UV žárovky, i když bylo pořízeno pět stejných UV žárovek. Rozdíl v možnosti lokální anomálie vzorku C1 žárovkou je viditelný v grafech v Příloze 2.

## 4 Experiment 2 – proces hoření dřeva s různou úrovní degradace

Během experimentu byly zkoušeny všechny vzorky připravené v rámci předchozího experimentu (viz kapitola 3). Normové zařízení, kónický kalorimetr (obr. 34), se vybralo jako vhodné pro sledování hledaných parametrů, jimiž jsou:

- čas do vznícení vzorku –  $t_{ign}$ ,
- rychlost uvolňování tepla HRR –  $Q$ ,
- množství uvolněného tepla – THR,
- úbytek hmotnosti vzorků během odhořívání –  $m$ .



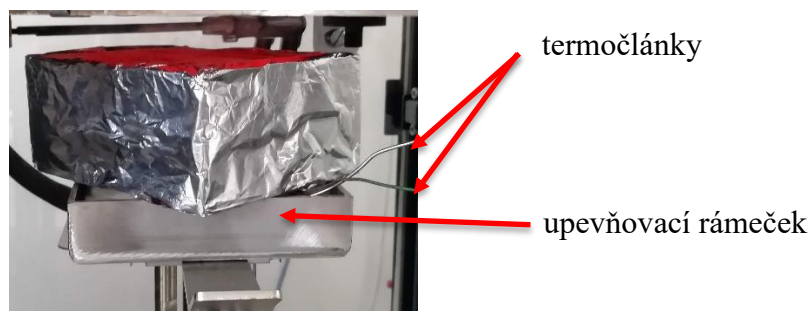
obr. 34: Kónický kalorimetr v TÚPO HZS ČR v Praze: a) pohled na kalorimetr při kalibraci; b) pohled na kónický zářič, kalibraci vah a držák vzorku

Hypotéza je taková, že by se časy do vznícení u různě degradovaných vzorků měly výrazněji lišit a tím si ověřit, že tepelnou degradací za nižší teploty je dřevo náchylnější k samovznícení. Pro samotnou zkoušku vzorků ze smrkového dřeva se na základě vlastního uvážení a předpokladu, že se v okolí izolovaného dřevěného prvku od komínového tělesa nevyskytují výrazně vysoké teploty, zvolila nižší normová hodnota hustoty tepelného toku dopadajícího na povrch, a to  $35 \text{ kW/m}^2$ . Tato hodnota je odpovídající teplotě zářiče  $755 \text{ °C}$  a teplotě na povrchu vzorku cca  $400 \text{ °C}$  (tab. 8) [35]. Pro potřeby experimentu byly použity od každé skupiny (A, B, C) tři vzorky, což je minimální počet pro relevantní zhodnocení výsledků zkoušky dle ISO 5660-1 [36].

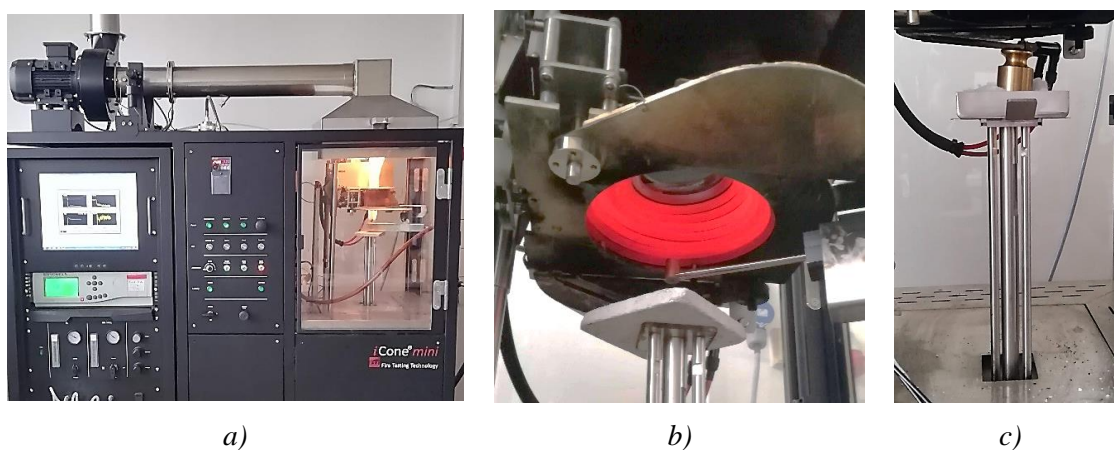
tab. 8: Určení teploty na povrchu vzorku (zdroj: kpt. Ing. Libor Šefčík, TÚPO HZS ČR) [35]

| $T_{\text{zářiče}} [^{\circ}\text{C}]$ | $Q [\text{kW/m}^2]$ | $T_{\text{povrchu}} [^{\circ}\text{C}]$ |
|--|---------------------|---|
| 20                                     | 0                   | 21                                      |
| 200                                    | 1,95                | 62                                      |
| 400                                    | 8,88                | 193                                     |
| 600                                    | 25,12               | 318                                     |
| 670                                    | 34,87               | 399                                     |
| 755                                    | 49,97               | 449                                     |

Jako stěžejní část zkoušky, aby se dalo hovořit o vznícení vzorku, se v kónickém kalorimetru **vypnula elektrická jiskra**, což je rozdíl oproti normovému postupu. Dále, oproti normovému postupu, se vzorky nechytily v upevňovacím kovovém rámečku, nýbrž na něj pouze položily, a to z důvodu připevnění termočlánků ze spodní části dřevěných kvádrů pro získání průběhu teplot uvnitř během hoření. Jinak by vložení kvádrů i s termočlánky do rámečku bylo velmi komplikované (obr. 35).



obr. 35: Vzorek položený na upevňovacím rámečku s termočlánky



obr. 36: Kalibrace kónického kalorimetru: a) měřící jednotky; b) teploty zářiče; c), d) kalibrace vah  
Před uskutečněním samotné zkoušky byly provedeny následující úkony (obr. 36):

- kalibrace analyzátoru kyslíku při běžné koncentraci v okolím vzduchu 20,95 %,
- zařízení měřících vah vytárováno na nulovou hodnotu,
- zapnutí jednotky pro sběr dat,
- obalení neexponovaného povrchu vzorku hliníkovou fólií,

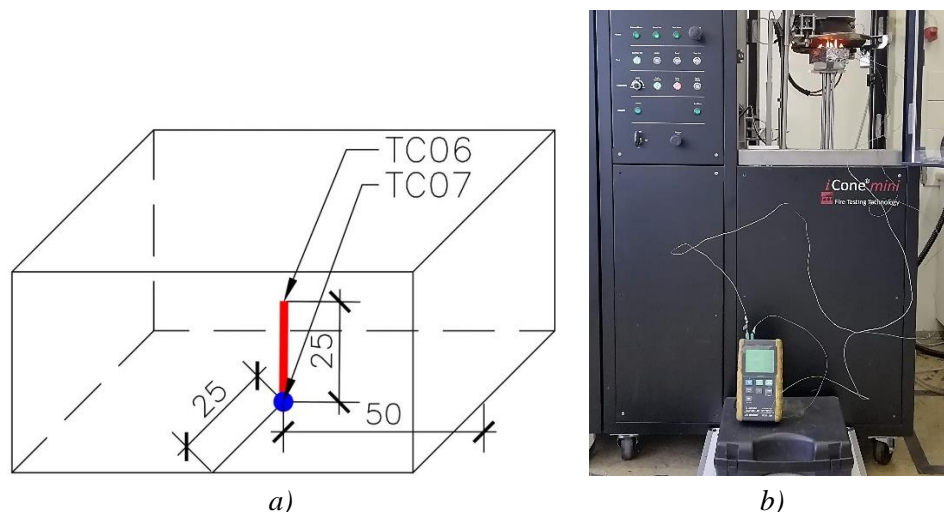
- uložení zkušebního vzorku na upevňovací rám.

## 4.1 Cíl experimentu

Vzorky budou vystaveny v kónickém kalorimetru určité hustotě tepelného toku a bude především sledováno, zda dojde ke **vznícení** vzorků o různé míře tepelné degradace a zda se doba do vznícení bude výrazně lišit u každé skupiny. V případě rychlosti uvolňování tepla se bude pozorovat jejich průběh, jestli bude u každé skupiny rozdílný, či podobný a jak častý bude výskyt špiček (píků) v grafu.

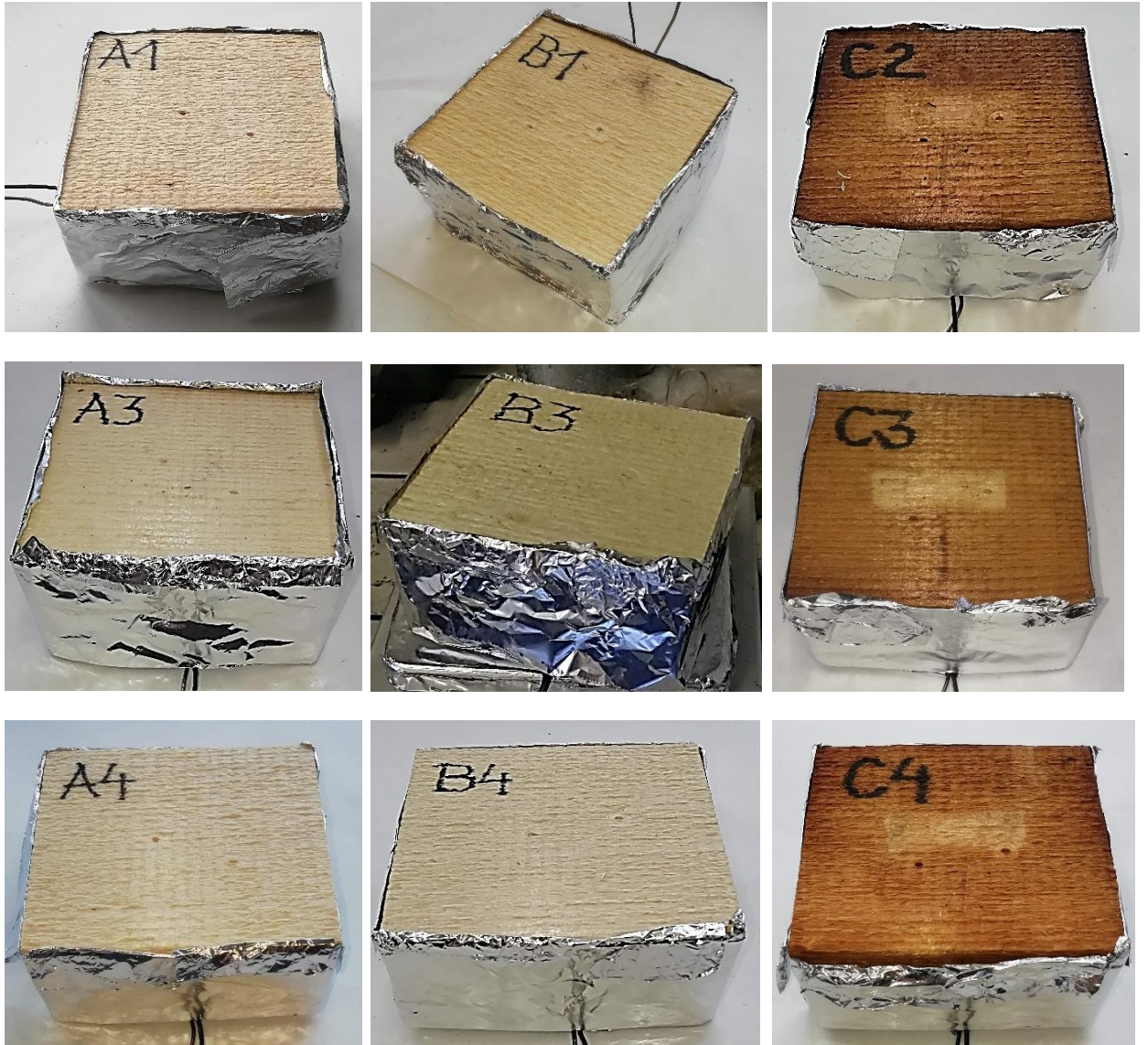
## 4.2 Příprava vzorků

Každý vzorek zůstal zabalený v potravinové fólii od doby ukončení tepelné degradace. Zajistilo se tedy zachování vlhkosti po prvním experimentu. Vzorek se rozbil až před samotnou zkouškou z potravinářské fólie proto, aby do počátku zahřívání kónickým zářičem absorboval co nejméně vzdušné vlhkosti a nebyla tak jeho původní vlhkost příliš ovlivněna. Do vzorku se ze spodní strany doprostřed a do hloubky 25 mm vyvrtal otvor o průměru 2 mm, do kterého se vsunul plášťový termočlánek průměru 1,5 mm (TC06) a na dno do středu se připevnil kabelový termočlánek typu K průměru 0,5 mm (TC07). Termočláanky se zapojily do externí ústředny nezávisle na kónickém kalorimetru a snímaly teplotu uvnitř vzorku během zkoušení hoření v kalorimetru (obr. 37).



obr. 37: Zapojení termočláneků: a) schéma umístění termočláneků ve vzorku; b) zapojení do ústředny

Po instalaci termočláneků se každý vzorek zabalil do hliníkové fólie, kdy zůstala nezabalena pouze exponovaná část (obr. 38). Vzorek se poté zvažil na laboratorních vahách (tab. 9), přičemž termočláanky vážení výrazně neovlivnily. Záznam teplot z termočláneků v následujících kapitolách. Snímáním teplot uvnitř a pod povrchem vzorků pomocí termočláneků se získají průběhy těchto teplot během hoření vzorků a dojde k jejich porovnání.



obr. 38: Vzorky obalené hliníkovou fólií a s termočláňky před zkouškou

tab. 9: Hmotnosti vzorků před vložením do kónického kalorimetru (včetně hliníkové fólie)

| Vzorek | Hmotnost [g] |
|--------|--------------|
| A1     | 206,7        |
| A3     | 237,8        |
| A4     | 200,6        |
| B1     | 226,6        |
| B3     | 220,1        |
| B4     | 186,6        |
| C2     | 215,5        |
| C3     | 217,2        |
| C4     | 183,5        |

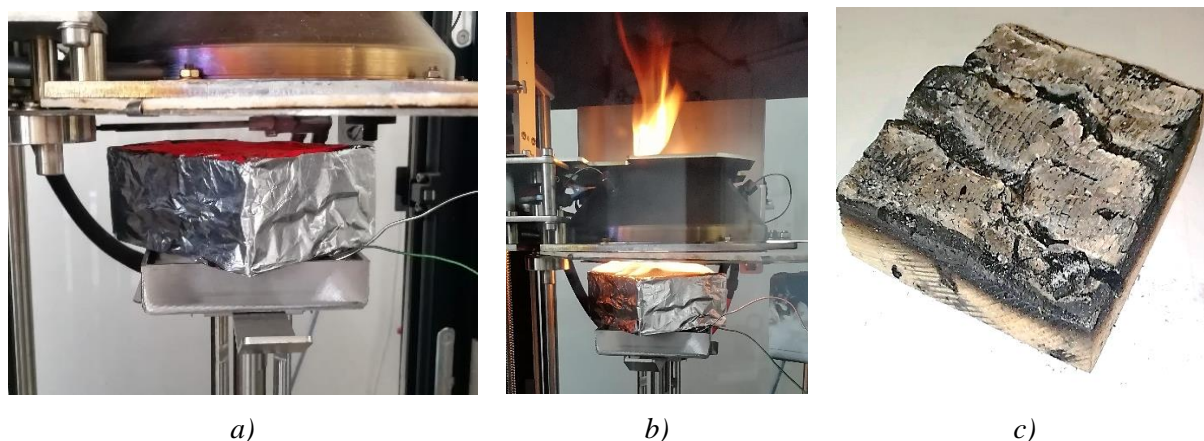


### 4.3 Průběh zkoušky

Vzorky zabalené do hliníkové fólie se vložily postupně do kónického kalorimetru a mohla začít měření. Každý vzorek se nechal v kalorimetru po dobu cca 25–30 min při hustotě tepelného toku  $35 \text{ kW/m}^2$ . Číselné označení každé skupiny vzorků (A1–A5, B1–B5, C1–C5) je pouze orientační, neboť každá skupina sama o sobě byla (ne)degradována za stejných podmínek. Proto při vyhodnocení zkoušky číselné označení není bráno v úvahu. Budou mezi sebou porovnány jednotlivé skupiny dle úrovně degradace.

#### Vzorek A1<sup>12</sup>

Ke vznícení vzorku došlo po cca 79 sekundách, kdy byla v 85-té sekundě zaznamenána maximální hodnota rychlosti uvolňování tepla  $151 \text{ kW/m}^2$ . Během zkoušky došlo k úbytku hmotnosti vzorku cca 90 g. Měření se ukončilo po 1879 sekundách a vzorek byl odebrán z kónického kalorimetru do odvětrávané komory k dohoření a vychladnutí (obr. 39<sup>13</sup>).



obr. 39: Zkouška vzorku A1: a) počátek ozařování; b) okamžik těsně po vznícení; c) spálený vzorek

Průběh zkoušky je pro všechny zkoušené vzorky stejný. Vzorky A2 a C1 byly vystaveny jiné hodnotě tepelného toku (vysvětleno v závěru). Vzorky B2 a B5 nebyly použity. Vzorek C5 nebyl použit pro odlišné zbarvení povrchu a vzhled po tepelné degradaci žárovkou. Ostatní vzorky měly velmi podobné zbarvení.

### 4.4 Diskuze získaných výsledků

Důležité zdůraznit, že dřevo je samo o sobě velmi složitý a komplexní materiál. Již z hodnot získaných z měření a pozorování je patrné, že i když tyto dřevěné kvádry byly vyrobeny z jednoho kusu fošny, tak se ani jeden z nich nechová stejně. Ze získaných dat je zřejmé, zda je dřevo čerstvé, vysušené nebo vysušené a degradované sálavým zdrojem.

<sup>12</sup> Ilustrativní popis zkoušky

<sup>13</sup> obr. 38 je ilustrativní, fotografie jsou pro všechny zkoušené vzorky velmi podobné a jsou vloženy v Příloze 2.

### Časy vznícení – $t_{ign}$

Časy vznícení (tab. 10) různě degradovaných vzorků se výrazně neliší, naopak jsou, až překvapivě, velmi podobné a rozdíl tvoří pouze několik sekund. Téměř u všech zkoušených vzorků došlo ke vznícení a to do 100 sekund. Nepotvrdil se tedy předpoklad z úvodu experimentu, že by vzorky měly mít výrazně odlišné časy vznícení vzhledem ke stupni jejich tepelné degradace. Nicméně z hodnot  $t_{ign}$  je patrný částečně klesající trend, nikoliv však tak zásadní, jak se předpokládalo. Snad, kdyby byl výkon kalorimetru nižší, než  $35 \text{ kW/m}^2$ , rozdíly by pravděpodobně vyšší.

tab. 10: Přehled časů vznícení skupin vzorků

| Vzorek                  | A  |    |    | B  |    |    | C  |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                         | 1  | 3  | 4  | 1  | 3  | 4  | 2  | 3  | 4  |
| $t_{ign} [s]$           | 79 | 93 | 58 | 47 | 50 | 43 | 30 | 23 | 49 |
| Průměr<br>$t_{ign} [s]$ | 77 |    |    | 47 |    |    | 34 |    |    |

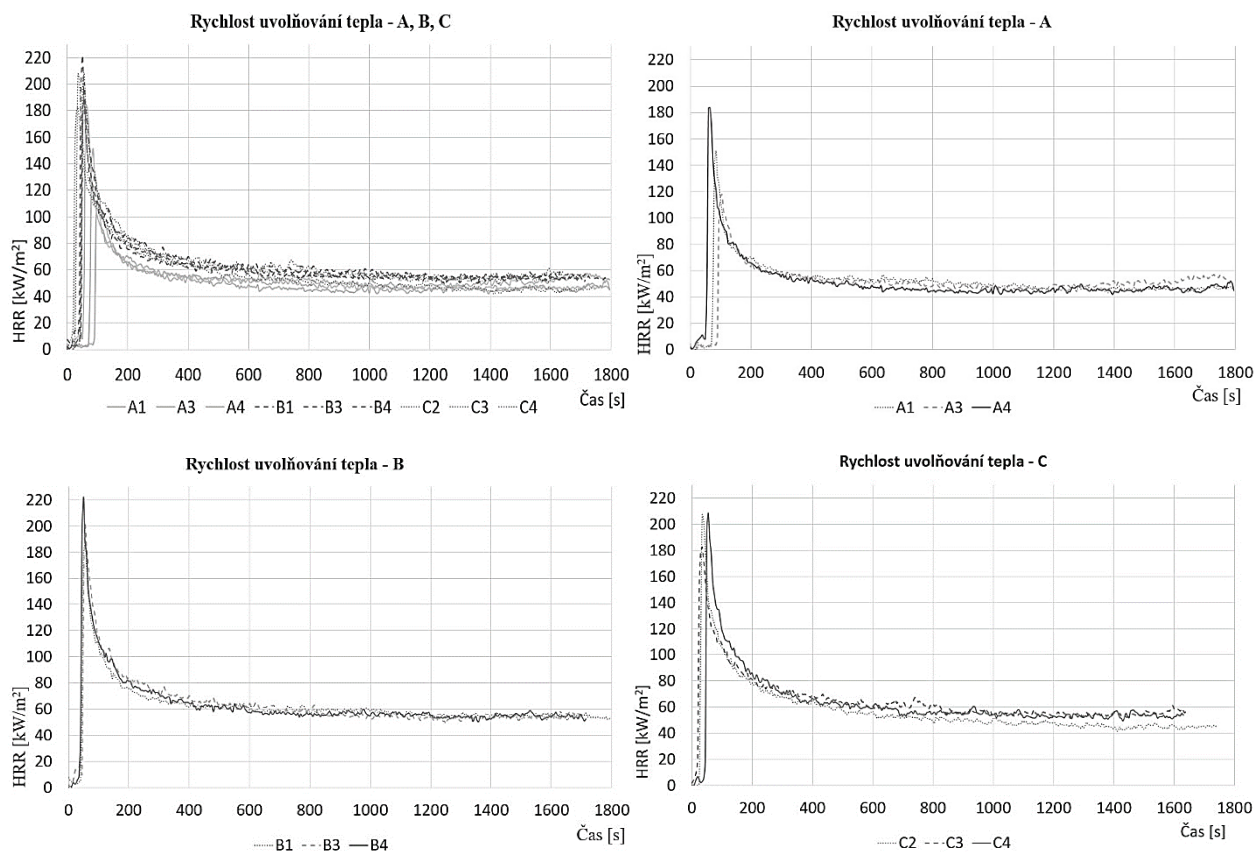
Vznícení vzorků bez ohledu na dobu mohlo být způsobeno vysokou teplotou dopadající na povrch vzorků z kónického zářiče, která byla přibližně  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tato teplota přibližně odpovídá teplotě vznícení smrkového dřeva. Při použití nižší hodnoty (například v rozmezí  $15\text{--}20 \text{ kW/m}^2$  – odpovídá teplotě cca  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ) by ke vznícení vzorků nemuselo dojít, přičemž by mohlo být pozorováno pouze žhnutí jejich povrchu. Důvodem, proč mohou být časy vznícení natolik podobné, může být vysoká hodnota hustoty tepelného toku zvolená pro tento experiment i přes rozdílnou míru degradace povrchu vzorků.

### Rychlost uvolňování tepla – HRR

Ke vznícení vzorků došlo do 100 sekund od počátku jejich namáhání kónickým zářičem. Maximální a průměrné hodnoty HRR (tab. 11) se pohybovaly okolo  $200 \text{ kW/m}^2$ . U skupin B a C je maximální hodnota velmi podobná, naopak u skupiny A je o poznání nižší. Průběhy HRR jsou u všech skupin téměř identické (obr. 40). Hodnoty v tabulce jsou přepočítány oproti reportu z kónického kalorimetru (Příloha 2), neboť v reportu jsou obsaženy i vzorky, které se zde neporovnávají.

tab. 11: Maximální a průměrné hodnoty HRR

| Vzorek                                | A   |     |     | B   |     |     | C   |     |     |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                       | 1   | 3   | 4   | 1   | 3   | 4   | 2   | 3   | 4   |
| Max HRR<br>[ $\text{kW/m}^2$ ]        | 151 | 118 | 184 | 189 | 200 | 222 | 207 | 183 | 209 |
| Průměr Max HRR<br>[ $\text{kW/m}^2$ ] | 151 |     |     | 204 |     |     | 200 |     |     |



obr. 40: Rychlosti uvolňování tepla – HRR pro jednotlivé skupiny vzorků

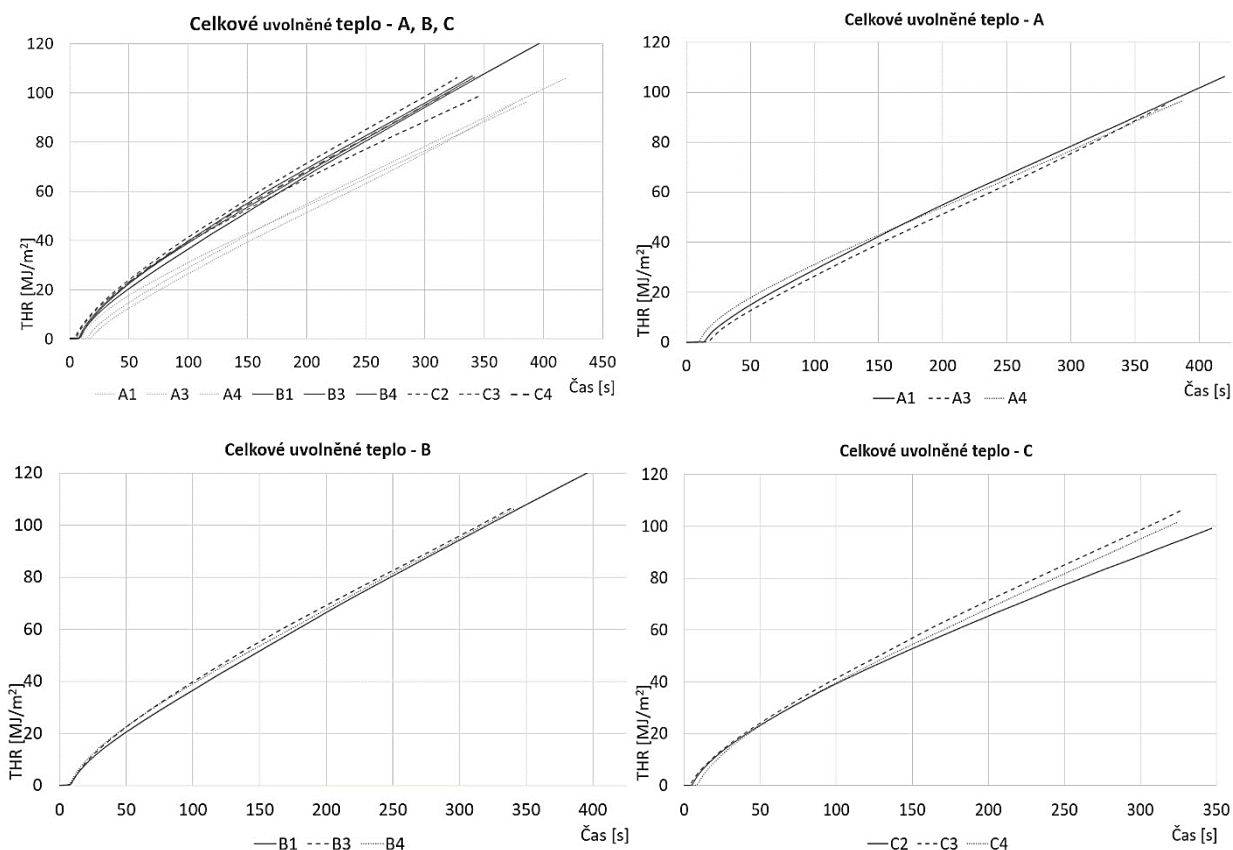
Nejvíce patrný rozdíl je mezi vzorky skupiny A a vzorky skupin B a C, respektive vlhkými a degradovanými vzorky. Důvodem rozdílu může být množství vlhkosti obsažené ve vzorcích, která slouží jako chladicí médium před samotným vznícením i hořením, přestože jedná o rozdíl pouze 2–4 %. Podobný průběh rychlostí uvolňování tepla může být způsoben velmi podobnou strukturou vzhledem k vyrobení vzorků z jednoho kusu fošny bez ohledu na degradaci.

### Celkové uvolněné teplo – THR

Ze skupiny vzorků A se během hoření od začátku do jeho konce měření uvolnilo v průměru 96 MJ/m<sup>2</sup> tepla, ze skupiny vzorků B 109 MJ/m<sup>2</sup> tepla a ze skupiny vzorků C 102 MJ/m<sup>2</sup> tepla (tab. 12). Hodnoty se nijak výrazně neliší dle stupně degradace, naopak, jsou téměř identické (obr. 41). Znamená to tedy, že degradace nemá výrazný vliv na množství tepla uvolněného ze vzorků.

tab. 12: Celkové uvolněné teplo THR

| Vzorek                          | A  |    |    | B   |     |     | C   |     |     |
|---------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                 | 1  | 3  | 4  | 1   | 3   | 4   | 2   | 3   | 4   |
| Max THR [MJ/m <sup>2</sup> ]    | 95 | 95 | 92 | 112 | 106 | 106 | 99  | 106 | 102 |
| Průměr THR [MJ/m <sup>2</sup> ] | 94 |    |    | 109 |     |     | 102 |     |     |



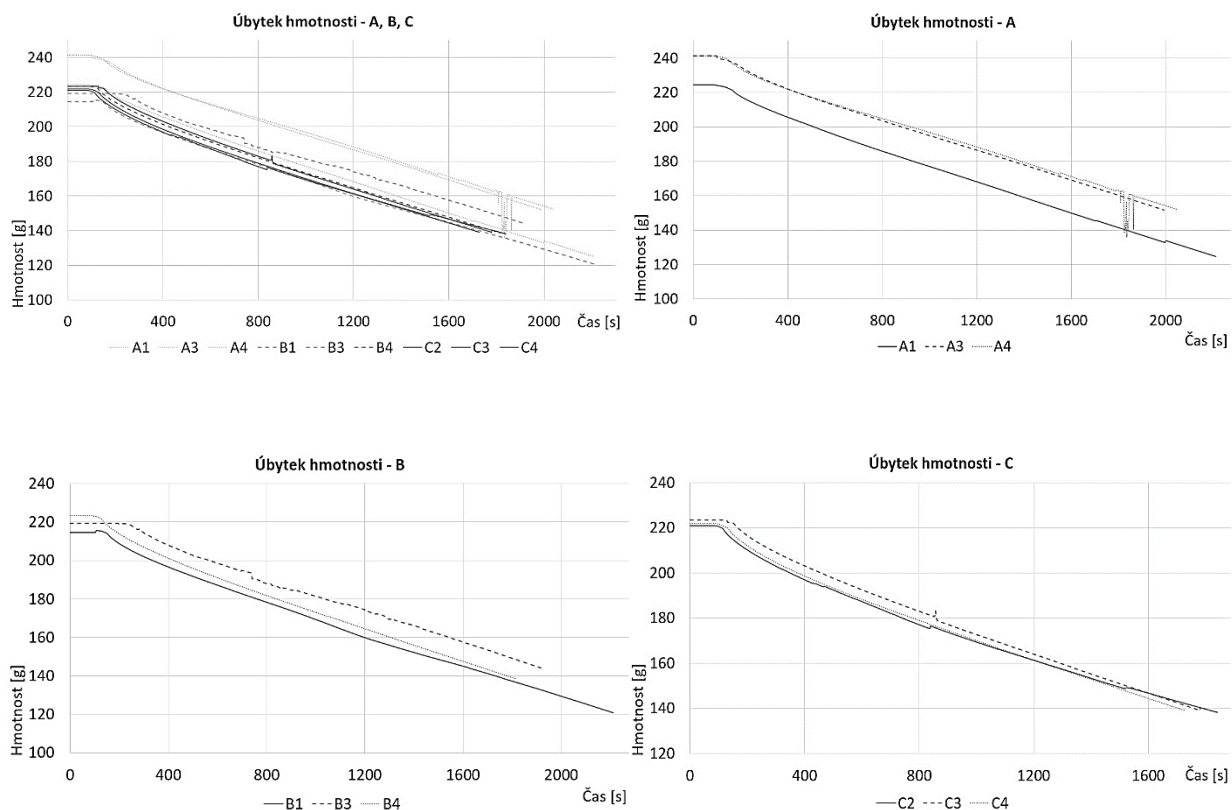
obr. 41: Celkové uvolněné teplo – THR pro jednotlivé skupiny vzorků

### Úbytek hmotnosti – $\Delta m$

Vzorky se zvažily těsně před vložením do kónického kalorimetru. Úbytek hmotnosti byl zaznamenáván pomocí velmi přesných vah v přístroji. V průběhu zkoušky byl úbytek hmotnosti u všech vzorků velmi podobný a pohyboval se v rozmezí 70–90 g (tab. 13). Úbytek je sledován po celou dobu zkoušky (obr. 42).

tab. 13: Úbytek hmotnosti vzorků při zkoušce

| Vzorek                        | A   |       |       | B     |       |       | C     |       |       |
|-------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                               | 1   | 3     | 4     | 1     | 3     | 4     | 2     | 3     | 4     |
| $m(i)$ [g]                    | 206,7   | 237,8 | 200,6 | 226,6 | 220,1 | 186,6 | 215,5 | 217,2 | 183,5 |
| $m(f)$ [g]                    | 116,6   | 149   | 115,7 | 143,5 | 145,7 | 102,6 | 133,4 | 133,4 | 101,5 |
| $\Delta m(i-f)$ [g]           | 90,1  | 88,8  | 84,9  | 83    | 74,4  | 84    | 82,1  | 83,8  | 82    |
| Průměr<br>$\Delta m(i-f)$ [g] | 87,9  |       |       | 80,3  |       |       | 82,6  |       |       |
| Legenda:                      | $m(i)$ – počáteční hmotnost<br>$m(f)$ – konečná hmotnost<br>$\Delta m(i-f)$ – rozdíl hmotností – úbytek |       |       |       |       |       |       |       |       |



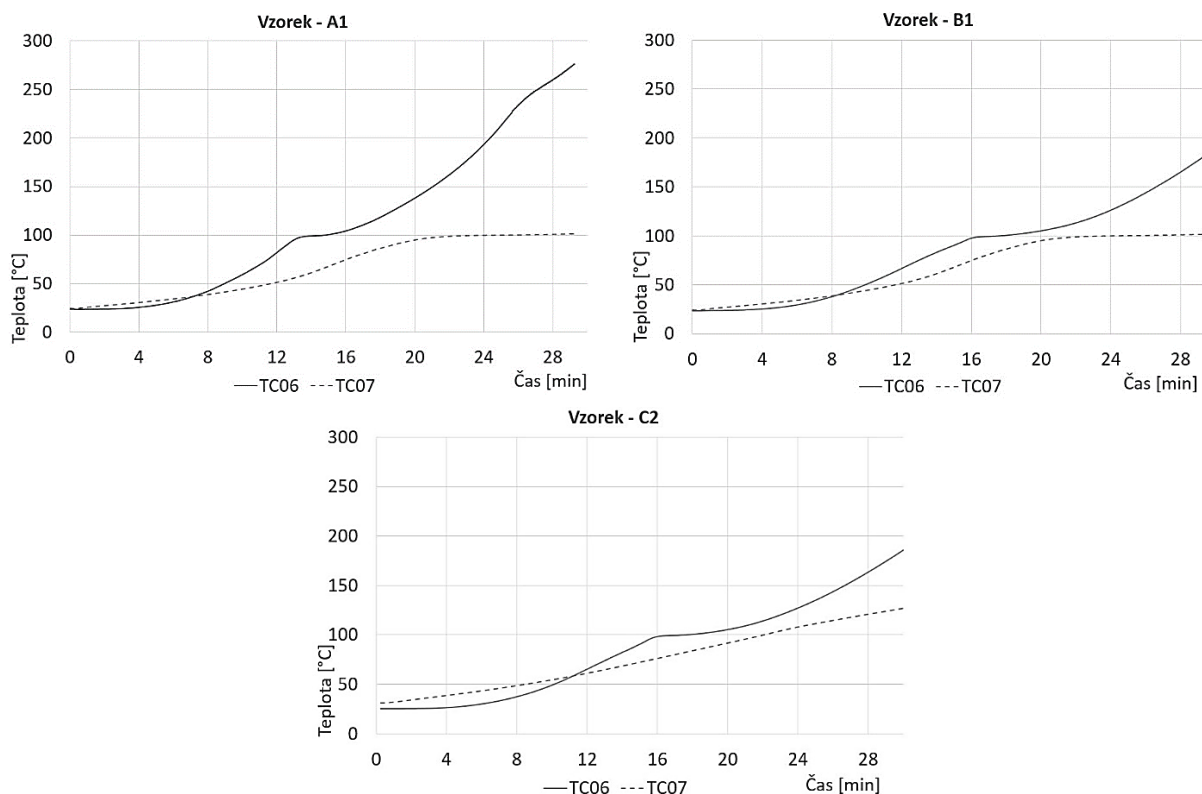
obr. 42: Úbytek hmotnosti jednotlivých skupin vzorků

Největší úbytek hmotnosti byl zpozorován u skupiny vzorků A, tedy u vzorků přirozené vlhkosti a nedegradovaných. Může to být způsobeno množstvím vlhkosti, která se během hoření postupně uvolňovala a vypařovala. Dále také méně poškozenou strukturou dřevěných vzorků, neboť u nich nedošlo k žádnému tepelnému namáhání a tak mohlo odhořívát větší množství materiálu.

### Teploty získané z termočlánků

Při testování vzorků byly do vzorku a pod vzorek přidělané termočlánky, které ukázaly průběh zvyšování teploty během hoření. Rozdíl v průběhu teplot mezi nedegradovanou a degradovanou skupinou vzorků je celkem patrný. U nedegradované skupiny vzorků A došlo k překročení hranice 250 °C uvnitř vzorku, oproti skupinám B a C, kde teplota nepřekročila hranici 200 °C. Ovšem neobvyklý průběh nastal v průběhu teplot zpod vzorků skupiny C, kdy se jedná o téměř lineární průběh překračující 100 °C oproti vzorkům skupiny A a B, kdy se teploty ustálily na hranici 100 °C a průběh nelineární (obr. 43<sup>14</sup>).

<sup>14</sup> Obr. 42 je ilustrativní, průběhy teplot ve vzorcích se výrazně pro jednotlivé skupiny nelišily



obr. 43: Průběhy teplot z termočlánků umístěných uvnitř a zpod vzorků

## 4.5 Závěr experimentu

V rámci experimentu bylo v normovém zkušebním zařízení, kónickém kalorimetru, testováno devět dřevěných vzorků s různou mírou tepelné degradace. Záměrem zkoušky bylo pozorování a ověření, zda se dřevěné vzorky vznítí a za jak dlouho k tomuto vznícení dojde.

Aby bylo možno hovořit o vznícení vzorku a nikoli o vzplanutí, vypnula se v kónickém kalorimetru elektrická jiskra, použil se tedy nenormový přístup zkoušení. Vzorky byly vystaveny hodnotě tepelného toku  $35 \text{ kW/m}^2$  a u každého vzorku došlo ke vznícení do 100 sekund. Tato doba velmi překvapila, neboť se vznícení očekávalo mnohem později a předpokládalo se spíše žhnutí vzorků.

Průběhy rychlostí uvolňování tepla byly překvapivě podobné. Průměrná hodnota rychlosti uvolňování tepla byla pro vzorky A– $151 \text{ kW/m}^2$ , pro vzorky B– $204 \text{ kW/m}^2$  a pro vzorky C– $200 \text{ kW/m}^2$ . Z těchto hodnot je znatelný pouze rozdíl (přesto nijak velký) mezi vzorky nedegradovanými (vzorky A) a vzorky degradovanými (vzorky B, C), a to cca  $50 \text{ kW/m}^2$ . Úbytek hmotnosti se u vzorků pohyboval mezi 70–90 g.

Experimentu se ověřilo, že je opravdu potřeba na dřevo pohlížet jako na velmi různorodý a komplexní materiál, protože není úplně snadné předvídat jeho chování při hoření. I když se z počátku připravilo 15 stejných vzorků ve 3 skupinách, každý se choval odlišně, ať již při degradování, tak při hoření. V průběhu rychlosti uvolňování tepla (HRR) u dřeva se často vyskytují dva píky v grafu (špičky – kapitola 2.4.4), ovšem u žádného ze vzorků se v grafu druhý pík neobjevil, pouze počáteční (maximální hodnota).

## 5 Závěr

Na riziko samovznícení dřevěného prvku od komínu (který teplo vede a akumuluje), u kterého se nachází, je potřeba brát dostatečný zřetel vzhledem k současné výstavbě energeticky soběstačných, pasivních domů a dřevostaveb. Prostupy komínu v těchto stavbách jsou velmi problematické na provedení, utěsnění a zajištění konstrukčních a požárních detailů tak, aby nebyla narušena zejména požární bezpečnost. Zpracování této práce proběhlo, mimo jiné, jako návaznost na vzniklé požáry dřevěných prvků od komínového tělesa samovznícením. V Příloze 3 jsou přiloženy zkrácené a upravené posudky příkladů požárů.

Tato práce se zaměřila na různé fáze tepelné degradace dřeva v závislosti na době umístění hořlavého dřevěného prvku v uzavřené stavební konstrukci poblíž komínového tělesa. Utěsnění obvodu komínu v místě prostupu od dřevěného prvku tepelnou izolací (ať hořlavou, či nehořlavou) dlouhodobě způsobuje, že především v topné sezoně při provozu komínu (zejména nerezového či plastového) dochází k vedení a radiaci tepla od tohoto tělesa. Uzavřenosti a utěsnění konstrukce způsobí hromadění tepla v okolí dřevěného prvku a tím jeho vysoušení a degradování, přičemž teplota sálavého zdroje není vyšší jak 80–100 °C. Toto dlouhodobé vysoušení může způsobit, že se dřevěný prvek (samo)vznítí, k čemuž může dojít nejen v řádu měsíců i několika let, ale také po první zátopu.

Experimentální část se zabývala tepelnou degradací smrkového dřeva a následným ověřením problematiky vznícení vzhledem ke stupni degradace v kónickém kalorimetru. V části zaměřené na tepelnou degradaci vzorků bylo vyrobeno 15 vzorků, rozdělených do 3 skupin dle stupně degradace. První skupina nebyla degradovaná vůbec, další dvě byly sušeny v horkovzdušné sušárně, kdy jedna z nich prošla fází cyklické degradace UV žárovkou. Důvodem bylo zbavení vzorků jejich vlhkosti a dostatečné porušení povrchu vzorků teplem (zbarvení, popraskání, případně mírné zuhelnatění). Tato část nám měla přiblížit, jak prvky mohou vypadat v reálné konstrukci za několik týdnů, měsíců i let.

V navazující části byly vzorky zkoušeny v kónickém kalorimetru, kde se pozorovalo, jakou roli má tepelná degradace na vznícení vzorků a zda se bude lišit průběh rychlosti uvolněného tepla. Pro zjištění vznícení se vypnula elektrická jiskra v kónickém kalorimetru. Během zkoušky se spálilo 9 vzorků (u každé skupiny tři) a překvapivé bylo, že se všechny vznítily a časy do vznícení byly velmi podobné, i když trend v rozdílu tam byl (do 100 sekund). To může být způsobeno degradací jednotlivých složek dřeva, úbytkem pyrolýzních plynů, zbavení části vlhkosti, která slouží jako chladič při zahřívání. Průběhy rychlostí uvolňování tepla byly sice podobné, ale i tak byl mírně znatelný rozdíl mezi každou skupinou vzorků.

V této práci bylo ukázáno, že i různě tepelně degradované dřevo se může vznítit, ačkoli samotné fáze na dobu vznícení nemají takový vliv vzhledem k tomu, že se vzorky degradované i nedegradované vznítily ve velmi podobný čas. Bylo by vhodné najít řešení, kdy se nebude v místě prostupu komínu hořlavou konstrukcí hromadit teplo od komínu a nebude docházet k tepelné degradaci dřevěného prvku.

## 6 Návaznost a doporučení pro další práci

Pro výpočet přibližné doby množství tepelné degradace doporučuji postupovat podle rovnice sušení, která je vhodná vzhledem k procesům odehrávajícím se v suchém dřevě, viz skripta chemického inženýrství VŠCHT v Praze [42].

V experimentální části zaměřené na zkoušku v kónickém kalorimetru se měřily vzorky při hustotě tepelného toku  $35 \text{ kW/m}^2$ , přičemž se dva vyřazené vzorky (A2, C1) odebraly pro experiment o nižší hustotě toku  $20 \text{ kW/m}^2$  (teplota na povrchu vzorku cca  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Během tohoto zkoušení bylo pozorováno pouze žhnutí vzorků, bez vznícení. Pro další práci bych doporučil zkoušku o tepelném toku  $15\text{--}20 \text{ kW/m}^2$ . Dále by bylo vhodné degradovat i jiné druhy dřeva používané pro konstrukce staveb, jako například buk, jasan a podobně.



## Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| obr. 1: Dřevěný komín z 2. pol. 20. století [1].....  | 12 |
| obr. 2: Počet požárů od komínu [4] .....  | 13 |
| obr. 3: Raně středověké otopní zařízení [1]: a) dýmník ukotvený do stropu a přilehlé stěny nad pecí; dýmník tvořený jedinou dřevěnou příčkou ukotvenou přes roh mezi dvě sousedící stěny domu; b) řešení vyústění dýmníku do prostoru podstřeší.....  | 15 |
| obr. 4: Schéma konstrukčních částí komínu [6]; legenda: 1 – komín, 2 – spalinová cesta, 3 – komínová vložka, 4 – izolace, 5 – komínový plášť, 6 – opláštění (obklad), 7 – půdice, 8 – vícevrstvý komín, 9 – komínová tvarovka, 10 – kouřovod, 11 – spotřebič paliv.....   | 16 |
| obr. 5: Podíl výskytu hlavních organických látek ve dřevě jehličnatých a listnatých dřevin [12].....  | 18 |
| obr. 6: Makromolekula celulózy [15] .....   | 19 |
| obr. 7: Amorfní struktura ligninu [14].....   | 19 |
| obr. 8: Složky hemicelulózy (Ribose, D-Allose, L-Allose) [14].....  | 20 |
| obr. 9: Předpokládaná vlhkost v závislosti na teplotě a vlhkosti vzduchu [16].....  | 21 |
| obr. 10: Graf rychlosti uvolňování tepla pro smrkové dřevo [12].....  | 24 |
| obr. 11 [26]: Požár způsobený kontaktem potrubí z horkovodních topného systému: a) vznícení dřevěné podlahové/stropní konstrukce od horkovodního potrubí (levé potrubí na obrázku), pec ohřívala vodu na teplotu mezi 88–93 °C.....   | 28 |
| obr. 12: Schéma hoření dřeva [14].....  | 29 |
| obr. 13: Setchkinova pec [33] .....   | 32 |
| obr. 14: Schéma kónického kalorimetru [35] .....  | 34 |
| obr. 15[39]: Požární bezpečnost komínů: a) požární odolnost z vnějšku ven; b) požární odolnost z vnitřku ven .....  | 37 |
| obr. 16 [38]: Konstrukční zásady pro umístění hořlavých prvků u komínu: a) Uložení dřevěného nosníku do komínového zdiva a na výměnu rovnoběžnou s komínovým zdivem; b) uložení dřevěného nosníku do zdiva; c), d) prvky probíhající podél zdiva.....   | 38 |
| obr. 17: Prostupy kovových komínů hořlavou stavební konstrukcí: a) stropní/stěnová průchodka z pěnového skla; b) průchodka z vermikulitu; c) komínová šachta z kalcium silikátu.....  | 40 |
| obr. 18[36]: Požáry od prostupů kovových komínů dřevěnou konstrukcí: a) prostup vícevrstvého komína dřevěným stropem bez průchodky; b) vícevrstvý kovový komín vedený dřevěnou stropní konstrukcí; c) nad neizolovaným kouřovodem od krbu vedena pozednice dřevěného krovu; d) výsledek nesprávně zaizolovaného prostupu stropem; e) požár dřevěné stěny při průchodu kouřovodu do komína vedeného u fasády budovy..... | 41 |

|  |    |
|--|----|
| obr. 19: Skupiny vzorků: a) vzorek A již zabalen do folie; b) skupina vzorků B;<br>c) skupina vzorků C .....   | 43 |
| obr. 20: Měření vlhkoměrem Trotec T3000: a) kalibrace přístroje; b) měření vlhkosti<br>prostřednictvím zarážecí elektrody .....                            | 43 |
| obr. 21: Zarážecí sonda s elektrodami .....  | 44 |
| obr. 22: Skupiny vzorků B a C v sušárně o teplotě 70 °C po době jednoho týdne.....   | 45 |
| obr. 23: Schéma experimentu degradace dřeva UV lampou .....  | 46 |
| obr. 24: Prostor experimentu: a) vyskládané tvárnice s přepážkami a držáky;<br>b) uložené boxy.....  | 47 |
| obr. 25: Skupiny vzorků B a C podruhé v sušárně na teplotu 70 °C .....   | 47 |
| obr. 26: Přelepení termočlánku hliníkovou páskou .....   | 48 |
| obr. 27: Umístění a popis termočlánků ve skupině vzorků C .....  | 49 |
| obr. 28: Degradace skupiny vzorků C UV žárovkou – začátek (3. 9. 2019) .....   | 49 |
| obr. 29: Zapojení termočlánků do ústředny se záznamem dat do počítače .....  | 50 |
| obr. 30: Data z termočlánků: a) teploty na povrchu skupiny vzorků C; b) teploty<br>pod povrchem skupiny vzorků C .....                                     | 50 |
| obr. 31: Skupina vzorků C po započetí degradace UV žárovkou .....  | 51 |
| obr. 32: Skupina vzorků C po cca 50 dnech degradace UV žárovkou .....  | 52 |
| obr. 33: Vážení a pohled na degradovanou skupinu vzorků C .....  | 52 |
| obr. 34: Kónický kalorimetr v TÚPO HZS ČR v Praze: a) pohled na kalorimetr<br>při kalibraci; b) pohled na kónický zářič, kalibraci vah a držák vzorku..... | 53 |
| obr. 35: Vzorek položený na upevňovacím rámečku s termočlánky .....  | 54 |
| obr. 36: Kalibrace kónického kalorimetru: a) měřicí jednotky; b) teploty zářiče;<br>c), d) kalibrace vah.....  | 54 |
| obr. 37: Zapojení termočlánků: a) schéma umístění termočlánků ve vzorku;<br>b) zapojení do ústředny.....   | 55 |
| obr. 38: Vzorky obalené hliníkovou fólií a s termočlánky před zkouškou.....  | 56 |
| obr. 39: Zkouška vzorku A1: a) počátek ozařování; b) okamžik těsně po vznícení;<br>c) spálený vzorek .....   | 57 |
| obr. 40: Rychlosti uvolňování tepla – HRR pro jednotlivé skupiny vzorků.....   | 59 |
| obr. 41: Celkové uvolněné teplo – THR pro jednotlivé skupiny vzorků.....   | 60 |
| obr. 42: Úbytek hmotnosti jednotlivých skupin vzorků .....   | 61 |
| obr. 43: Průběhy teplot z termočlánků umístěných uvnitř a zpod vzorků .....  | 62 |
| obr. 44: Grafy teplot z namáhání UV žárovkou pod povrchem vzorků .....   | 72 |
| obr. 45: Grafy teplot z namáhání UV žárovkou pod povrchem vzorků .....   | 73 |

|  |    |
|--|----|
| obr. 46: Zkouška vzorku A1: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení;<br>c) spálený vzorek .....                                 | 77 |
| obr. 47: Zkouška vzorku A4: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení;<br>c) spálený vzorek .....                                 | 77 |
| obr. 48: Zkouška vzorku A4: a) začátek zkoušky; b) vzorek se nevznítil – pozorováno<br>žhnutí; c) spálený vzorek .....                   | 77 |
| obr. 49: Zkouška vzorku B1: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení;<br>c) spálený vzorek .....                                 | 78 |
| obr. 50: Zkouška vzorku B3: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení;<br>c) spálený vzorek .....                                 | 78 |
| obr. 51: Zkouška vzorku B4: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení;<br>c) spálený vzorek .....                                 | 78 |
| obr. 52: Zkouška vzorku C2: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení;<br>c) spálený vzorek .....                                 | 79 |
| obr. 53: Zkouška vzorku C3: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení;<br>c) spálený vzorek .....                                 | 79 |
| obr. 54: Zkouška vzorku C4: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení;<br>c) spálený vzorek .....                                 | 79 |
| obr. 55: Pohled na JZ průčelí požárem zasaženého objektu .....   | 80 |
| obr. 56: Pohled na požárem zasaženou část střešní konstrukce.....  | 81 |
| obr. 57: Pohled na středovou vaznici procházející komínovým tělesem.....   | 82 |
| obr. 58: Pohled na objekt z východu.....   | 83 |
| obr. 59: Pohled na místo požáru: a) pohled do rohu místnosti vlevo od vstupních dveří;<br>b) detail trámu v kapse komínového tělesa..... | 84 |

## Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| tab. 1: Tepelný rozklad dřeva .....  | 24 |
| tab. 2: Třídy reakce na oheň stavebních výrobků [22] .....   | 25 |
| tab. 3: Doplnění indexu k odolnosti G proti vyhoření sazí dle ČSN EN 1443:2019 (volně přeloženo) [37]..... | 36 |
| tab. 4: Počáteční hmotnost a změřená vlhkost po výrobě vzorků (26. 4. 2019).....                           | 44 |
| tab. 5: Hmotnosti a přibližné vlhkosti po týdnu v sušárně o teplotě 70 °C (2. 5. 2019).....                | 45 |
| tab. 6: Hodnoty hmotnosti (váženo) a vypočtené vlhkosti po 9 dnech v sušárně (29. a 30. 8. 2019) .....     | 48 |
| tab. 7: Vážení vzorků a výpočet jejich vlhkosti (1. 10. 2019) .....  | 50 |
| tab. 8: Určení teploty na povrchu vzorku (zdroj: kpt. Ing. Libor Šefčík, TÚPO HZS ČR) [35]..               | 54 |
| tab. 9: Hmotnosti vzorků před vložením do kónického kalorimetru (včetně hliníkové fólie).....              | 56 |
| tab. 10: Přehled časů vznícení skupin vzorků.....  | 58 |
| tab. 11: Maximální a průměrné hodnoty HRR .....  | 58 |
| tab. 12: Celkové uvolněné teplo THR .....  | 59 |
| tab. 13: Úbytek hmotnosti vzorků při zkoušce .....   | 60 |

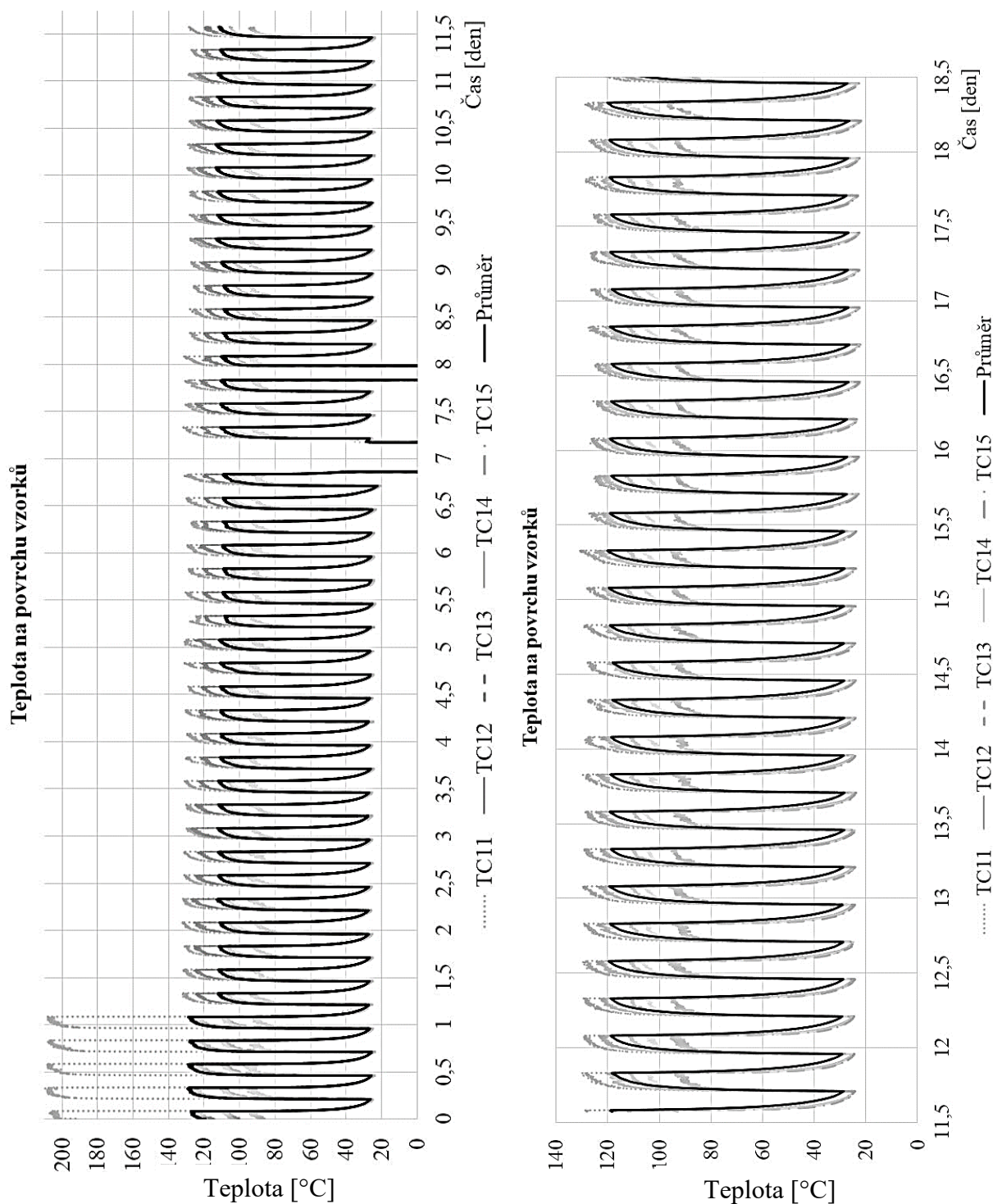
## Literatura

- [1] TOMIČ, Ladislav. *Raně středověká otopná zařízení a jejich rekonstrukce | Curia Vitkov* [online]. Dostupné z: <https://www.curiavitkov.cz/rekonstrukce-pece>
- [2] 34/2016 Sb. Vyhláška o čištění, kontrole a revizi spalinové cesty. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-34>
- [3] 133/1985 Sb. Zákon o požární ochraně. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1985-133>
- [4] *Statistické ročenky Hasičského záchranného sboru ČR - Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. [vid. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskeho-zachranneho-sboru-cr.aspx>
- [5] *Historie komínů :: Jak na komíny* [online]. [vid. 2019-10-24]. Dostupné z: <https://vse-ominech.webnode.cz/zajimavosti-o-kominech/historie-kominu/>
- [6] JIŘÍK, František. Komín - rozumíte jeho názvosloví? *ESTAV.cz* [online]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/1772.komin-rozumite-jeho-nazvoslovi>
- [7] *ČSN 73 0810 - Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení*. 2016
- [8] KRATOCHVÍL, Václav, Šárka NAVAROVÁ a Michal KRATOCHVÍL. *Požární bezpečnostní zařízení ve stavbách: stručná encyklopedie pro jednotky PO, požární prevenci a odbornou veřejnost*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. ISBN 978-80-7385-103-3.
- [9] WALTER, Sodomka. Integrace a bezpečnost komínových systémů v nízkoenergetických a pasivních stavbách [online]. 2018 [vid. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/74125>
- [10] KUČERA, Petr, Tereza ČESELKÁ a Pavlína MATEČKOVÁ. *Požární odolnost stavebních konstrukcí*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. ISBN 978-80-7385-094-4.
- [11] HEJTMÁNEK, Petr, Libor ŠEVČÍK a Kamila CÁBOVÁ. Input dta of burning wood for CFD modelling using. *Stavební obzor - Civil Engineering Journal* [online]. 2017, **26**(4), 471–482. ISSN 18052576. Dostupné z: doi:10.14311/CEJ.2017.04.0038
- [12] PTÁČEK, Luboš. Hořlavost dřeva v souvislosti s jeho vlhkostí [online]. 2016 [vid. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://dspace.vsb.cz/handle/10084/114221>
- [13] SVOBODA, L., a kolektiv. Dřevo. In: *Stavební hmoty*. 4. 2018. ISBN 978-80-260-4972-2.
- [14] WOFFOVÁ, Helena. Teplotní degradace dřeva s aplikací retardérů hoření [online]. 2018 [vid. 2019-11-04]. Dostupné z: <http://dspace.lib.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/83387>
- [15] DUCHÁČEK, Vratislav a VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 978-80-7080-617-3.

- [16] RODÁK, Marek. Vliv vlhkosti dřeva na jeho teplotu vznícení [online]. 2016 [vid. 2019-04-02]. Dostupné z: <http://dspace.vsb.cz/handle/10084/114290>
- [17] ROWELL, Roger M., ed. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites* [online]. 0 vyd. B.m.: CRC Press, 2012 [vid. 2019-11-06]. ISBN 978-0-429-10909-6. Dostupné z: doi:10.1201/b12487
- [18] HEJTMÁNEK, Petr, Hana NAJMANOVÁ a Libor ŠEVČÍK. Rychlost uvolňování tepla jako parametr pro hodnocení chování materiálů při požáru. *iMateriály.cz* [online]. 3. září 2015 [vid. 2019-03-25]. Dostupné z: [https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/materialy/rychlost-uvolnovani-tepla-jako-parametr-pro-hodnoceni-chovani-materialu-pri-pozaru\\_42776.html](https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/materialy/rychlost-uvolnovani-tepla-jako-parametr-pro-hodnoceni-chovani-materialu-pri-pozaru_42776.html)
- [19] PECL, JAN a HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR. *Konspекty odborné přípravy jednotek PO*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. ISBN 978-80-86111-89-6.
- [20] KISLINGER, Radek. *Požárně technické charakteristiky a technické informace pro potřeby ZPP*. Praha: Ministerstvo vnitra, Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2015. ISBN 978-80-86466-72-9.
- [21] PERĐOCHOVÁ, Michaela. Vliv samozahřívání pevného paliva z biomasy na kvalitu paliva a bezpečnost jeho skladování [online]. 2010 [vid. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://dspace.vsb.cz/handle/10084/79339>
- [22] HEJTMÁNEK, Petr, Hana NAJMANOVÁ a Marek POKORNÝ. Vybrané požárně technické charakteristiky stavebních výrobků a hmot. *TZB-info* [online]. [vid. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13649-vybrane-pozarne-technicke-charakteristiky-stavebnich-vyrobku-a-hmot>
- [23] LEBEDOVÁ, Bc Zuzana. Vliv produktů tepelného rozkladu dřeva s různou povrchovou úpravou na ekotoxicitu vody, se kterou přijdou do kontaktu. 2017, 67.
- [24] KLOUŽKOVÁ, A., P. ZEMENOVÁ, J. KLOUŽEK a W. PABST. *Termická analýza* [online]. 2012. Dostupné z: <http://tresen.vscht.cz/sil/sites/default/files/Termick%C3%A1%20anal%C3%BDza.pdf>
- [25] BALOG, Karol. *Samovznietenie: samozahrievanie, vznietenie, vzplanutie*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. ISBN 978-80-86111-43-8.
- [26] BABRAUSKAS, Vytenis. *Ignition handbook: principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management and forensic science*. Issaquah, Wash: Fire Science Publishers, 2003. ISBN 978-0-9728111-3-2.
- [27] *Karta č. 22: Příčiny vzniku požáru - Samovznícení*. B.m.: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. 2005
- [28] MLČOCH, Daniel. Samovznícení z hlediska Zjišťování příčin požárů. mobilní telefon. 10 2019
- [29] KUKLÍK, Petr. *6 DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE* [online]. únor 2010. Dostupné z: [http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni\\_odolnost/6\\_Navrhovani\\_drevenych\\_kci\\_7.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/6_Navrhovani_drevenych_kci_7.pdf)

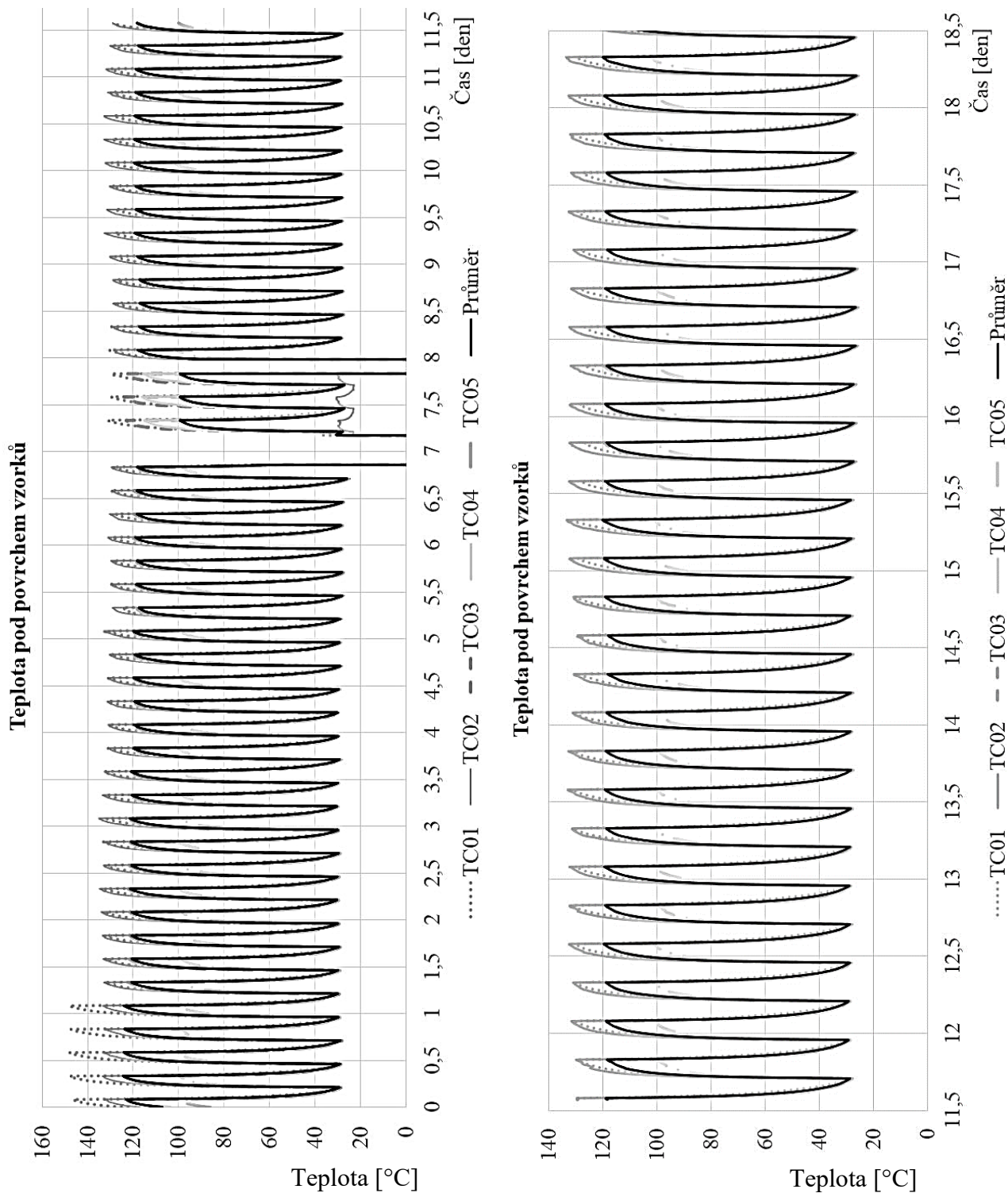
- [30] KUPILÍK, Václav. *Stavební konstrukce z požárního hlediska*. B.m.: Grada Publishing a.s., 2006. ISBN 978-80-247-6218-0.
- [31] *ČSN EN ISO 13943 - Požární bezpečnost staveb - Slovník*. B.m.: ÚNMZ. srpen 2011
- [32] DUFEK, Jaroslav. *ČSN EN 16733 - Zkoušky reakce na oheň stavebních výrobků - Stanovení náchylnosti stavebního výrobku k souvislému doutnání*. B.m.: ÚNMZ, PAVUS, a.s. září 2019
- [33] SETCHKIN, N. P. *A Method and Apparatus for Determining the Ignition Characteristics of Plastics* [online]. B.m.: US Department of Commerce National Bureau of Standards. 1949. Dostupné z: [https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/43/jresv43n6p591\\_A1b.pdf](https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/43/jresv43n6p591_A1b.pdf)
- [34] BUCHNAROVÁ, Hana. Experimentální zjišťování požárně a tepelně technických charakteristik stavebních výrobků a implementace dat do CFD modelů. 2018, 118 s.
- [35] KAŠOVÁ, Bc. Kateřina. ALTERNATIVNÍ POSTUPY ZJIŠŤOVÁNÍ A HODNOCENÍ REAKCE NA OHĚŇ PRO FASÁDY. 01-08, **2017**, 62s.
- [36] *ISO 5660-1 Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)*. B.m.: International Organization for Standardization. Geneva. 2002
- [37] *ČSN EN 1443 - Komíny - Všeobecné požadavky*. 2019
- [38] *ČSN 73 4201 ed.2 - Komíny a kouřovody - Navrhování, provádění a připojování spotřebičů paliv*. 2016
- [39] SODOMKA ML., Walter. Spalinové cesty - navrhování a požární bezpečnost. In: . B.m. listopad 2018.
- [40] *ČSN 06 1008 - Požární bezpečnost tepelných zařízení*. B.m.: Český normalizační institut. 1997
- [41] JIŘÍK, FRANTIŠEK. Zásady konstrukce a provozu komínů v dřevostavbě - 2. část. *TZB-info* [online]. [vid. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kominy-a-kourovody/11231-zasady-konstrukce-a-provozu-kominu-v-drevostavbe-2-cast>
- [42] SCHREIBEROVÁ, Lenka. *Chemické inženýrství I*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2011. ISBN 978-80-7080-778-1.

## Příloha 1 – Grafy dlouhodobého tepelného namáhání UV žárovkou z experimentu 1



obr. 44: Grafy teplot z namáhání UV žárovkou pod povrchem vzorků





obr. 45: Grafy teplot z namáhání UV žárovkou pod povrchem vzorků

Zobrazené grafy ilustrují dlouhodobou tepelnou degradaci UV žárovkou představenou v experimentu 1. Grafy (obr. 43) ukazují teploty na povrchu vzorků snímané kabelovým termočlánkem typu K průměru 0,5 mm, kde ze začátku namáhání je viditelná anomálie ozařování vzorku C1 (TC11). Grafy (obr. 44) ukazují teploty pod povrchem vzorků snímané plášťovým termočlánkem typu K průměru 1,5 mm, kde je též viditelná anomálie na vzorku C1 (TC01). Tepelná degradace UV žárovkou trvala cca 50 dní.

# Příloha 2 – Report a fotodokumentace ze zkoušky kónickým kalorimetrem

## Vzorky A

Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc v6.3b software

page 1

### Cone Calorimeter Test Report

|                    |  |                      |                     |
|--------------------|--|----------------------|---------------------|
| Laboratory name    | Technical Institute of Fire Protection in Prague |                      |                     |
| Operator           | Vaclav V.  |                      |                     |
| Sponsor            | See individual reports                           |                      |                     |
| Manufacturer       | See individual reports                           |                      |                     |
| Sample description | See individual reports                           |                      |                     |
| Material name/ID   |  | Report name          |                     |
| Heat flux          | See individual reports                           | Surface area         | 100 cm <sup>2</sup> |
| Orientation        | Horizontal                                       | Retainer frame used? | No                  |

#### Test averages

| Test        | t <sub>ig</sub><br>(s) | t <sub>fo</sub><br>(s) | t <sub>end</sub><br>(s) | HRR <sub>(peak)</sub><br>(kW/m <sup>2</sup> ) | t <sub>peak</sub><br>(s) | THR<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | HRR(60)<br>(kW/m <sup>2</sup> ) | HRR(180)<br>(kW/m <sup>2</sup> ) | HRR(300)<br>(kW/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Mean</b> | <b>46</b>              | <b>1811.2</b>          | <b>1802.4</b>           | <b>102.41</b>                                 | <b>439</b>               | <b>66.27</b>                | <b>65.40</b>                    | <b>50.97</b>                     | <b>46.12</b>                     |
| 1           | 79                     | 1915                   | 1879                    | 151.26  | 85                       | 95.23                       | 104.27                          | 80.42                            | 71.36                            |
| 2           | 0                      | 2367                   | 1800                    | 27.16   | 1500                     | 18.51                       | -0.18                           | -0.19                            | 0.35                             |
| 3           | 93                     | 1610                   | 1880                    | 117.90  | 105                      | 95.24                       | 94.75                           | 73.95                            | 66.98                            |
| 4           | 58                     | 1700                   | 1858                    | 183.56  | 65                       | 92.31                       | 123.22                          | 88.17                            | 75.37                            |
| 5           | 0                      | 1464                   | 1595                    | 32.17   | 440                      | 30.05                       | 4.95                            | 12.51                            | 16.53                            |

| Test        | Flux<br>(kW/m <sup>2</sup> ) | t<br>(mm) | Area<br>(cm <sup>2</sup> ) | m(i)<br>(g)  | m(s)<br>(g)   | m(f)<br>(g)   | Δm<br>(g/m <sup>2</sup> ) | MLR <sub>(av)</sub><br>(g/s·m <sup>2</sup> ) | $\dot{m}_{t,15-90}$<br>(g/s·m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------------|-----------|----------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------------------|--|--|
| <b>Mean</b> |                              | <b>50</b> |                            | <b>202.5</b> | <b>200.53</b> | <b>122.82</b> | <b>7771.0</b>             | <b>4.42</b>                                  | <b>4.39</b>                                  |
| 1           | 35                           | 50        | 100                        | 206.65       | 203.70        | 116.61        | 8709.6                    | 4.83   | 4.66   |
| 2           | 20                           | 50        | 100                        | 177.66       | 177.66        | 113.74        | 6392.4                    | 3.55   | 4.00   |
| 3           | 35                           | 50        | 100                        | 237.84       | 232.62        | 149.01        | 8360.2                    | 4.66   | 4.49   |
| 4           | 35                           | 50        | 100                        | 200.6        | 198.79        | 115.73        | 8306.2                    | 4.60   | 4.39   |
| 5           | 35                           | 50        | 100                        | 189.89       | 189.89        | 119.02        | 7086.7                    | 4.44   | 4.41   |

| Test        | THR(0-300)<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | THR(0-600)<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | THR(0-1200)<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | EHC <sub>(av)</sub><br>(MJ/kg) | SPR <sub>(av)</sub><br>(m <sup>2</sup> /s) | SEA <sub>(av)</sub><br>(m <sup>2</sup> /kg) | Fuel load<br>(MJ/kg) | MARHE<br>(kW/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|---|----------------------|-------------------------------|
| <b>Mean</b> | <b>11.72</b>                       | <b>23.01</b>                       | <b>44.04</b>                        | <b>8.11</b>                    | <b>0.0037</b>                              | <b>90.42</b>                                | <b>3.17</b>          | <b>42.60</b>                  |
| 1           | 17.63                              | 34.03                              | 64.15                               | 10.93                          | 0.0007                                     | 15.17                                       | 4.61                 | 58.81                         |
| 2           | 0.35                               | 2.77                               | 10.82                               | 2.86                           | 0.0067                                     | 189.68                                      | 1.04                 | 10.29                         |
| 3           | 15.25                              | 31.46                              | 60.43                               | 11.41                          | 0.0007                                     | 15.73                                       | 4.00                 | 52.47                         |
| 4           | 20.39                              | 35.70                              | 62.66                               | 11.10                          | 0.0004                                     | 8.14  | 4.60                 | 72.62                         |
| 5           | 4.96                               | 11.06                              | 22.11                               | 4.24                           | 0.0099                                     | 223.40                                      | 1.58                 | 18.84                         |

## Vzorky B

Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc v6.3b software

page 1

### Cone Calorimeter Test Report

|                    |  |                      |                     |
|--------------------|--|----------------------|---------------------|
| Laboratory name    | Technical Institute of Fire Protection in Prague |                      |                     |
| Operator           | Vaclav V.  |                      |                     |
| Sponsor            | CVUT   |                      |                     |
| Manufacturer       |  |                      |                     |
| Sample description | See individual reports                           |                      |                     |
| Material name/ID   |  | Report name          |                     |
| Heat flux          | 35 kW/m <sup>2</sup>                             | Surface area         | 100 cm <sup>2</sup> |
| Orientation        | Horizontal                                       | Retainer frame used? | No                  |

#### Test averages

| Test        | t <sub>ig</sub><br>(s) | t <sub>fo</sub><br>(s) | t <sub>end</sub><br>(s) | HRR(peak)<br>(kW/m <sup>2</sup> ) | t <sub>peak</sub><br>(s) | THR<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | HRR(60)<br>(kW/m <sup>2</sup> ) | HRR(180)<br>(kW/m <sup>2</sup> ) | HRR(300)<br>(kW/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Mean</b> | <b>46.7</b>            | <b>2189.7</b>          | <b>1755.7</b>           | <b>203.45</b>                     | <b>53.3</b>              | <b>108.15</b>               | <b>141.30</b>                   | <b>105.39</b>                    | <b>91.76</b>                     |
| 1           | 47                     | 3508                   | 1847                    | 188.52                            | 55                       | 112.17                      | 131.86                          | 98.76                            | 86.20                            |
| 2           | 50                     | 1454                   | 1705                    | 199.92                            | 55                       | 106.12                      | 144.96                          | 109.12                           | 95.41                            |
| 3           | 43                     | 1607                   | 1715                    | 221.89                            | 50                       | 106.17                      | 147.08                          | 108.28                           | 93.69                            |

| Test        | Flux<br>(kW/m <sup>2</sup> ) | l<br>(mm) | Area<br>(cm <sup>2</sup> ) | m(i)<br>(g)  | m(s)<br>(g)   | m(f)<br>(g)   | Δm<br>(g/m <sup>2</sup> ) | MLR(av)<br>(g/s·m <sup>2</sup> ) | $\dot{m}_{t,15-90}$<br>(g/s·m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------------|-----------|----------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------------------|----------------------------------|--|
| <b>Mean</b> |                              | <b>50</b> |                            | <b>211.1</b> | <b>210.32</b> | <b>130.60</b> | <b>7971.8</b>             | <b>4.65</b>                      | <b>4.47</b>                                  |
| 1           | 35                           | 50        | 100                        | 226.61       | 226.36        | 143.51        | 8285.2                    | 4.58                             | 4.42   |
| 2           | 35                           | 50        | 100                        | 220.12       | 219.20        | 145.66        | 7354.0                    | 4.44                             | 4.25   |
| 3           | 35                           | 50        | 100                        | 186.62       | 185.39        | 102.63        | 8276.2                    | 4.93                             | 4.73   |

| Test        | THR(0-300)<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | THR(0-600)<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | THR(0-1200)<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | EHC(av)<br>(MJ/kg) | SPR(av)<br>(m <sup>2</sup> /s) | SEA(av)<br>(m <sup>2</sup> /kg) | Fuel load<br>(MJ/kg) | MARHE<br>(kW/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| <b>Mean</b> | <b>25.06</b>                       | <b>44.32</b>                       | <b>78.54</b>                        | <b>13.60</b>       | <b>0.0010</b>                  | <b>21.12</b>                    | <b>5.15</b>          | <b>89.62</b>                  |
| 1           | 23.54                              | 42.44                              | 77.40                               | 13.55              | 0.0008                         | 17.96                           | 4.95                 | 83.82                         |
| 2           | 25.81                              | 45.77                              | 79.72                               | 14.43              | 0.0012                         | 26.06                           | 4.82                 | 90.83                         |
| 3           | 25.83                              | 44.74                              | 78.51                               | 12.82              | 0.0010                         | 19.36                           | 5.69                 | 94.21                         |

## Cone Calorimeter Test Report

|                    |  |                      |                     |
|--------------------|--|----------------------|---------------------|
| Laboratory name    | Technical Institute of Fire Protection in Prague |                      |                     |
| Operator           | Vaclav V.  |                      |                     |
| Sponsor            | CVUT   |                      |                     |
| Manufacturer       |  |                      |                     |
| Sample description | See individual reports                           |                      |                     |
| Material name/ID   |  | Report name          |                     |
| Heat flux          | See individual reports                           | Surface area         | 100 cm <sup>2</sup> |
| Orientation        | Horizontal                                       | Retainer frame used? | No                  |

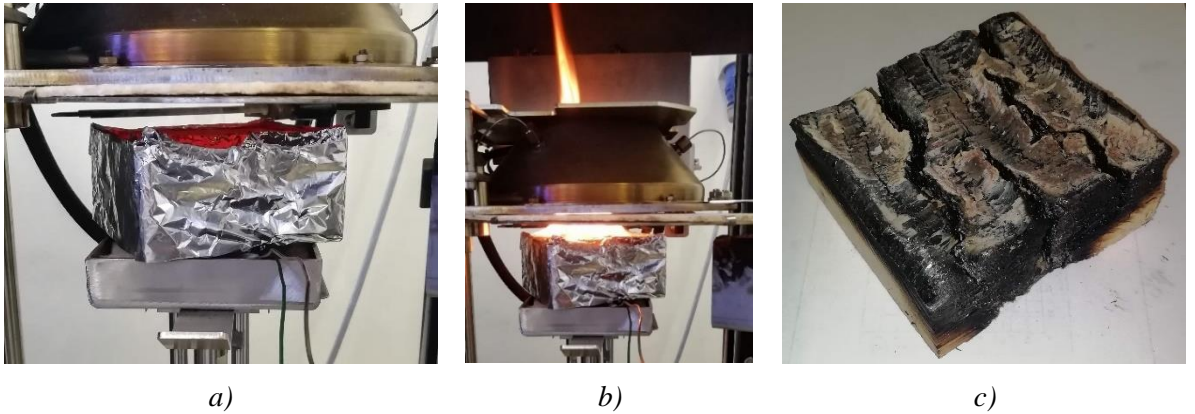
### Test averages

| Test        | t <sub>ig</sub><br>(s) | t <sub>fo</sub><br>(s) | t <sub>end</sub><br>(s) | HRR(peak)<br>(kW/m <sup>2</sup> ) | t <sub>peak</sub><br>(s) | THR<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | HRR(60)<br>(kW/m <sup>2</sup> ) | HRR(180)<br>(kW/m <sup>2</sup> ) | HRR(300)<br>(kW/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Mean</b> | <b>25.5</b>            | <b>1597.5</b>          | <b>1702.5</b>           | <b>156.25</b>                     | <b>332.5</b>             | <b>83.54</b>                | <b>111.32</b>                   | <b>84.09</b>                     | <b>73.35</b>                     |
| 1           | 0                      | 1827                   | 1800                    | 26.21                             | 1205                     | 27.89                       | 6.26                            | 4.88                             | 7.00                             |
| 2           | 30                     | 1524                   | 1740                    | 207.22                            | 35                       | 98.82                       | 147.15                          | 109.07                           | 93.70                            |
| 3           | 23                     | 1523                   | 1640                    | 182.68                            | 35                       | 105.95                      | 141.90                          | 109.49                           | 95.48                            |
| 4           | 49                     | 1516                   | 1630                    | 208.89                            | 55                       | 101.49                      | 149.97                          | 112.91                           | 97.22                            |

| Test        | Flux<br>(kW/m <sup>2</sup> ) | t<br>(mm)   | Area<br>(cm <sup>2</sup> ) | m(i)<br>(g)  | m(s)<br>(g)   | m(f)<br>(g)   | Δm<br>(g/m <sup>2</sup> ) | MLR(av)<br>(g/s·m <sup>2</sup> ) | $\dot{m}_{t,35-60}$<br>(g/s·m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------------|-------------|----------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------------------|----------------------------------|--|
| <b>Mean</b> |                              | <b>62.5</b> |                            | <b>194.9</b> | <b>193.91</b> | <b>117.15</b> | <b>7675.5</b>             | <b>4.60</b>                      | <b>4.51</b>                                  |
| 1           | 20                           | 50          | 100                        | 163.5        | 163.50        | 100.32        | 6318.0                    | 3.51                             | 3.69   |
| 2           | 35                           | 50          | 100                        | 215.49       | 214.39        | 133.41        | 8097.7                    | 4.73                             | 4.58   |
| 3           | 35                           | 50          | 100                        | 217.19       | 215.99        | 133.39        | 8260.0                    | 5.09                             | 4.91   |
| 4           | 35                           | 100         | 100                        | 183.54       | 181.75        | 101.49        | 8026.3                    | 5.05                             | 4.86   |

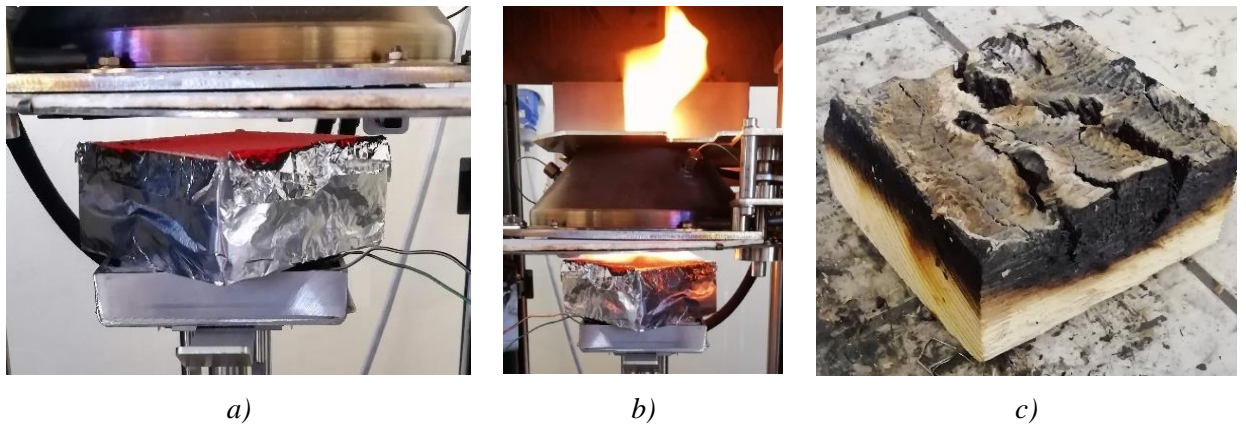
| Test        | THR(0-300)<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | THR(0-600)<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | THR(0-1200)<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | EHC(av)<br>(MJ/kg) | SPR(av)<br>(m <sup>2</sup> /s) | SEA(av)<br>(m <sup>2</sup> /kg) | Fuel load<br>(MJ/kg) | MARHE<br>(kW/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| <b>Mean</b> | <b>20.58</b>                       | <b>35.91</b>                       | <b>62.94</b>                        | <b>10.52</b>       | <b>0.0024</b>                  | <b>64.94</b>                    | <b>4.17</b>          | <b>79.65</b>                  |
| 1           | 2.10                               | 6.37                               | 16.37                               | 4.41               | 0.0077                         | 219.57                          | 1.71                 | 15.49                         |
| 2           | 26.38                              | 44.55                              | 74.66                               | 12.20              | 0.0005                         | 11.57                           | 4.59                 | 102.17                        |
| 3           | 27.46                              | 47.27                              | 82.01                               | 12.82              | 0.0008                         | 16.13                           | 4.88                 | 107.36                        |
| 4           | 26.37                              | 45.48                              | 78.71                               | 12.64              | 0.0006                         | 12.47                           | 5.53                 | 93.56                         |

### Vzorek A3



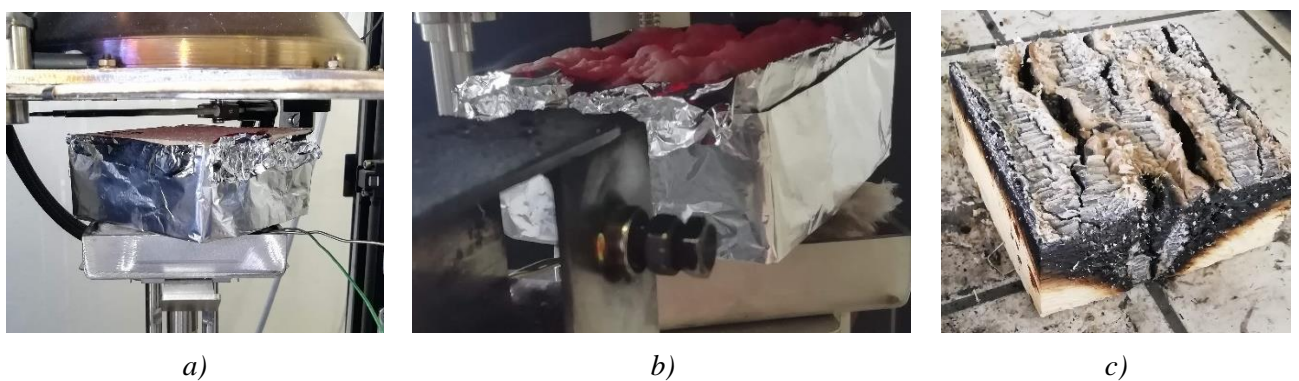
obr. 46: Zkouška vzorku A1: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení; c) spálený vzorek

### Vzorek A4



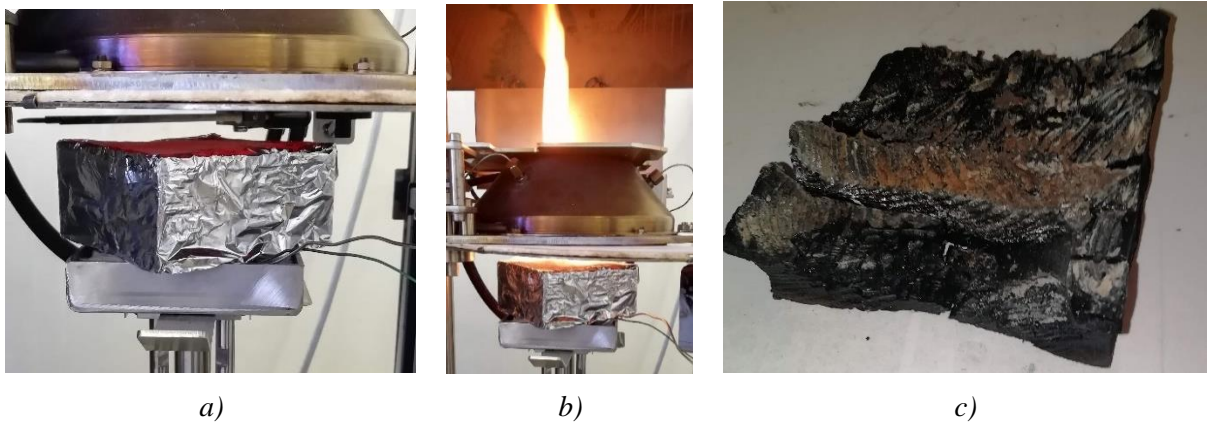
obr. 47: Zkouška vzorku A4: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení; c) spálený vzorek

### Vzorek A5



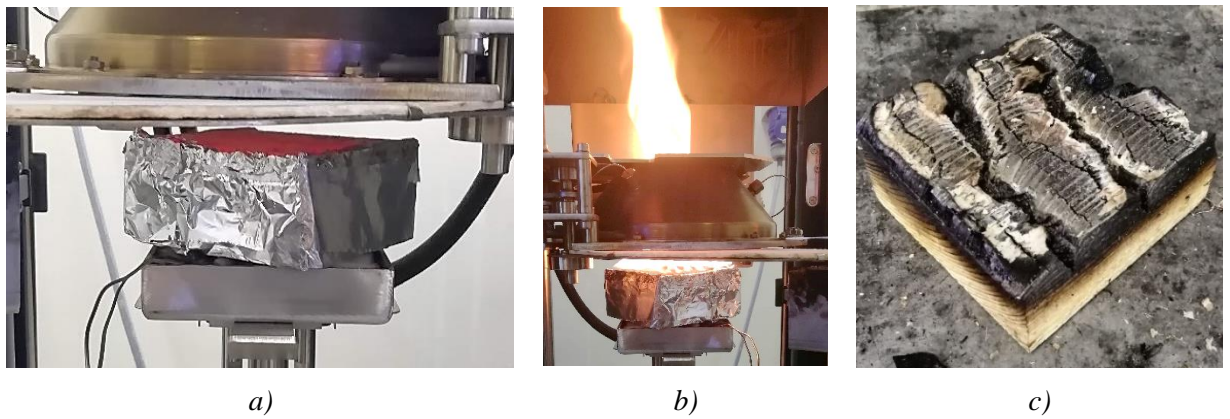
obr. 48: Zkouška vzorku A4: a) začátek zkoušky; b) vzorek se nevnítíl – pozorováno žhnutí; c) spálený vzorek

### Vzorek B1



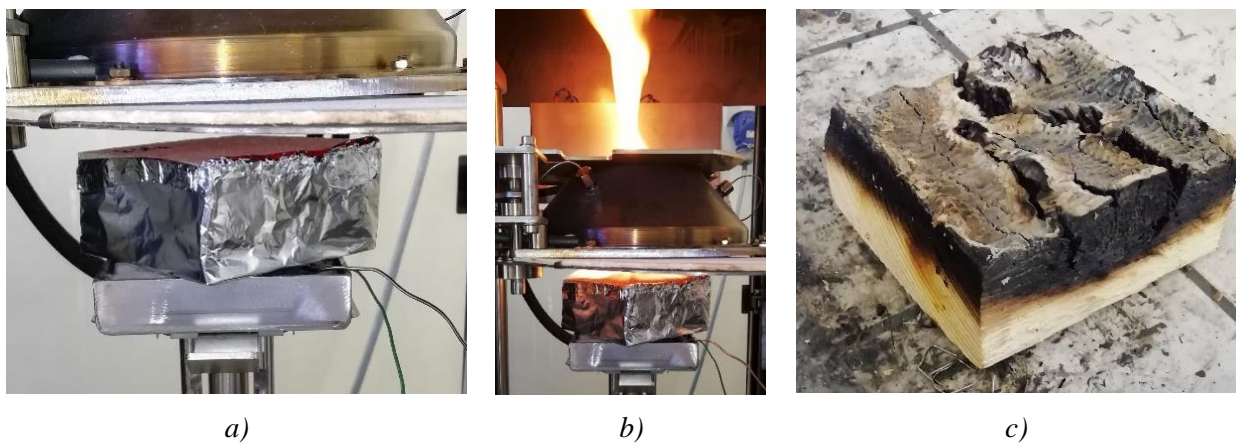
obr. 49: Zkouška vzorku B1: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení; c) spálený vzorek

### Vzorek B3



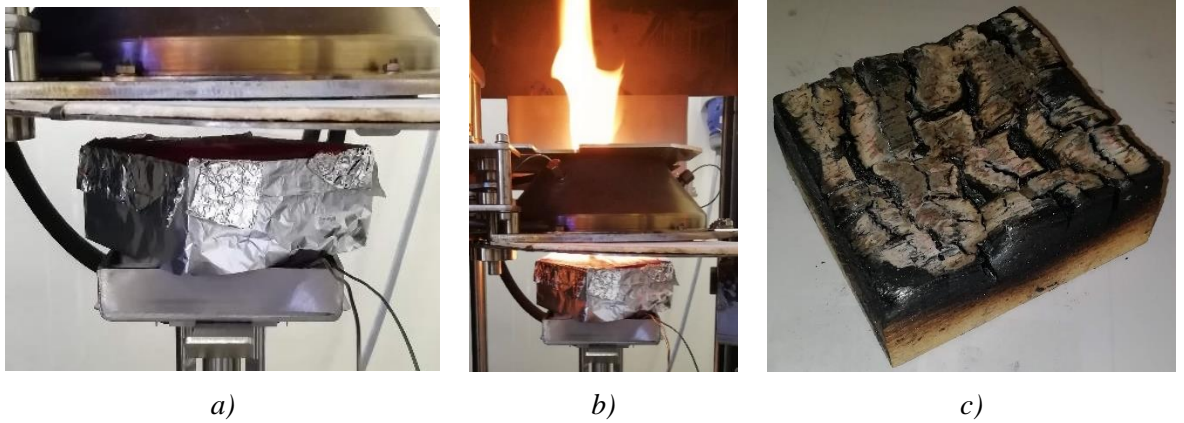
obr. 50: Zkouška vzorku B3: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení; c) spálený vzorek

### Vzorek B4



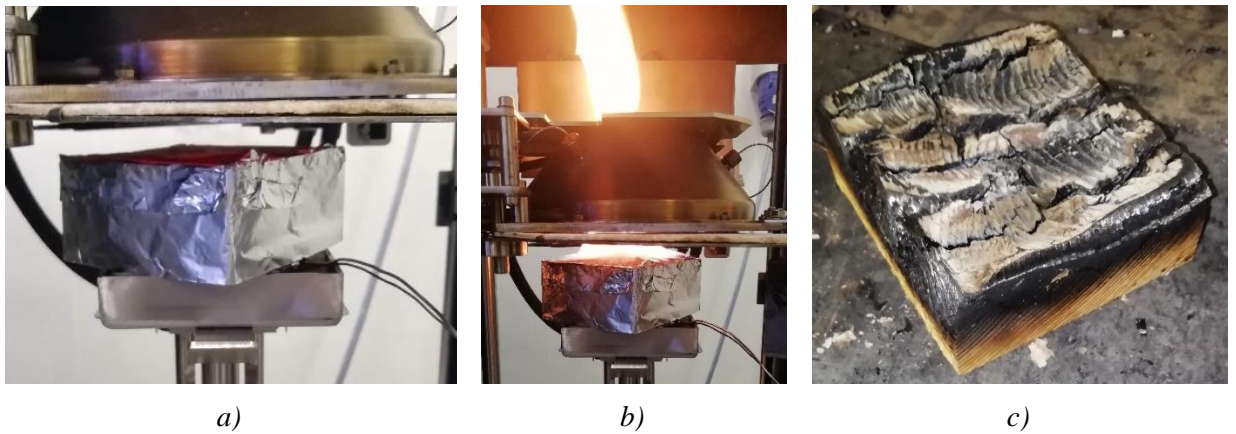
obr. 51: Zkouška vzorku B4: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení; c) spálený vzorek

## Vzorek C2



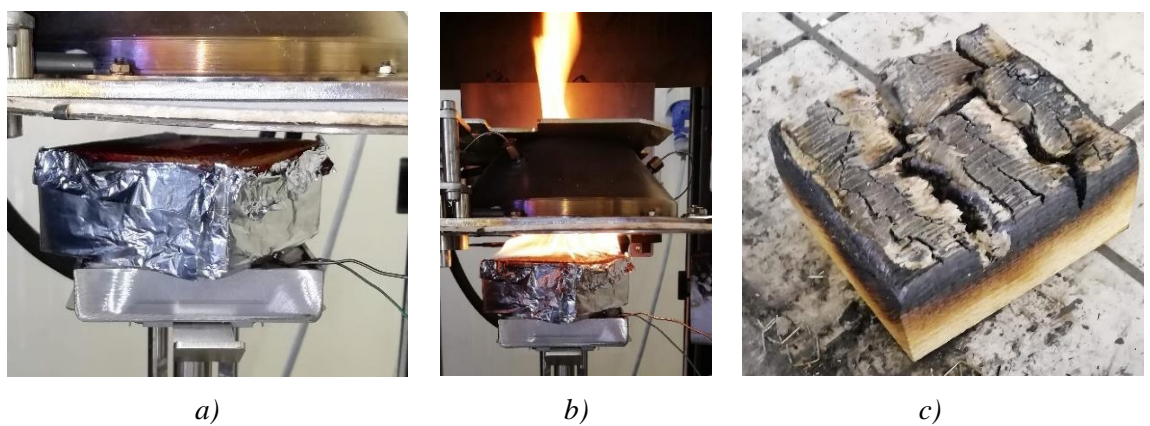
obr. 52: Zkouška vzorku C2: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení; c) spálený vzorek

## Vzorek C3



obr. 53: Zkouška vzorku C3: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení; c) spálený vzorek

## Vzorek C4



obr. 54: Zkouška vzorku C4: a) začátek zkoušky; b) okamžik těsně po vznícení; c) spálený vzorek

## Příloha 3 – Případové studie požárů komínů způsobené samovznícením

V této příloze jsou, s dovolením se zveřejněním kpt. Bc. Daniela Mlčocha, DiS., z MV-GŘ HZS v Praze, uvedeny případové studie z požárů vzniklých samovznícením dřevěného trámu, který byl zazděný do komínového pláště. Jedná se o zkrácené přepis odborných vyjádření komisaře pro zjišťování příčin požárů [28].

U **požáru č. 1** se tak přihodilo ve střeše, kdy vazný trám procházel téměř celým průřezem zděným komínovým pláštěm. U **požáru č. 2** se jednalo o zazděný trám stropní konstrukce do kapsy zděného komínového pláště. Oba požáry se udály po několika letech ve starších objektech, respektive rekonstrukcích.

### Požár č. 1

V Liberci dne 5. 3. 2017

#### Popis objektu:

Jednalo se o požár střešní konstrukce rodinného domu o půdorysných rozměrech cca 16 x 16 m (obr. 55). Objekt byl zděný se dvěma nadzemními podlažními, částečně podsklepený a s nepochozím půdním prostorem. Obvodové a nosné stěny objektu byly zděné, převážně z plynosilikátových tvárnic a pálených cihel, příčky byly zděné z pálených cihel. Zateplení objektu bylo kontaktním zateplovacím systémem z EPS o tloušťce 100 mm. Vodorovné nosné konstrukce objektu byly tvořeny z části dřevěnými trámovými stropy a z části stropy z keramickými vložek. Střecha objektu byla členitá tvořená průnikem dvou střeš sedlového typu. Nosná konstrukce střechy byla tvořena dřevěnými krovy, na kterých bylo prkenné bednění a asfaltové šindele jako střešní krytina, nad obytnou částí byla střecha zateplena izolací z minerální vaty. K vytápění a ohřevu vody v objektu sloužil nízkotlaký teplovodní kotel na tuhá paliva. Kotel byl napojen do vyvložkovaného jedno-průduchového zděného komínového tělesa o rozměrech cca 600 x 600 mm s průměrem vložky cca 300 mm, nad střešní konstrukcí byl komín betonový. Komín byl v místech procházejících obytnými místnostmi omítnut. Dále byla v objektu instalována v obývacím pokoji krbová kamna, která byla napojena na druhý jedno-průduchový komín s komínovou vložkou. Dle sdělení majitele byl objekt kompletně rekonstruován cca před 25 lety.



obr. 55: Pohled na JZ průčelí požárem zasaženého objektu



## **Příčina vzniku požáru včetně možných verzí**

Svědecké ohnisko požáru bylo, dle sdělení majitele, určeno do půdního prostoru v blízkosti komínového tělesa, na které byl napojen kotel na tuhá paliva a také do prostoru střechy pod komínem, kde majitel spatřil plamenné hoření kolem úžlabí.

Požární ohnisko požáru bylo dle sdělení zasahujícího hasiče určeno do prostoru střešní konstrukce v blízkosti komínového tělesa, konkrétně cca 50 cm pod komínem, kde bylo patrné plamenné hoření dřevěného bednění a střešní krytiny a dále bylo plamenné hoření zjevné v prostoru kolem úžlabí.



*obr. 56: Pohled na požárem zasaženou část střešní konstrukce*

Kriminalistické ohnisko požáru – KOP – bylo na základě informací zjištěných vyšetřovatelem na místě požáru, s přihlédnutím k míře odhoření hořlavého materiálu, určeno do půdního prostoru. Konkrétně do míst, kde komínovým tělesem procházel středová vaznice, která byla v ose komína nejvíce degradována (obr. 56).

### **Reálné verze vzniku požáru**

Technická závada, nepředpokládaná změna provozních parametrů na elektroinstalaci či elektrospotřebiči. Statickým a dynamickým ohledáním půdního prostoru bylo vyšetřovatelem zjištěno, že v místě KOP nebyly vedeny žádné stabilní rozvody elektrické energie ani pohyblivé přívody elektrické energie, popř. instalovány elektrické spotřebiče. Vzhledem k uvedeným skutečnostem lze tuto verzi jednoznačně vyloučit.

**Fyzikálně chemické samovznícení – tepelné** – statickým ohledáním místa požáru bylo zjištěno, že komínovým tělesem v půdním prostoru procházela vaznice o rozměrech cca 200 x 200 mm. V celé délce průchodu komínovým tělesem byl trám ze tří stran opatřen průchodkou z osinkocementového o tloušťce cca 5 mm. Nad vaznicí bylo na její pravé části (při čelním pohledu na komín) viditelné místo ukotvení (zazdění) jedné krokve o rozměrech 100 x 100 mm. Tato krokev byla směrem od místa ukotvení zcela ohořelá. Tepelná degradace vaznice byla nejvíce patrná v ose komínového tělesa a dále rovnoměrně na obě strany na šíři dvou sousedních krokví, které byly po stranách přiléhajících ke komínu taktéž tepelně degradovány.



*obr. 57: Pohled na středovou vaznici procházející komínovým tělesem*

Dynamickým ohledáním KOP bylo zjištěno, že v místě největšího tepelného namáhání vaznice byla tato vaznice poškozena v celém svém průřezu. Po vydrolení zbytků zuhelnatělého dřeva vznikl otvor o rozměrech cca 250 x 200 x 200 mm. V tomto vzniklém otvoru byla průchodka degradovaná z původní tloušťky 5 mm na cca 1 mm tak, že bylo patrné a viditelné cihelné zdivo komínového tělesa. Po odstranění zbytku průchodky bylo vyšetřovatelem zjištěno, že cihelné zdivo komínového tělesa bylo dlouhodobým tepelným namáháním a stářím zcela rozpadlé. Za zbytky cihelného zdiva byla již viditelná izolační tepelná izolace a samotná komínová vložka (obr. 57). Vlivem průchodu středové vaznice komínovým tělesem, vydrolení cihelného zdiva a zeštíhlení průchodky docházelo k dlouhodobému zahřívání dřevěné vaznice. K tepelnému samovznícení dochází dlouhodobým působením tepla v prostředí s nízkou teplotou, která nepřevyšuje teplotu vznícení daného materiálu, ale protože se v důsledku okolní teploty teplo neodvádí, kumuluje se v materiálu až na teplotu vznícení.

Na základě všech zadokumentovaných skutečností, získaných důkazů a poznatků, bylo stanoveno, že příčinou vzniku požáru bylo:

- **Fyzikálně chemické – tepelné samovznícení** nosné konstrukce střechy procházející komínovým tělesem

Okolnosti mající vliv na šíření požáru včetně dodržení podmínek požární bezpečnosti stavby, vyplývající z ověřené projektové dokumentace: vlivem nedostatku vzdušného kyslíku probíhalo z větší části nedokonalé hoření a požár se šířil z místa svého vzniku pomalu. Podstřešní prostor se zaplnil horkými zplodinami hoření, které unikaly přirozenými cestami ven. Docházelo k zahřívání střešní konstrukce, ale k jejímu vzplanutí na větší ploše nedošlo.

### **Následky požáru, předběžná způsobená škoda, zraněné a usmrcené osoby**

*Popis škod:* *Plamenným hořením a tepelnými účinky požáru byla poškozena část střešní konstrukce, střešní krytiny a stropní konstrukce v oblasti pod komínem. Zbytek střešní konstrukce v místě hambálku byl poškozen tepelnou degradací a zplodinami hoření. Zplodinami hoření dále došlo k poškození výmalby a vybavení objektu ve 2. NP.*

*Přímá škoda:* *150 000 Kč dle odhadu majitele.*

## Požár č. 2

V Liberci dne 17. 3. 2016

### Popis objektu

Jednalo se o požár objektu, vedeného jako rodinný dům, s půdorysnými rozměry cca 156 x 10 m o 3 nadzemních a jedním podzemním podlaží (obr. 58). Prostory prvního nadzemního podlaží byly využívány obecním úřadem a zdravotním střediskem, ve druhém nadzemním byla bytová jednotka využíváná, třetí nadzemní podlaží bylo využíváné jako půda. V 1. podzemním podlaží byl umístěn kotel na tuhá paliva a uskladněno uhlí. Svislé nosné konstrukce objektu byly zděné z plných cihel. Vodorovné nosné konstrukce byly tvořené z hořlavých materiálů v následujícím složení: rákosová omítka, prkenné podbití, nosné trámy stropu se zásypem, prkenný záklop, nášlapná vrstva podlahy. K vytápění budovy byl využíván kotel na tuhá paliva připojený ke komínovému tělesu v místě kotelny v 1. PP.



obr. 58: Pohled na objekt z východu

### Příčina vzniku požáru včetně možných verzí

Svědecké ohnisko požáru bylo určeno uživatelem objektu ve druhém nadzemním podlaží do pokoje. V době zpozorování byly patrné pouze projevy účinků požáru, resp. byl zpozorován kouř v kuchyni a zjištěny teplé dveře ložnice.

Požární ohnisko požáru bylo zasahujícími hasiči, dle sdělení, určeno do uzamčené místnosti ve 2. nadzemním podlaží, do rohu vlevo od vstupních dveří. V tomto místě stála šatní skříň, která byla účinky probíhajícího požáru poškozena zespodu a v zadní části.

Kriminalistické ohnisko požáru – KOP – bylo na základě informací zjištěných vyšetřovatelem na místě požáru, s přihlédnutím k míře ohoření hořlavého materiálu, určeno do rohu místnosti ve 2. NP vlevo od vstupních dveří, do prostoru podlahy.

### Reálné verze vzniku požáru

Technická závada, nepředpokládaná změna provozních parametrů na elektroinstalaci či elektrospotřebiči – v místě určeného kriminalistického ohniska požáru nebyly vedeny žádné stabilní ani pohyblivé rozvody elektrické energie, ani se zde nenacházel žádný elektrický spotřebič. Vzhledem k uvedeným skutečnostem lze tuto verzi jednoznačně vyloučit.

**Fyzikálně chemické samovznícení tepelné** – statickým ohledáním místa požáru bylo zjištěno, že k plamennému hoření došlo pouze v rohu místnosti vlevo od vstupních dveří. V tomto prostoru byl účinky požáru poškozen dřevěný trám uvnitř konstrukce podlahy, prkenný záklop, podlahová krytina, záda a bok dřevěné skříně. Dále byla v tomto místě vlivem vysoké teploty probíhajícího požáru opadaná omítka ze stěn. Na stěnách v tomto rohu místnosti byl patrný charakteristický ohniskový příznak (obr. 59).



a)

b)

*obr. 59: Pohled na místo požáru: a) pohled do rohu místnosti vlevo od vstupních dveří; b) detail trámu v kapse komínového tělesa*

Dynamickým ohledáním podlahy v místě požáru, po vyříznutí části podlahy a části hořícího trámu, bylo vyšetřovatelem zjištěno, že čelo trámu bylo uloženo v kapse komínového tělesa. Následným ohledáním komínového tělesa bylo zjištěno, že toto je opatřeno komínovou vložkou po celé své délce. Ohledáním nadstřešní části komínu bylo vyšetřovatelem zjištěno, že na komínové hlavě a v úžlabí střešní konstrukce je větší množství sazí. To nasvědčuje komínovému požáru, při kterém se vznítí saze, které se dále uvolňují a vylétávají z komínu ven. Při komínovém požáru dosahují teploty uvnitř komínového tělesa hodnot kolem 1000 °C. Vlivem takto vysoké teploty došlo k nadměrnému zahřátí komínové vložky a ohřívání materiálu komínového tělesa sáláním. V místě zeslabení materiálu komínu (v místě kapsy pro uložení trámu stropní konstrukce) došlo k tepelnému namáhání čela trámu. Jakmile teplota části trámu přesáhla teplotu vznícení, došlo nejprve k bezplamennému hoření, které postupně přešlo v hoření plamenné a rozšíření požáru na okolní hořlavé materiály.

Na základě všech zadokumentovaných skutečností, získaných důkazů a poznatků, bylo stanoveno, že příčinou vzniku požáru bylo:

- **Tepelné samovznícení** trámu podlahové konstrukce přizdžené ke komínovému tělesu

Okolnosti mající vliv na šíření požáru včetně dodržení podmínek požární bezpečnosti stavby, vyplývajících z ověřené projektové dokumentace: vlivem nedostatku vzdušného kyslíku probíhalo nedokonalé hoření za vývinu velkého množství sazí, požár se z místa svého vzniku šířil pomalu, rozšířil se pouze na část podlahy a skříň stojící v místě vzniku.

## Následky požáru, předběžná způsobená škoda, zraněné a usmrcené osoby

*Popis škod:* *Plamenným hořením a tepelnými účinky požáru byla poškozena část konstrukce podlahy a šatní skříň stojící v blízkosti komínového tělesa. Zplodinami hoření došlo ke zničení vybavení místnosti a poškození výmalby v ostatních pokojích druhého nadzemního podlaží.*

*Přímá škoda:* *400 000 Kč dle vyjádření zástupce majitele (starosty obce)*

Výše uchráněných hodnot při hasebním zásahu: uchráněné hodnoty byly vyšetřovatelem odhadnuty na 1 000 000 Kč. Porušení předpisů o požární ochraně:

- majitelem ani uživatelem objektu nebyl předložen doklad o kontrole spalinové cesty, tím se považuje provoz spalinové cesty z hlediska ochrany zdraví, života nebo majetku osob, dle § 43 zákona č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů, za nevyhovující,
- v nájemní smlouvě mezi majitelem a uživatelem objektu není povinnost zajistit kontrolu spalinové cesty přenesena na uživatele, proto dle zák. 89/2012 Sb., ve znění pozdějších předpisů (občanský zákon) má tuto povinnost majitel objektu,
- neprovedenou kontrolou došlo k porušení zák. č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů, § 5 odst. 1, písm. c), kdy právnická osoba je povinna dodržovat podmínky a návody vztahující se k požární bezpečnosti výrobků nebo činností.