

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Studijní program: Integrovaná bezpečnost staveb

Diplomová práce

**POŽÁRNÍ PARAMETRY VYBRANÝCH PŘEDMĚTŮ
ZAŘÍZENÍ BUDOV**

FIRE PARAMETERS OF SELECTED FURNISHING ITEMS

Bc. Lucie Pittermanová

vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Mózer, PhD.

2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Bc. Pittermanová</u>	Jméno: <u>Lucie</u>	Osobní číslo: <u>486138</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra konstrukcí pozemních staveb</u>		
Studijní program: <u>Integrální bezpečnost staveb</u>		
Studijní obor: <u>-</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Požární parametry vybraných předmětů zařízení budov</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Fire parameters of selected furnishing items</u>	
Pokyny pro vypracování: 1/ Rozbor současného stavu problematiky v oblasti stanovování požární parametrů 2/ Identifikace materiálové skladby relevantních předmětů zařízení budov 3/ Návrh experimentů pro získání potřebných požárních parametrů a výběr vzorků 4/ Realizace experimentů, analýza naměřených dat a vyvození závěrů 5/ Doporučení pro navazující výzkum	
Seznam doporučené literatury: Harper, C. Handbook of Building Materials for Fire Protection Babrauskas, V. Ignition handbook Apte, V. Flammability Testing of Materials Used in Construction, Transport and Mining NFPA, BRE a další databáze požárních parametrů	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Vladimír Mózer, PhD.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>2.10.2023</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>8.1.2024</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
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“.

<u>12.10.2023</u>	Podpis studenta(ky)
Datum převzetí zadání	

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci na téma „Požární parametry vybraných předmětů zařízení budov“ vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a za pomoci odborných konzultací s doc. Ing. Vladimírem Mózerem, Ph.D.

V Praze dne

Bc. Lucie Pittermanová

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Vladimíru Mózerovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, trpělivost a cenné připomínky při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat zaměstnancům požární laboratoře (FireLab) v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze za pomoc s experimenty. Nakonec bych ráda poděkovala rodičům za to, že mi umožnili studovat a po celou dobu mě podporovali.

Obsah

Obsah	5
Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	8
Abstrakt	9
Abstract	9
Seznam použitých veličin a zkratk	10
1 Úvod	11
1.1 Motivace.....	11
1.2 Stanovení výzkumné otázky.....	11
1.3 Cíle práce.....	12
2 Současný stav poznání	13
2.1 Experimentální stanovování požárních parametrů.....	13
2.1.1 Malý rozměr.....	13
2.1.2 Střední rozměr.....	16
2.1.3 Velkorozměrové zkoušky.....	20
2.2 Databáze.....	20
2.2.1 Experimenty vybraných předmětů.....	21
3 Praktická část	25
3.1 Představení experimentálních měření.....	25
3.2 Požární zkoušky sestavy.....	26
3.2.1 Sestava 1 (Zapálení TV 1).....	26
3.2.2 Zbytek sestavy (Zapálení bez TV).....	30
3.2.3 Sestava 2 (Zapálení TV 2).....	34
3.2.4 Porovnání výsledků a vyhodnocení.....	37
3.3 Požární zkouška dvojkřesla.....	38
3.3.1 Popis zkoušky.....	38
3.3.2 Průběh zkoušky.....	38
3.3.3 Analýza výsledků.....	40
3.4 Požární zkouška postele.....	42
3.4.1 Popis zkoušky.....	42
3.4.2 Průběh zkoušky.....	43
3.4.3 Analýza výsledků.....	45
3.5 Požární zkouška matrace.....	46
3.5.1 Popis zkoušky.....	46
3.5.2 Průběh zkoušky.....	47
3.5.3 Analýza výsledků.....	48
3.6 Požární zkouška křesla.....	49

3.6.1	Popis zkoušky.....	49
3.6.2	Průběh zkoušky.....	49
3.6.3	Analýza výsledků.....	50
3.7	Požární zkouška židle 1.....	53
3.7.1	Popis zkoušky.....	53
3.7.2	Průběh zkoušky.....	54
3.7.3	Analýza výsledků.....	55
3.8	Požární zkouška židle 2.....	57
3.8.1	Popis zkoušky.....	57
3.8.2	Průběh zkoušky.....	57
3.8.3	Analýza výsledků.....	58
3.8.4	Porovnání experimentu Židle 1 s Židle 2.....	59
3.9	Shrnutí výsledků.....	60
4	Závěr.....	61
	Literatura.....	62

Seznam obrázků

Obrázek 2–1 Bombový kalorimetr a jeho příslušenství [5].....	14
Obrázek 2–2 Kónický kalorimetr a jeho příslušenství [5].....	15
Obrázek 2–3 Schématické znázornění zařízení nábytkového kalorimetru [10].....	17
Obrázek 2–4 Schématické znázornění zařízení RCT [14].....	18
Obrázek 2–5 Propanový hořák (vlevo), digestor s odvodním potrubím (vpravo) [13].....	19
Obrázek 2–6 Studie NIST [20].....	21
Obrázek 2–7 Studie Burning of Electrical household Appliances [21]	22
Obrázek 2–8 Studie od Korea Institute of Construction Technology [23].....	23
Obrázek 2–9 Studie FSRI [23]	23
Obrázek 2–10 Studie od Univerzity of Canterbury [24].....	24
Obrázek 3–1 Dispozice RCT ve FireLAB na UCEEB ČVUT v Praze.	25
Obrázek 3–2 Schématické znázornění – Sestava 1 (Zapálení TV 1).....	27
Obrázek 3–3 Průběh požární zkoušky – Sestava 1 (Zapálení TV 1).....	28
Obrázek 3–4 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Sestava 1 (Zapálení TV 1).....	29
Obrázek 3–5 Grafy znázorňující průběh HRR – porovnání s jinými databázemi.....	30
Obrázek 3–6 Schématické znázornění – Zbytek sestavy (Zapálení bez TV).....	31
Obrázek 3–7 Průběh požární zkoušky – Zbytek sestavy (Zapálení bez TV).....	32
Obrázek 3–8 Schématické znázornění – Sestava 2 (Zapálení TV 2).....	34
Obrázek 3–9 Průběh požární zkoušky – Sestava 2 (Zapálení TV 2).....	35
Obrázek 3–10 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Sestava 2 (Zapálení TV 2).....	36
Obrázek 3–11 Porovnání průběhů nejdůležitějších požárních parametrů – požární zkoušky sestavy.....	37
Obrázek 3–12 Schématické znázornění - Dvojkřeslo	38
Obrázek 3–13 Průběh požární zkoušky – Dvojkřeslo	39
Obrázek 3–14 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Dvojkřeslo.	41
Obrázek 3–15 Grafy znázorňující průběh HRR - porovnání s jinými databázemi.....	42
Obrázek 3–16 Schématické znázornění - Postel.....	42
Obrázek 3–17 Průběh požární zkoušky – Postel.....	44
Obrázek 3–18 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Postel.....	46
Obrázek 3–19 Schématické znázornění – Matrace.....	46
Obrázek 3–20 Průběh požární zkoušky – Matrace.....	47
Obrázek 3–21 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Matrace.....	48
Obrázek 3–22 Schématické znázornění – Křeslo	49
Obrázek 3–23 Průběh požární zkoušky – Křeslo	50
Obrázek 3–24 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Křeslo.....	51
Obrázek 3–25 Grafy rychlosti uvolňování tepla - porovnání s jinými databázemi.....	53
Obrázek 3–26 Schématické znázornění – Židle 1.....	54

Obrázek 3–27 Průběh požární zkoušky – Židle 1.....	55
Obrázek 3–28 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Židle 1	56
Obrázek 3–29 Schématické znázornění – Židle 2.....	57
Obrázek 3–30 Průběh požární zkoušky – Židle 2.....	58
Obrázek 3–31 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Židle 2	59
Obrázek 3–32 Porovnání průběhů nejdůležitějších požárních parametrů – Židle 1 a Židle 2.....	60

Seznam tabulek

Tabulka 3–1 Seznam experimentů.....	25
Tabulka 3–2 Přehled nejvyšších dosažených hodnot hlavních požárních parametrů	60

Abstrakt

Tato diplomová práce se skládá ze dvou částí – teoretické a praktické. Teoretická část zahrnuje literární rešerši, ve které je shrnutý současný stav poznání z hlediska materiálů používaných v budovách pro bydlení a z hlediska charakteristiky požárních parametrů zařízení budov. Součástí této rešerše je také představení metod, které jsou využívány při požárních zkouškách. Dále byly představeny dostupné databáze obsahující nábytek běžně se vyskytující v hotelových pokojích. Z vybraných databází se zvolily předměty s podobnými vlastnostmi, jako má zvolený nábytek v praktické části. V rámci praktické části byly vybrány kusy nábytku, které se nejčastěji vyskytují v hotelových prostorách. Pro tyto předměty byly provedeny experimentální měření v rámci RCT, konkrétně vně místnosti. Při všech měření se zaznamenávaly základní požární parametry. Motivací této diplomové práce je stanovit hlavní požární parametry nábytku nacházejícího se v hotelových pokojích.

Klíčová slova

Požární nábytek; otevřená kalorimetrie; kalorimetrie; moderní nábytek; rychlosti uvolňování tepla; Room Corner Test; kyslíková kalorimetrie; kónická kalorimetrie, nábytkový kalorimetr

Abstract

This diploma thesis consists of two parts – theoretical and practical. The theoretical part includes a literature search, which summarizes the current state of knowledge in terms of materials used in buildings for housing, and terms of fire performance characteristics of furnishing. This review also includes an introduction to the methods used in fire testing. Furthermore, available databases containing furniture commonly found in hotel rooms were presented. From the selected databases, items with similar characteristics to the selected furniture in the practical part were chosen. In the practical part, the furniture items most commonly found in hotel rooms were selected. For these items, experimental measurements were made within the RCT, specifically outside the room. In all measurements, basic fire parameters were recorded. The motivation of this thesis is to determine the main fire parameters of furniture found in hotel rooms.

Keywords

Fire furniture; open calorimetry; calorimetry; modern furniture; heat release rate; furniture calorimetry; Room Corner Test; oxygen consumption calorimetry, cone calorimetry, furniture calorimetry

Seznam použitých veličin a zkratk

Zkratky

CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
NIST	National Institute of Standards and Technology
FRIS	Fire Research Information Services
UCEEB	Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT
RCT	Room Corner Test
HRR	Heat Release Rate
MRL	Material Loss Rate

Přehled veličin

Q	kW	Rychlost uvolňování tepla
q	kW/m ²	Sálavý tepelný tok
m	g	Hmotnost
ḡ	g/s	Rychlost odhořívání

1 Úvod

Cílem práce je získat databázi základních parametrů pro jejich následné využití odbornou veřejností při vyšetřování vzniku a průběhu požáru a pro obecné modelování. V současné době jsou u nás k dispozici převážně zahraniční databáze a studie, které jsou nedostatečné z hlediska materiálů výrobků užívaných v ČR. Důvodem nedostačujících údajů, především o materiálech, je pomalu se zvyšujícím výskyt hořlavých materiálů v budovách. Dostupné databáze nejsou sjednoceny, jsou neúplné a výběr druhu nábytků je poměrně úzký. Nevýhodou je také to, že mnoho z nich pochází z 20. století. Nábytek, který je v nich použit, tedy neodpovídá dnešním standardům, ať již v rámci zmíněného rozdílného materiálového složení nebo v rámci inovací a vývoje v uplynulých letech. [1], [2]

Diplomová práce je dále rozdělena do dvou částí – teoretické a experimentální. Teoretická část obsahuje literární rešerši, ve které jsou shrnuté dosavadní databáze a studie. V rámci rešerše byli také shrnuty metody, které jsou využívány pro požární experimenty. Experimentální část se věnuje požárním zkouškám vybraných druhů nábytku, které se vyskytují v hotelech. Pro předměty se stanovili hlavní požární parametry.

1.1 Motivace

Motivací této diplomové práce je stanovit hlavní požární parametry, které by dále mohli být využity odbornou veřejností pro vyšetřování vzniku a průběhu požáru. A změřit tyto parametry pomocí experimentů. V průběhu let byla provedena řada experimentů s jednotlivými kusy nábytku. Řada těchto experimentů byla provedena před mnoha lety. Velká část se věnuje pozorování rozdílu v průběhu požáru nábytku s požárními retardéry v porovnání předmětů bez požárních retardérů. Z těchto dat je patrná různorodost průběhu vývoje požáru, která je ovlivněna mnoha faktory. Důležitými faktory ovlivňující vývoj požáru jsou: materiál předmětu, jeho umístění, způsob iniciace požáru, zařízení, které požár vyvolává, umístění zdroje požáru.

Výzkum, který je prezentován v této práci, je součástí realizace projektu BV MV Inovace a rozvoj nástrojů v oblasti zjišťování příčin vzniku požárů VJ01010046. Projekt vychází z potřeby inovace současných postupů, přístupů a technik v rámci procesu zjišťování příčin vzniku požárů.

Tato práce navazuje velkorozměrovou požární zkouškou hotelového pokoje provedenou v rámci, již zmíněného projektu. Jedním z cílů je reprodukce velkorozměrového experimentu. Reprodukce tohoto experimentu má být dosažena pomocí požárních zkoušek jednotlivých kusů nábytku, které se nacházeli v daném hotelovém pokoji. Pro každý předmět bude provedena vlastní požární zkouška, při níž budou sbírány důležité parametry. Tyto nově nasbírané informace z jednotlivých experimentů budou moci být následně vloženy do uceleného modelu, který bude kopírovat již zmíněnou požární zkoušku celého pokoje. Výsledkem by bylo porovnání výstupů, rozdíly nebo shody mezi modelem a již provedenou velkorozměrovou zkouškou.

1.2 Stanovení výzkumné otázky

Jako výzkumnou otázku bychom mohli uvažovat stanovení rozhodujících parametrů pro vyšetřování příčin požáru a modelování.

1.3 Cíle práce

Hlavním cílem práce je poskytnout podklady pro vyšetřování vzniku a průběhu požáru a pro obecnou modelaci. Pro dosažení hlavního cíle byly stanoveny tyto dílčí cíle:

1. Literární rešerše

Hlavním záměrem této části je shrnout dostupné databáze a zvýraznit části těch, které mají nějaké spojitosti s praktickou částí této práce. Záměrem této části je také, přiblížení nejčastěji používaných požárních metod a sblížení s metodou, která je použita při experimentech provedených v rámci praktické části.

2. Provedení experimentálních měření

Jedním z nejhlavnějších cílů je provedení několika experimentálních měření. Tato měření jsou zaměřena na kusy nábytku, které se mohou vyskytovat v hotelových pokojích a byli použity již v proběhlé velkorozměrové zkoušce.

3. Stanovení rozhodujících parametrů

Z provedených experimentů sepsat dostupná data a stanovit důležité parametry pro každý experiment.

4. Vyhodnocení získaných dat

Zhodnotit vybrané parametry a průběhy experimentů pro každý experiment zvlášť. V závěru posoudit, důležité parametry mezi sebou, zhodnotit co mohlo mít vliv na odlišný/podobný průběh. Porovnat s dostupnými experimenty v databázích zmíněných v literární rešerši.

5. Kompletace databáze

V rámci této práce byla také vytvořena databáze, která bude dostupná odborné veřejnosti v rámci projektu VJ01010046. V této databázi jsou dostupné výstupy z provedených experimentů z této práce, ale i experimentů, které byly provedeny mimo tuto práci.

2 Současný stav poznání

Požární parametry nábytku vyskytujícího se v hotelových pokojích, jsou důležité pro zajištění bezpečnosti hostů a pro prevenci rozšíření ohně. Nábytek v hotelových pokojích by měl být co nejméně tvořen z hořlavých materiálů, například plastů, které intenzivně hoří a šíří dým. Nábytek by také neměl zabraňovat při evakuaci, aby se hosté mohli v případě evakuace dostat rychle a snadno ven z pokoje. Rovněž je důležité vhodné rozmístění nábytku, aby se eliminovalo riziko šíření ohně.

V předchozích letech došlo k pokroku v požárnímu výzkumu, který umožnil lépe porozumět chování požáru. V rámci toho, byly vyvinuty různé metody a modely, které umožňují stanovit parametry požáru zařizovacích předmětů. K této tématice, byly provedeny zkoušky pro různé zařizovací předměty z různých materiálů. Tato diplomová práce se zaměřuje hlavně na zařízení v hotelových pokojích a přehled současného stavu poznání v oblasti stanovení parametrů požáru s ohledem na dostupné databáze požárních zkoušek. Viz kapitola 2.2 této práce.

Stanovení parametrů požáru zařízení budov umožňuje posoudit jejich vliv na chování požáru. Klíčovým faktorem, který ovlivňuje rychlost a intenzitu požáru je hořlavost jednotlivých materiálů. Nasbírané informace přispívají k rozvoji požární bezpečnosti. Nábytek v zařízení pro ubytování, včetně hotelových pokojů, jak již bylo zmíněno, může být významným zdrojem šíření požáru v budově.

Hlavními metodami pro stanovení parametrů požáru zařízení budov jsou požární zkoušky. Zkoušky jsou prováděny za stanovených podmínek a umožňují analyzovat tepelné uvolňování, produkci hořlavých plynů a další důležité parametry. Díky tomu lze získat data o chování materiálů a zařízení při požáru.

2.1 Experimentální stanovení požárních parametrů

2.1.1 Malý rozměr

2.1.1.1 Kyslíková kalorimetrie

Tato metoda spadá mezi analytické metody. Pomocí této metody lze stanovit spalné teplo a hodnotu výhřevnosti materiálu. Obecně je spalné teplo součet slučovacích tepel produktů hoření jednotlivých prvků obsažených v měřeném materiálu. Z vypočítaného spalného tepla je možné následně vypočítat výhřevnost materiálu v případě, že je znám obsah vodíku v měřeném materiálu, případně množství vody vzniklé při hoření. Výhřevnost je tedy spalné teplo snížené o výparné teplo vody. Obě veličiny je možné spočítat jen za předpokladu, že je známo přesné kvantitativní i kvalitativní složení zkoumaného materiálu. Složení musí být jasné jak před započítáním experimentu, tak i konečné složení produktů rozkladu. Z tohoto důvodu je výpočet velmi obtížně uskutečnitelný.[3]

Metoda je založena na principu, který vychází ze základních faktů chemie: se zvyšujícím se rozvojem požáru, se zvyšuje konzumace kyslíku. S touto myšlenkou přišel William Parker začátkem 70. let 19. století. Ve své práci přišel na možnost užití měření redukce kyslíku při požáru plynů jako indikátoru množství uvolněného tepla. U přesně definovaných materiálů bylo možné rychlost uvolňování tepla a spotřebu kyslíku vypočítat pomocí termodynamických dat. Problém ovšem nastal u materiálů, jejichž složení je neznámé. V závislosti na tom W. Parker objevil, že ačkoli teplo uvolněné na jednotku hmotnosti se liší na základě materiálu vzorku, množství uvolněného tepla na jednotku objemu kyslíku je skoro konstantní pro všechny materiály. Rychlost

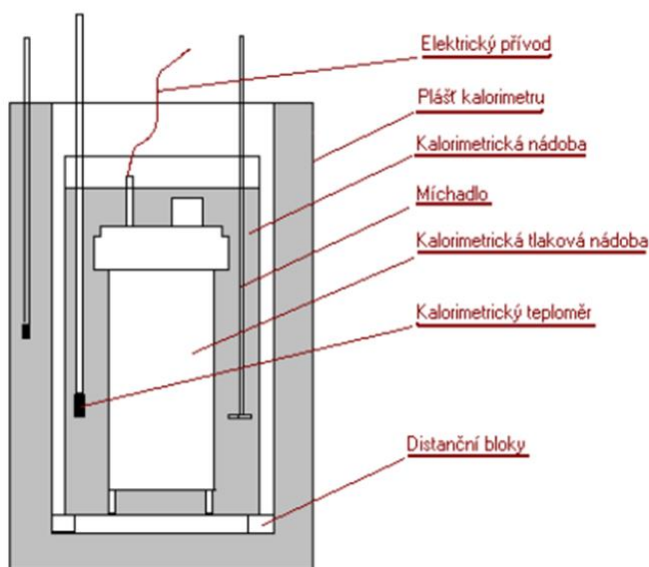
uvolňování tepla u nejběžněji se vyskytujících materiálů při požárech, by tedy bylo možné zjistit pomocí zachycení všech vyprodukovaných spalin a měřením průtoku kyslíku. [4]

Na tomto základě později provedl Clayton Huggett podrobné analýzy. V jeho přehledu literatury bylo později zjištěno, že W. Parkerovy závěry byly znovuobjevením a rozšířením práce již z roku 1917, publikované W.M. Thorntonem. Nicméně při skutečných požárech a požárních zkouškách je přísun kyslíku někdy omezený a může docházet k neúplnému hoření a jen k částečnému spalování, přičemž mohou vznikat oxidované produkty. C.Hugget v závislosti na to navázal stanovením hodnot pro organické kapaliny a plynná paliva. Také zkoumal typické syntetické polymery, protože W. Parkerova práce všechny nepokryla. To přineslo obdobné výsledky. Nakonec dospěl k závěru, že hodnota $E = 13 \text{ kJ/g}$ je typická pro většinu hořlavin. [4]

Popis zařízení – bombový kalorimetr:

Spálení materiálu probíhá v ocelové tlakové nádobě, kde je atmosféra kyslíku pod tlakem $2 \div 3 \text{ MPa}$. K zapálení dochází pomocí elektricky rozzhaveným tenkým ocelovým drátkem. Tato tlaková nádoba je uložena v kalorimetrické nádobě, která je tepelně izolovaná a je naplněna vodou. V průběhu zkoušky dochází k uvolňování tepla spálením paliva, které následně přestupuje z nádoby do vody. Měnící se teplota vody by měla být přímo úměrná vzniklému teple. [3]

Zařízení je nutno kalibrovat, aby se dalo stanovit měrné teplo kalorimetru. Stanovení této hodnoty probíhá měřením v kalorimetru, kdy se jako vzorek se spálí látka se známým spalným teplem. [3]



Obrázek 2–1 Bombový kalorimetr a jeho příslušenství [5].

2.1.1.2 Kónický kalorimetr atd

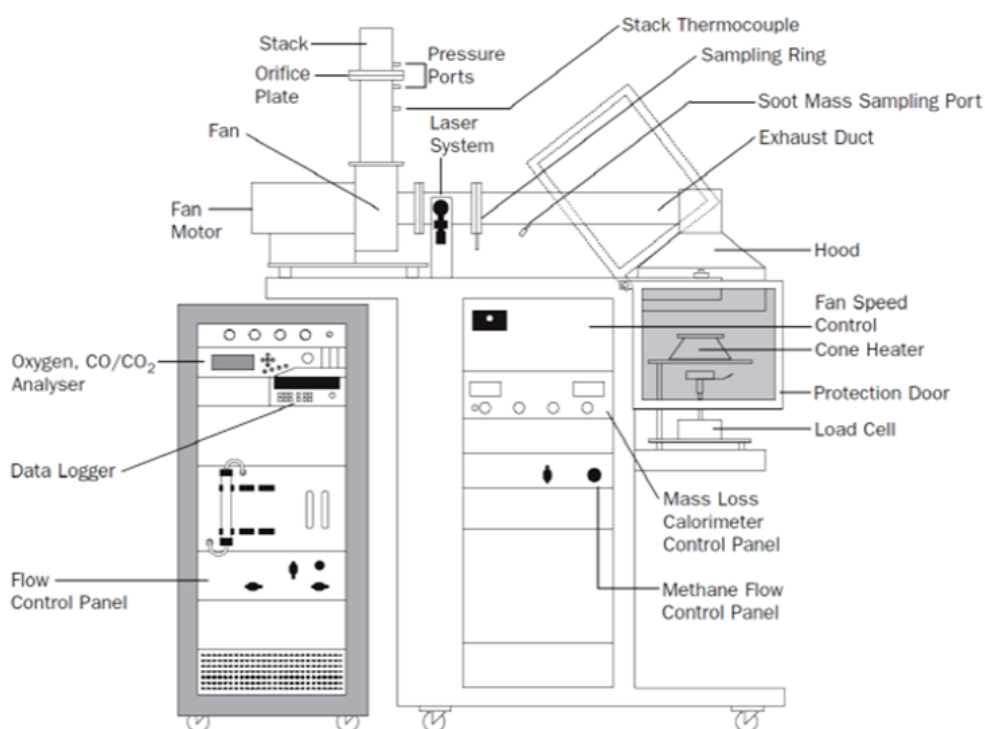
Kónický kalorimetr patří mezi nejčastěji používané metody při měření rychlosti uvolňování energie. Jedná se o upravenou metodu kyslíkové kalorimetrie a její princip je stejný. Jak bylo již zmíněno, vychází se z toho že u plynů, kapalin a pevných látek dochází k uvolňování téměř konstantního množství energie na jednotku hmotnosti spotřebovaného kyslíku. Typická hodnota $E = 13 \text{ MJ}$ na 1 kg spotřebovaného kyslíku. [6].

Množství kyslíku spotřebovaného při spalování je úměrné uvolněnému teple. Tato metoda nestanovuje pouze HRR, ale i další charakteristiky jimiž jsou např. CO, CO₂, hustota kouře. Údaje získané z této zkoušky lze využít pro modelaci požáru, předpověď chování v reálném měřítku, zkoušky, zda vyhovuje či nikoli. [5]

Zkušební přístroj kónického kalorimetru funguje na principu spotřeby kyslíku při spalování. [5]

Přístroj se skládá z mnoha dílů a částí. Mezi základní součásti přístroje dle ISO 5660-1 patří:

- Váha pro měření úbytku hmotnosti
- Upevňovací rám na vzorek
- Piezoelektrický zdroj jiskry
- Kónické topné spirály
- Odvodní potrubí s analyzátory jednotlivých veličin
- Měřicí ústředna



Obrázek 2–2 Kónický kalorimetr a jeho příslušenství [5].

Zkušební vzorek z pevných materiálů a výrobků musí být o rozměrech 100×100 mm s maximální tloušťkou 50 mm. Vzorek se vkládá do rámu, který je pevně umístěn na váhách. Váha zapisuje úbytek hmotnosti vzorku v průběhu zkoušky. Rám může být s otevřenými nebo uzavřenými bočními stěnami. Volba rámu závisí na vzorku. Ve většině případů je vzorek orientován horizontálně, jeho orientace může být ovšem i vertikální, pokud je to vyžadováno a přístroj je k tomu uzpůsoben. V případech, kdy dochází k bobtnání vzorku se využívá drátěná mřížka. Mřížka zajišťuje stálou pozici vzorku, může být využita také při měření vzorku ve vodorovné poloze.

Zápalným zdrojem je piezoelektrický zapalovač, umístěn 5 mm nad držákem. Zdroj spíná v pravidelných intervalech po jedné sekundě. Zapalovač je vypnut ihned po vzplanutí vzorku.

Kónická topná spirála je určena k tepelnému namáhání vzorku. Před počátkem zkoušky je umístěno vodou ochlazené zařízení pro měření tepelného toku do v úrovně povrchu vzorku. Tento zářič působí na vzorek sálavým teplem o hustotě tepelného toku do 100 kW/m^2 . Pro odsátí plyných zplodin slouží odtahové potrubí, v němž jsou umístěny analyzátory zkoumaných veličin, hlavně tedy koncentrace kyslíku. [7], [5]

Digestoř umístěna nad ohřívačem odsává spaliny z hořícího vzorku. V odvodním potrubí je nainstalován ventilátor, který obstarává normový průtok vzduchu. Odběr plynných vzorků probíhá v měřící jednotce (prstenec), která je umístěná před ventilátorem. V měřící jednotce se nachází dva filtry pro odstranění částic. Následně prochází vzorek chladícím filtrem. Nakonec dochází k odstranění případné vody. Optická hustota je měřena pomocí laserového paprsku, také umístěného před ventilátorem. [5]

Před zahájením zkoušky musí dojít ke kalibraci zkušebního zařízení. Kalibrován musí být celý kalorimetr včetně analyzátoru kyslíku. Dále zařízení měřících vah osazené prázdným rámem je pro vzorek seřazeno na nulovou hodnotu. U regulátoru teploty je nastavena požadovaná teplota. Po jejím dosažení je vzorek umístěn na váhy pod tepelný zářič a je odstraněn radiační zářič. Standardní délka zkoušky je 32 minut od vzplanutí. [7]

2.1.2 Střední rozměr

2.1.2.1 Otevřená kalorimetrie (nábytkový kalorimetr)

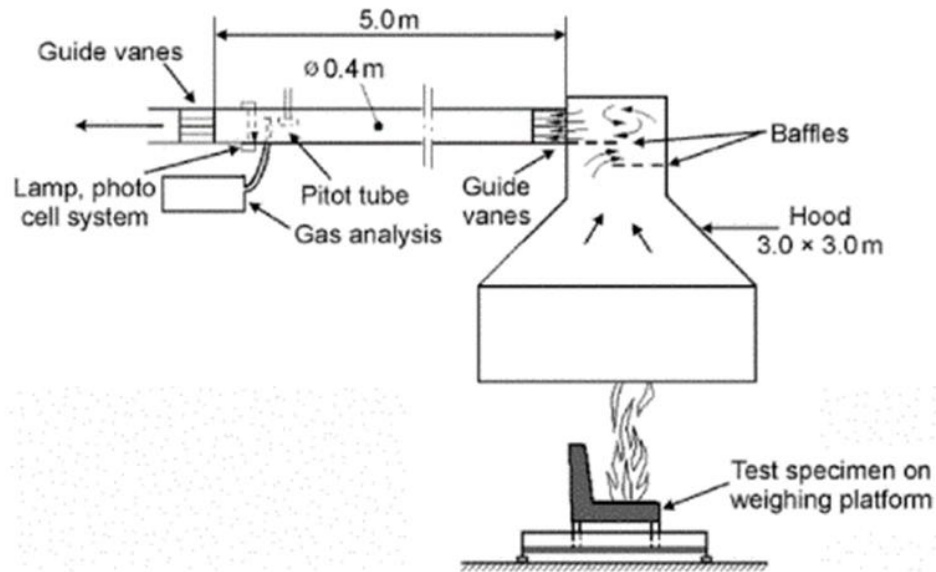
Nábytkový kalorimetr byl vyvinut v roce 2006 ve spolupráci USA, severovýchodních zemí a Anglie. Metoda testuje vlastnosti a chování samostatně stojících předmětů, například židle, matrace, postel atd. Výstupy z měření jsou nejvíce využívány jako vstupní údaje modelů, pro modelaci vývoje kouře, či pro posouzení požárního nebezpečí. Pomocí této metody se měří tepelný tok a tepelné vlastnosti materiálů. Mezi hlavní sledované veličiny patří také úbytek hmotnosti nábytku. Ke spalování vzorku dochází stejným způsobem jako u kónického kalorimetru, jen ve větším měřítku. Rozdíl oproti kónickému kalorimetru je také v tom, že u nábytkového kalorimetru je méně standardizována metoda zapálení a je zkoumáno volné hoření, jakmile je dosaženo jeho samovolného růstu. Nejčastěji se jako iniciátor požáru používá plynový hořák, který je vypnut, jakmile dojde k samovolnému hoření předmětu. [8], [9]

Od RCT se odlišuje nejen tím, že je zkouška provedena na volném prostoru, ale i v maximálním tepelném výkonu, který je při nábytkovém kalorimetru přibližně 1MW. Velkým rozdílem také je, již zmíněně vážení úbytku materiálu. Vzduchotechnická část zařízení je identická se zařízením používaném při Room Corner Testu. Plyny jsou odsávány pomocí digestoře napojené na vzduchotechnické potrubí pro odvod spalin.

Průběh zkoušky, místnost

Zkoušený vzorek je umístěn na váhu položenou na volném prostoru pod digestoří s odsávacím systémem, aby došlo k zachycení všech produkovaných spalin. V odtahovém potrubí jsou umístěny přístroje pro měření průtoku kyslíku a dalších plynů. Z hladiny kyslíku se pak určuje rychlost uvolňování tepla. Objem digestoře by měl podle normy být co nejmenší, aby se minimalizovalo zpoždění a zkreslení koncentrace plynů. Digestoř by měla, ale být dostatečně velká, aby se zachytily všechny plyny. [10], [3]

Během zkoušky je také zaznamenáván úbytek hmotnosti vzorku v závislosti na čase, což umožňuje následné vyhodnocení efektivní výhřevnosti. V průběhu experimentu je monitorován tepelný tok, který je uvolňován během hoření uvnitř kalorimetrického systému.



Obrázek 2–3 Schématické znázornění zařízení nábytkového kalorimetru [10].

2.1.2.2 Room Corner Test

Metoda vznikla na požadavek pro vytvoření požární zkoušky místnosti, určené hlavně pro hodnocení obkladových materiálů stěn či stropů. Koncepce pro místnost/roh vznikla na základě dříve provedených zkoušek. Dále k tomu přispěla evoluce ve zdrojích zapálení, kdy se začal více používat plynový hořák. Hořák měl výhody v opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, a také s ním šla zapálit široká škála předmětů. Nemalý podíl na tom také měl vývoj, ke kterému došlo u kyslíkové kalorimetrie. K největšímu výzkumu došlo v USA ke konci 70. let minulého století a v Severských zemích. Ve Finsku proběhl výzkum různých zdrojů zapálení, kdy se vzali tři různé velikosti plynového hořáku a tři různé výkony, celkově tedy 9 různých kombinací. Z toho výzkumu vyšlo že největší vliv měla velikost hořáku při nejmenším výkonu. Středně velký hořák byl naopak nejsilnější. Na základě toho výzkumu byly doporučeny středně velké hořáky. [9]

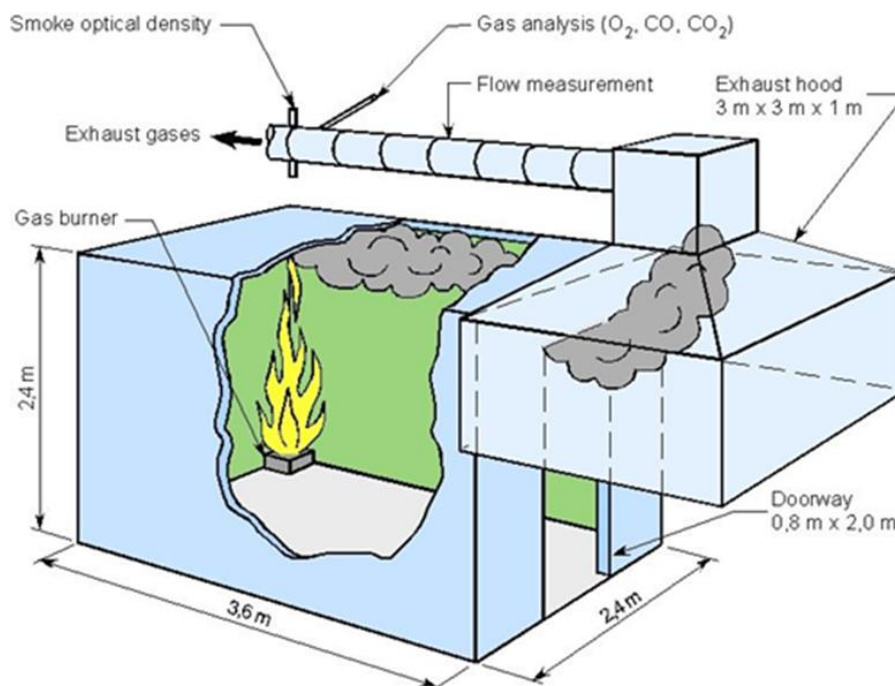
V návaznosti na proběhlé výzkumy byla v roce 1982 prvně vytvořena zkouška The Room Corner Test od společnosti ASTM. Následovala publikace od NORDTEST v roce 1986. Standardizována byla zkouška ale až v roce 1993 organizací ISO, jako ISO 9705. V posledních letech je tato metoda hojně využívána. [11]

RCT je velkorozměrová zkouška založená na stejných principech jako kónický kalorimetr. Zkouška je využívána pro kvalifikaci povrchových materiálů. Hlavní sledovanou veličinou je opět rychlost uvolňování tepla (HRR). Dále se také sleduje vývin kouře. Rozhodující pro tuto zkoušku je schopnost požáru dosáhnout flashoveru. Flashoveru je dosaženo, pokud součet rychlostí uvolněného tepla přesáhne 1MW. Po dosažení flashoveru je zkouška ukončena. V případech, kdy ke vzplanutí nedochází je doba zkoušky 20 minut. [12]

Zkouška se provádí v místnosti, složené ze čtyř stěn v pravém úhlu, podlahy a stropu. Vnitřní podlahová plocha má rozměry 2,4 m × 3,6 m a výška je 2,4 m, s odchylkou ± 0,05 m. Místnost by měla být umístěna v interiéru tak, aby nedocházelo k ovlivnění průběhu zkoušky. V jedné ze dvou užších stěn musí být dveřní otvor, který zajišťuje ventilaci prostoru. Rozměr dveřního otvoru musí být o šířce 0,8 m a výšce 2,0 m. Všechny stavební konstrukce místnosti musí být z nehořlavého materiálu, s minimální tloušťkou 20 mm. [11], [12], [13]

Složení zkušebního aparátu:

- Zkušební komora
- Pískový hořák o definovaném výkonu
- Odtahová digestoř a potrubí
- Analyzátor rychlosti proudění vzduchu
- Analyzátoři koncentrace plynů
- Měření optické hustoty kouře



Obrázek 2–4 Schématické znázornění zařízení RCT [14].

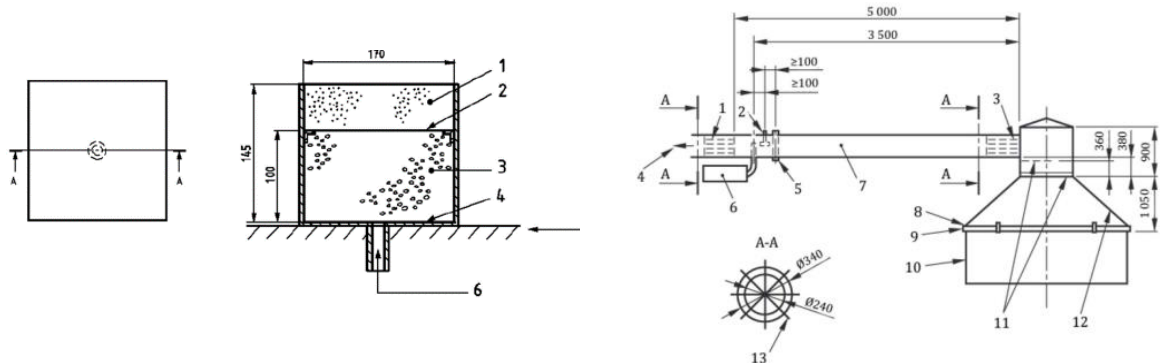
Vzorek je možné instalovat na vnitřních površích, celkově je možné zkoušet až 35 m² vzorku.

Jako zdroj zapálení je používán plynový hořák, který se umístěn na podlaze v jednom z rohů místnosti, naproti dveřnímu otvoru. Hořák má jmenovitý čtvercový rozměr 170 × 170 mm a jeho vrchní povrchová vrstva musí být z porézního inertního materiálu (písek o minimální tloušťce 45 mm). Horní povrch musí být umístěn vodorovně 146 ± 3 mm od podlahy. Hořák by měl být opatřen dálkově ovládaným zapalovacím zařízením. Pro případy, kdy dojde k úniku plynu nebo výpadku plamene, musí být vybaven ovládacími prvky, které jsou schopné uzavřít přívod plynu. Během prvních 10 minut po zapálení je výkon hořáku nastaven na 100 kW, následně dojde k jeho zvýšení na 300 kW po dobu dalších 10 minut.[13]

Kromě hořáku je místnost také vybavena termočládky měřící povrchové teploty, termočládky měřící vertikální teplotní profil spalných plynů a radiometrem snímajícím tepelný tok během měření.

Plyny vycházejí dveřním otvorem a jsou hned odtahovány pomocí digestoře. Digestoř je následně napojena na vzduchotechnické potrubí pro odvod spalin. Ve vzduchotechnickém potrubí jsou instalovány analyzátoři pro zjišťování požárně technických charakteristik, které se objevují v protokolu zkoušky. Mezi tyto parametry patří graf celkové rychlosti uvolňování tepla, graf

rychlosti vývinu kouře, intenzita hoření FIGR a intenzita hoření SMOGRA, celkové uvolněné teplo THR a celkové množství vyvinutých zplodin TSR a čas, kdy došlo k prostorovému vzplanutí. Odváděcí systém nesmí ovlivnit průběh požáru. Pro tuto metodu se používá hořák s čistým propanem. [11], [7], [13]



Obrázek 2–5 Propanový hořák (vlevo), digester s odvodním potrubím (vpravo) [13]

Vzduchotechnika musí mít dostatečnou kapacitu, aby byla schopna zachytit veškeré množství vzniklých zplodin hoření. Zároveň nesmí ovlivnit průběhu proudění ve dveřích vyvolané požárem. Vzorky plynů jsou odebírány v odběrné lince, kde jsou smíchány produkty spalování. Linka musí být z inertního materiálu, aby nebyla ovlivněna koncentrace plynů. Potrubí, napojené na sběrač kouře je tvořeno:

- 2 analyzátory proudění zplodin hoření
- Sondou pro odběr zplodin hoření
- Čidlem pro měření rychlosti proudění
- Termočlánekem pro měření teploty zplodin hoření
- Optickým systémem pro měření útlumu světla při průchodu kouřem
- Ventilátor na konci, pro regulaci rychlosti proudění

Paramagnetický analyzátor, umístěný v potrubí, je schopný měřit objem kyslíku v rozsahu 0-21 % z celkového objemu vzorku. Výsledky jsou měřeny s přesností na 0,01 % objemu kyslíku a s odchylkou méně než 0,1 %. [13]

Dále je měřen objem CO₂ v rozsahu 0-10 % z celkového objemu vzorku. Výsledky jsou zaznamenávány s přesností na 0,01 %. Odchylka je méně než 0,1 % při celkovém objemu do 5 % a 0,2 % při celkovém objemu 5-10 %. [13]

Optická hustota kouře je stanovena měřením světelného zastínění pomocí systému lamp, čoček, clon, světelné závory nebo laserového systému.

Průběh zkoušky

Před počátkem zkoušky musí být zajištěné počáteční podmínky – teplota ve zkušebně, horizontální rychlost proudu vzduchu, správně umístění hořáku.

Záznam zkoušky by měl začít nejméně 2 minuty před zapálením hořáku a ukončen by se měl ve 22. minutě nebo dvě minuty po dosažení flashoveru, podle toho, co nastane dříve. Během zkoušky se zaznamenávají údaje: čas, hmotnostní průtok plynu, tlakový rozdíl ve zkušebně a místnosti s digestori, průtok kyslíku a plynů produkovaných při spalování a teplota v místnosti a potrubí.

2.1.3 Velkorozměrové zkoušky

Při velkorozměrových zkouškách je spálen celý objekt nebo sestava. Během toho se zaznamenává hmotnost, HRR, dopočítává se MLR. Rozdíl mezi středně rozměrovými zkouškami je hlavně ve velikosti zkoušky a uvolněným teplem vzorku. Je nutné ale podotknout, že hranice mezi středním a velkým rozměrem není striktní.

Velkorozměrové zkoušky byly provedeny například v rámci databáze Mayfield. [15] Experimenty byly provedeny pro různé provozy, mezi které spadá bar, obchod s oblečením, knihovna, kancelář, recepce, obývací atd. Zkoušky byly navrženy tak, aby stimulovali reálné scénáře požárů.

I v rámci databáze NIST bylo provedeno několik velkorozměrových zkoušek. Jedním z těchto větších experimentů je například sledování požáru v prostoru kuchyně. V rámci toho experimentu bylo provedeno několik se opakujících měření. Kromě kuchyně se zkoumal také vývoj flashoveru v obývací místnosti, test byl opět několikrát opakován.

Velkorozměrové zkoušky se hojně provádí i v rámci ověřování funkčnosti požárně bezpečnostních zařízení v tunelech. V ČR byla provedena požární zkouška v tunelu Valík. Cílem tohoto experimentu bylo získání nových poznatků v rámci rozvoje požáru v tunelech. Mezi známější experimenty tohoto typu spadá také velkorozměrová požární zkouška v tunelu Benelux v Nizozemském Rotterdamu. V tomto případě bylo primárním cílem posoudit podmínky úniku motoristů v případě požáru.

2.2 Databáze

Bylo vytvořeno několik databází, které se zaměřují na shromáždění informací o provedených požárních zkouškách, které obsahují nábytek nacházející se v hotelových prostorách.

Databáze jsou k dispozici a slouží jako zdroj dat pro odbornou veřejnost. Záznamy z těchto zkoušek obsahují širokou škálu informací. Do těchto informací patří podrobnosti o nábytku – identifikace nábytku, konstrukce a materiály, informace o provedených zkouškách, výsledcích atd.

Mezi tyto databáze lze zařadit National Institute of Standards and Technology (NIST) nebo Fire Research Information Services (FRIS) provozované národním institutem pro standardy a technologii ve Spojených státech. V těchto databázích můžeme najít rozsáhlé informace o požárních zkouškách, včetně zkoušek nábytku. [16]

Významnou databází je také MYFIELD. Tato databáze je rozdělena na dvě části. První část je věnována velkorozměrovým požárním zkouškám, zaměřující se na konkrétní provozy, jako např. noční klub, knihovna, dětský koutek pro děti. Druhá část se skládá z jednotlivých požárních zkoušek s určitým kusem nábytku, např. postel, křeslo, televize. K těmto zkouškám jsou uvedeny naměřené hodnoty k nejčastěji užívaných parametrů. [15]

Mezi databáze se dá také zařadit studie od Korea Institute of Construction Technology [5]. Studie je věnovaná jednotlivým zařízovacím předmětům a určení jejich základních parametrů. Mezi větší databáze se může zařadit také Burning Item Database, ve které jsou k dispozici výstupy z provedených zkoušek jednotlivých zařízení budov či elektroniky. [17]

Dále je k dispozici několik článků, ve kterých se většinou autoři věnují vybranému zařízovacímu předmětu. Příkladem je článek, který publikoval Thomas Cleary [18] a který se věnuje zkoušení pěti nepolstrovaných židlí z různých materiálů. Dalším příkladem jsou provedené zkoušky v rámci SPF Fire Research ze Švédska. [19]

2.2.1 Experimenty vybraných předmětů

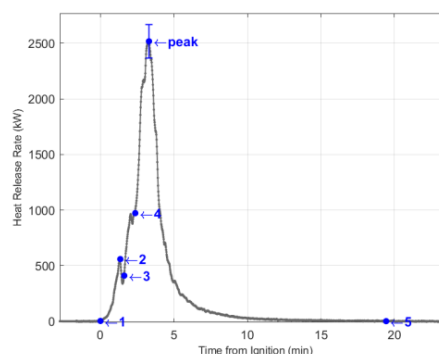
V rámci databáze NIST [20] bylo zkoumáno křeslo, které je možné vidět na obrázku 2–6a). V souvislosti s touto studií bylo provedeno celkem devět požárních zkoušek toho křesla. Šest křesel mělo požární bariéry označené B1-B6 a tři křesla byly bez bariér. Při každém experimentu byl zdrojem hoření čtvercový hořák o výkonu 18 kW. Ten byl umístěn tak, aby působil na horní povrch podsedáku po dobu 80 s. Výsledkem této studie bylo, že bariéry snížili rychlost uvolňování tepla o 64 % a zpzdili její průběh.

Na obrázku 2–6b) je vidět průběh rychlosti uvolňování tepla jednoho z křesel bez požárních bariér. Z tohoto grafu je patrné, že rychlost uvolňování tepla dosáhla svého maxima během relativně krátké doby. Po odebrání hořáku (bod 2 na grafu) došlo ke snížení na krátkou chvíli, ale pak opět došlo ke zvýšení výkonu, následované odkapáváním materiálu. Odkapávaný materiál začal pod křeslem tvořit louži, což vedlo k dosažení maximální rychlosti uvolňování tepla. Následovalo postupné snižování rychlosti uvolňování tepla a ukončení pokusu. Průběhy experimentů zahrnující křesla bez požárních bariér jsou si velice podobné. Hlavními rozdíly jsou dosažené maximální hodnoty měřených veličin a časy, kdy byly dosaženy.

V rámci praktické části této práce byla provedena požární zkouška pro podobné křeslo. V kapitole věnované tomuto křeslu budou tyto dvě požární zkoušky porovnány a zhodnoceny.



a) Křeslo před začátkem zkoušky



b) Graf zobrazující průběh HHR

Obrázek 2–6 Studie NIST [20]

Další databáze Burning of Electrical household Appliances [21] se zabývá elektrickými spotřebiči vyskytujícími se v domácnostech – TV, pračky, myčky na nádobí, chladničky. V rámci této databáze bylo provedeno 14 experimentů, kdy tři z nich jsou věnované TV. Všechny tyto experimenty byly provedené podle ISO 9705(1993).

Pro potřeby této diplomové práce se nadále zaměříme na požární zkoušky s televizory. Sumarizace nejdůležitějších parametrů z těchto experimentů lze také nalézt v databázi Mayfield [15]. Všechny tři televizory byly sestaveny z plastového pouzdra a katodových trubic a jsou zobrazeny na obrázku 2–7a). Pro všechny experimenty sloužil jako zdroj požáru hořák o výkonu 1 kW. Tento zdroj má reflektovat skutečnost, kdy objeví plamen z důsledku závady nebo jiným způsobem na zařízení. Místo zapálení, se vybralo tak, aby odpovídalo co nejvíce místu vzniku požáru při reálném požáru. Byla zvolena zadní strana televize, kde se nacházejí kabely. U všech zkoušek byla provedena před počátkem nejdříve kalibrace zařízení a měření hmotnosti spotřebiče.

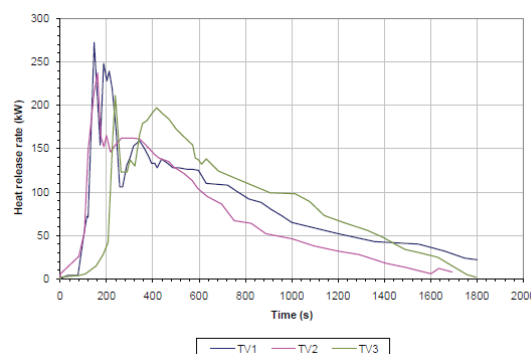
U všech tří experimentů došlo po zapnutí zdroje k rozšíření plamenu po zadní straně směrem dopředu. Rozšiřování plamenů bylo doprovázeno kapáním z plastových částí.

Na obrázku 2–7b) je vidět průběh rychlosti odhořívání pro všechny tři zkoušky. Z grafu je patrné, že průběhy byly velmi podobné s menšími odchylkami. Z počátku experimentů dochází k rapidnímu nárůstu výkonu, až k bodu, kde je dosaženo maximální rychlosti odhořívání. V případě třetího televizoru je maximálního výkonu dosaženo, značně déle než při prvních dvou experimentech. Prudký růst následuje prudké klesání, na které navazuje opětovný menší růst. Poté dochází k postupnému klesání výkonu až k nule.

V rámci praktické části této práce byla provedena požární zkouška pro podobný televizor. Porovnání a zhodnocení průběhu a výsledků těchto dvou zkoušek je v kapitole 3.2.1 této práce.



a) Televizor před začátkem zkoušky



b) Graf zobrazující průběh HRR

Obrázek 2–7 Studie Burning of Electrical household Appliances [21]

Sumarizaci hlavních požárních charakteristik můžeme také najít ve studii od Korea Institute of Construction Technology [22]. Studie se zabývá nábytkem nacházejícím se v bytech. V případě této databáze byly provedeny zkoušky v rámci RCT (ISO 9705) a otevřené kalorimetrie. V Room Corner Testu proběhlo 10 požárních experimentů, které zahrnovali vybavení jako je postel, pohovku, křeslo, televizor, skříň atd. Ve volné kalorimetrii byly provedeny dvě požární zkoušky, jedna se dřezy a druhá s lednicí.

Jako zdroj zapálení byla použita krychle z minerální vlny, která byla napuštěna hořlavou látkou. Následně byl zdroj zapálení umístěn v případě židle doprostřed sedáku, v případě křesla a sedačky na roh mezi sedákem a opěradlem a v případě postele uprostřed matrace. V rámci databáze byla vytvořena tabulka s nejvyššími dosaženými hodnotami měřených parametrů. Pro tento experiment je důležitým parametrem rychlost uvolňování tepla.

Nejvyšší rychlosti uvolňování tepla bylo dosaženo v průběhu experimentu s postelí, kdy maximální hodnota dosáhla 1061,9 kW. V případě sedačky bylo dosaženo maxima 516,3 kW, židle 563,8 kW. Nejnižší rychlost uvolňování tepla byla zaznamenána u křesla, maximální rychlost činila 378,6 kW.



a) Židle na začátku zkoušky



c) Sedačka na začátku zkoušky

Obrázek 2–8 Studie od Korea Institute of Construction Technology [23]

Během následujícího projektu od FSRI [23] bylo provedeno 120 experimentů v rámci RCT. Místnost měla půdorysné rozměry 3,7 m × 3,7 m a výšku 2,4 m. V této místnosti byl jeden větrací otvor, který tvořily dveře o výšce 2 m a šířce 0,9. V místnosti byly vybrány čtyři místa, kam byl nábytek umístěn – roh místnosti, střed zadní stěny, střed boční stěny a prostředek místnosti.

Jako zdroj vznícení byl při každé zkoušce použit plynový hořák. Experimenty se zaměřovaly na vliv výkonu hořáku a jeho umístění při požáru. Jedním ze zkoušených předmětů bylo křeslo pro jednu osobu a druhým sedačka pro tři osoby.

Pro každý kus nábytku bylo provedeno několik experimentů, které se lišily umístěním, typem hořáku, výkonem hořáku, zda byl otvor během zkoušky otevřen či zavřen. Pro každou zkoušku se pak provedly většinou tři opakování.

V rámci praktické části této práce byly provedeny požární zkoušky pro podobné křesla. V jednotlivých kapitolách těchto křesel budou požární zkoušky mezi sebou porovnány a zhodnoceny.



a) Křeslo před začátkem zkoušky



b) Sedačka před začátkem zkoušky

Obrázek 2–9 Studie FSRI [23]

V rámci studie na univerzitě Univerzity of Canterbury [8] byl proveden experiment v rámci furniture calorimetry. V rámci kapitoly, věnované této metodě bylo provedeno 10 experimentů, jejichž zkušební vzorkem bylo křeslo. Pět křesel bylo z polypropylenového potahu a zbylých pět mělo výplň opěrek z vlny. Jako zdroj zapálení byl použit plynový hořák, který byl umístěn na rozmezí sedáku a zadního opěradla. Pro tyto křesla byl průběh experimentu rozdělen na čtyři fáze konstantní růst HRR, pokles HRR, rychlý růst HRR a pokles HRR.

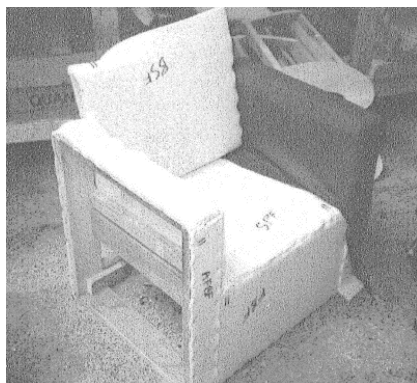
Během první fáze dochází k zapalování sedací části, kdy postupně dochází k rozšíření na zadní opěradlo a opěradla na ruce. Při všech proběhlých zkouškách se vyzorovalo, že během prvních 60 sekund byl vykazován konstantní růst, dokud nedošlo ke krátkému poklesu HRR.

Druhá fáze začíná poklesem HRR, což nastalo po odhoření sedacího polštáře. Na základě toho se vytvořila se pod sedačkou louže z odkapávaných částí a v jejím místě se rozvinuly plameny. Kvůli dostatečnému přísunu kyslíku dochází k vznícení. To se značí náhlým nárůstem HRR.

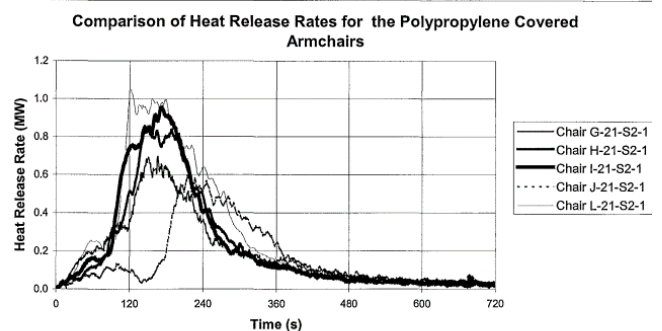
Ke třetí fázi dochází, jakmile dojde k dostatečnému zahřátí vytvořené louže, přičemž dochází k odhoření bočních opěradel, což zapříčiní přísun vzduchu. Dostupnost kyslíku vyvolá rychlé vzplanutí požáru, který zachvátí celé křeslo. V této fázi HRR dosáhne maximální hodnoty.

Po dosažení nejvyšších hodnot rychlosti uvolňování tepla nastává poslední fáze. Požár je omezen dostupným palivem. Křivka v této fázi reprezentuje oslabování plamenů, zapříčiněné ubývajícím palivem. Ke konci experimentu zůstaly pouze ohořelé dřevěné nohy křesla.

V rámci praktické části této práce byla provedena požární zkouška pro podobné křeslo. V kapitole věnované tomuto křeslu budou požární zkoušky porovnány a zhodnoceny.



a) Křeslo před začátkem zkoušky



b) Graf znázorňující průběh HRR

Obrázek 2–10 Studie od Univerzity of Canterbury [24]

3 Praktická část

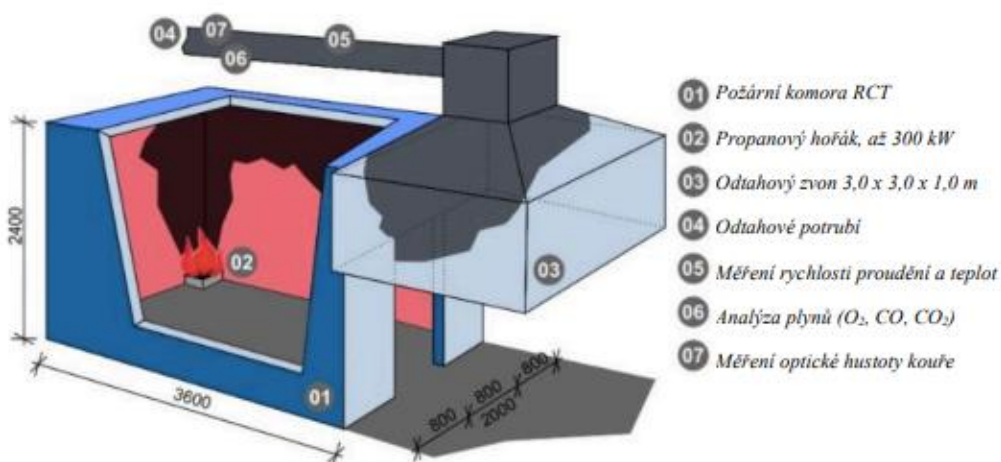
3.1 Představení experimentálních měření

V návaznosti na literární rešerši následuje série experimentálních měření. Experimentů v rámci praktické části této práce bylo dohromady provedeno devět. Jednotlivé předměty byly vybrány tak, aby se jednalo o nábytek, který se běžně vyskytuje v hotelových pokojích. Jednotlivé komponenty a jejich typy také byly zvoleny tak, aby byly co nejvíce shodné s těmi, které byly využity při velkorozměrové zkoušce zmíněné v kapitole 1.1 této práce. Předměty jsou uvedené v tabulce 3–1. Z velké většiny se jedná o opotřebované předměty, které nebyly již používány.

Tabulka 3–1 Seznam experimentů

Název experimentu	Jednotlivý nábytek	Experimentální metoda
Sestava 1	Židle, stolek, TV	Nábytkový kalorimetr (zařízení RCT)
Zbytek sestavy 1	Židle, stolek	Nábytkový kalorimetr (zařízení RCT)
Sestava 2	Židle, stolek, TV	Nábytkový kalorimetr (zařízení RCT)
Dvojkřeslo	Dvojkřeslo	Nábytkový kalorimetr (zařízení RCT)
Postel s matrací	Postel, matrace, rošt	Nábytkový kalorimetr (zařízení RCT)
Matrace	Matrace	Nábytkový kalorimetr (zařízení RCT)
Křeslo	Křeslo	Nábytkový kalorimetr (zařízení RCT)
Židle 1	Židle	Nábytkový kalorimetr (zařízení RCT)
Židle 2	Židle	Nábytkový kalorimetr (zařízení RCT)

Požární zkoušky proběhly během letního semestru a počátkem zimního semestru roku 2023. Všechny experimenty se uskutečnily v požární laboratoři FireLAB v UCEEB ČVUT v Praze. V požární laboratoři je umístěno zařízení RCT v rámci, něhož byly experimenty provedeny. Přesné zkušební zařízení, které se v laboratoři nachází je možné vidět na obrázku 3–1. Toto zařízení je tvořeno, jak již bylo popsáno v kapitole 2.1.2.2, požární komorou, odsávacím zvonem a potrubím, zápalným zdrojem (plynový hořák s tepelným výkonem 100-300 kW) a přístroji pro měření optické hustoty kouře a infračervenou spektrální analýzu zplodin hoření. Dále je součástí laboratoře měřící zařízení – termočlánky, radiometry, rychlostní sondy, analyzátory kyslíku, oxidu uhelnatého a uhlíčitého.



Obrázek 3–1 Dispozice RCT ve FireLAB na UCEEB ČVUT v Praze.

Pro všechny experimenty provedené v rámci této práce bylo využito zkušební zařízení RCT vně místnosti. Ze zařízení byl využit jen odtahový zvon (vzduchotechnická část), který se nachází vně místnosti, a pod který se vždy umístili zkoušené předměty na vážicí zařízení. Tento typ požární zkoušky z velké části odpovídá otevřené kalorimetrii, ale nelze jej tak plně nazvat. Hoření sice probíhá na volném prostranství za podobných podmínek, jako v případech otevřené kalorimetrie, ale prostor kolem vzorku je v tomto případě omezen. Oproti tomu v případě otevřené kalorimetrie je prostor okolo mnohem volnější, což může mít vliv na průběh hoření.

Během proběhlých experimentů byla sbírána data, z nichž bylo následně možné stanovit klíčové parametry. Mezi nejhlavnější určené parametry spadá: úbytek hmotnosti, rychlost uvolňování tepla, rychlost, odhořívání tepelný tok.

3.2 Požární zkoušky sestavy

V rámci diplomové práce byly provedeny dvě požární zkoušky se sestavou nábytku, zahrnující židli, stůl a TV. Stůl i televize jsou u prvního i druhého experimentu totožné. U druhého experimentu byla použita židle s jinými rozměry a materiály. V průběhu zkoušek byly vždy zaznamenávány povrchové teploty pomocí pěti termočlánků umístěných přibližně ve stejném místě.

Pro každou zkoušku byl použit odlišný způsob vzniku požáru a umístění iniciátorů hoření. V prvním experimentu byla použita jako iniciátor požáru minerální vlna s absorbovaným izopropanolem. Iniciátor požáru byl umístěn ze zadní strany televize. Při reálném požáru by tento iniciátor mohl představovat např. zkrat v televizi. V druhém experimentu byl iniciátorem hořák položený pod stolem. To by u skutečného požáru mohlo znázorňovat např. odpadkový koš umístěný pod stolem.

Rozdíl mezi experimenty byl také ve směrování čela TV a židle. U první zkoušky byla televize čelem k radiometru, přičemž předek židle směřoval k čelu televize. Při druhé zkoušce byla televize k radiometru zády, zatímco židle čelem.

3.2.1 Sestava 1 (Zapálení TV 1)

3.2.1.1 Popis sestavy

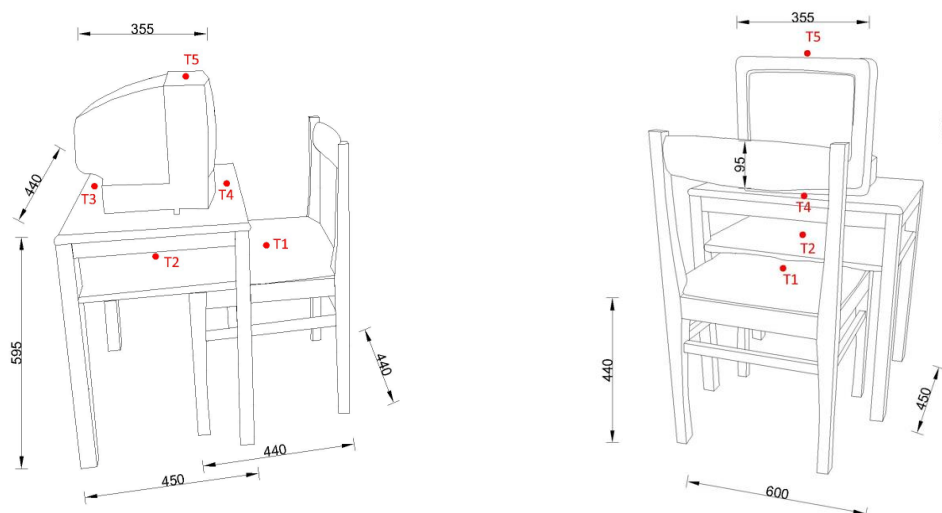
V rámci prvního experimentu byla do zkušební místnosti umístěna již zmíněná sestava.

Židle s opěrátkem měla rozměry 44 cm (výška) × 44 cm (šířka) × 44 cm (hloubka), přičemž výška je brána od základu židle k sedadlu, šířka je od vnějšího okraje opěrek paží a hloubka je od předního po zadní okraj sedáku. Hmotnost samostatné židle před začátkem experimentu byla 5,9 kg. Židle byla z masivního dřeva se sedadlem z molitanu.

Rozměry stolu byly 60 cm (délka) × 45 cm (šířka) × 59,5 cm (výška), kde délka je měřena mezi nejvzdálenějšími body stolu, šířka mezi nejvzdálenějšími body v kolmém směru na délku a výška je brána od základu stolu po nejvyšší bod stolové desky. Hmotnost stolu napřed počátkem experimentu byla 11,58 kg. Stůl byl rovněž z masivního dřeva.

Starší model televize měl rozměry 33,5 cm (výška) × 35,5 cm (šířka) × 34 cm (hloubka), přičemž výška je měřena od spodního okraje po horní okraj, šířka zahrnuje vnější rozměr televize v nejširším bodě a hloubka je definována jako vzdálenost od předního okraje po zadní. Počáteční hmotnost televize byla 10,54 kg. Televize byla z plastu.

Celková hmotnost celé sestavy před experimentem činila 28,03 kg.



Obrázek 3–2 Schématické znázornění – Sestava 1 (Zapálení TV 1)

3.2.1.2 Průběh zkoušky

Na váhu pod sestavu byla nejprve vložena minerální vlna, na kterou následně byla položena deska a až pak zmíněná sestava. Pro zjištění přesného monitorování teploty během požární zkoušky byly na povrchu radiometru umístěny čtyři termočlánky se vzájemnou vzdáleností 25-30-50 cm, přičemž první termočlánek byl 15 cm nad opěradlem židle. Radiometr byl umístěn 1 m od opěradla židle, v úrovni psací desky stolu, tedy 59,5 cm od podlahy a 15 cm od sedáku židle. Radiometr byl schopen měřit a detekovat tepelný tok v rozmezích od 0-20 kW/m².

Dále bylo rozmístěno 5 termočláneků. První termočlánek (T1) se nacházel na sedáku židle, druhý termočlánek (T2) uprostřed na spodní desce stolu, třetí a čtvrtý (T3 a T4) na horní desce stolu, po stranách televize a pátý termočlánek (T5) v nejvyšším bodě televize. Znázornění geometrie a rozmístění termočláneků je patrné z obrázku 3–2 .

Následně byla uříznuta krychle z minerální vlny, která se namočila do cca 50 ml izopropanolu. Krychle byla položena k zadní straně televize, kde se pomocí zapalovače zapálil v ní nasáklý izopropanol. Na obrázku 3–3 vidíme připravenou sestavu před počátkem zkoušky.

Plamen se začal šířit po kabelech, které se na této straně nacházeli. Poté se pomalu začaly plameny šířit po celé ploše televizoru. Hoření postupovalo poměrně rychle. K rozšíření požáru na okolní materiály vůbec nedošlo. Plameny se po celou dobu experimentu omezily jen na povrch desky stolu.

K 1 800. sekundě stále hořel jen televizor a již zmíněný povrch desky stolu. Zkouška byla k 3 300. sekundě ukončena. Ani k tomuto času nedošlo k rozšíření mimo povrch desky stolu. Židle plameny nebyla za celou dobu průběhu experimentu vůbec dotčena. Dá se tedy uvažovat, že materiál a geometrie stolku ovlivňovali šíření plamenů a přispívali k omezení požáru pouze na povrchové oblasti.



a) Sestava nábytku před počátkem zkoušky



b) Pozorování během průběhu zkoušky



c) Sestava nábytku před ukončením zkoušky



d) Sestava po ukončení zkoušky

Obrázek 3–3 Průběh požární zkoušky – Sestava 1 (Zapálení TV 1)

3.2.1.3 Analýza výsledků

Stav sestavy po ukončení experimentu je zaznamenán na obrázku 3–4. Během zkoušky se plameny rozšířili jen k povrchu desky stolu, ale k rozšíření na zbytek stolu či židli nedošlo. V průběhu požární zkoušky byly měřeny základní parametry – rychlost uvolňování tepla, úbytek hmotnosti a hustota tepelného toku.

Odvětrání RCT bylo nastaveno po celou dobu na 20 %. Experiment probíhal po dobu 3 300 sekund.

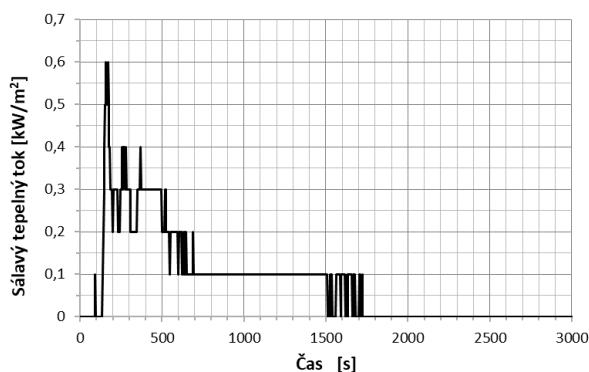
Nejvyšší teplota byla naměřena na termočlánek T4, nacházejícím se před televizí na desce stolu. Teplota dosáhla 479,4 °C v 1374. sekundě požární zkoušky. Naopak k nejmenšímu nárůstu teploty došlo v termočláncích T1 a T2. Tyto články se nacházeli na sedáku židle a uprostřed stolu, tudíž v místech, kam se požár nerozšířil.

Průběh sálavého tepelného toku je zobrazen na obrázku 3–4a). Z počátku experimentu dochází k jeho prudkému růstu do momentu, než dosáhne maxima $0,6 \text{ kW/m}^2$ v 287. sekundě.

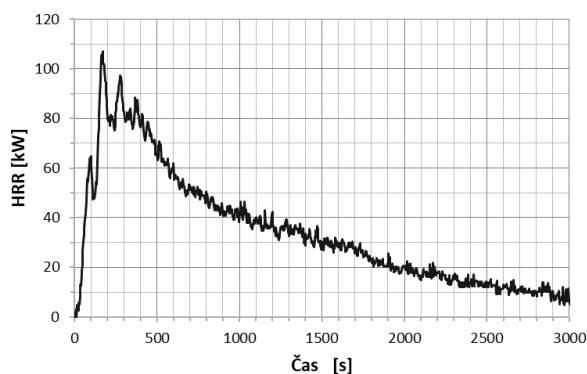
Křivka rychlosti uvolňování tepla je znázorněna na obrázku 3–4b). Z křivky je patrné, že k nejvyššímu růstu došlo na počátku experimentu, kdy během krátké chvíle dosáhla vrcholu $106,94 \text{ kW}$ při 300. sekundě. Po dosažení této hodnoty dochází už jen k postupnému poklesu.

Úbytek hmotnosti je vidět na 3–4c). Úbytek je velmi pomalý a dalo by se říci, že je pravidelný. Na počátku experimentu měla sestava $28,02 \text{ kg}$, po jeho ukončení $23,39 \text{ kg}$. Za celou dobu zkoušky došlo k úbytku $4,63 \text{ kg}$.

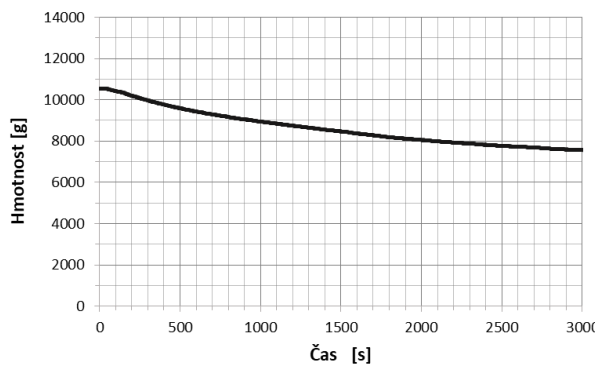
Průběh rychlosti odhořívání je znázorněn na obrázku 3–4d). Již z počátku dochází k vysoké rychlosti odhořívání, která prudce roste v průběhu času. V 159. sekundě rychlost odhořívání dosahuje své nejvyšší rychlosti $3,33 \text{ g/s}$. Poté se rychlost postupně zpomaluje.



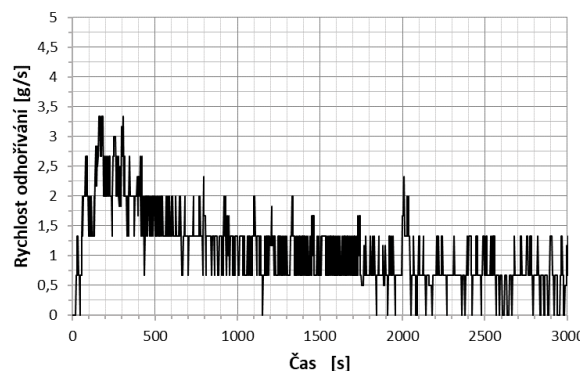
a) Sálavý tepelný tok ve vzdálenosti 1 m



b) Rychlost uvolňování tepla



c) Úbytek hmotnosti

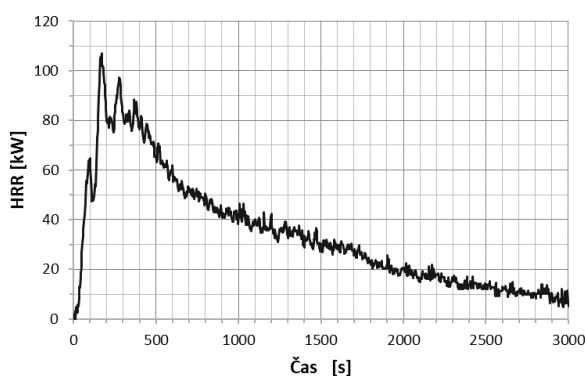


d) Rychlost odhořívání

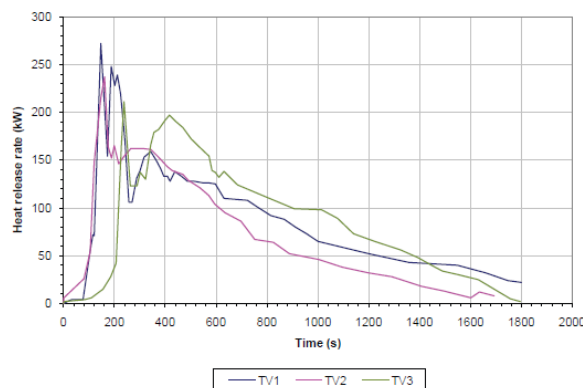
Obrázek 3–4 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Sestava 1 (Zapálení TV 1)

3.2.1.4 Porovnání s jinými databázemi

V rámci kapitoly 2.2.1 byla představena studie, ve kterém byla provedena požární zkouška tří televizí v rámci open calorimetry. Tyto televize mají plastový obal, který chrání součástky nacházející se uvnitř, stejně jako televizor zkoušený v této práci. Jejich rozměry jsou v průměru $70,5 \text{ cm}$ (výška) \times $54,0 \text{ cm}$ (šířka) \times $44,0 \text{ cm}$ (hloubka). Průměrná hmotnost je $28,93 \text{ kg}$. Z těchto údajů je patrné, že televizory jsou poněkud větší a těžší než televizor uvedený v této kapitole.



a) HRR TV z této práce (kapitola 3.2.1)



b) Graf znázorňující HRR TV z jiné studie (kapitola 2.2.1)

Obrázek 3–5 Grafy znázorňující průběh HRR – porovnání s jinými databázemi

Při porovnání výsledků tohoto experimentu s výsledky experimentu provedeném v rámci této práce, jsou vidět nepatrné rozdíly. Na obrázku 3–5 jsou zobrazeny grafy průběhu rychlosti uvolňování tepla. Na první pohled jsou vidět rozdíly v maximálních dosažených hodnotách. Maximální dosažená rychlost uvolňování tepla je poněkud rozdílná, v případě zmíněné databáze bylo dosaženo maximální hodnoty cca 270 kW. Tento rozdíl je pravděpodobně zapříčiněn rozdílnými velikostmi a hmotnostmi televizí.

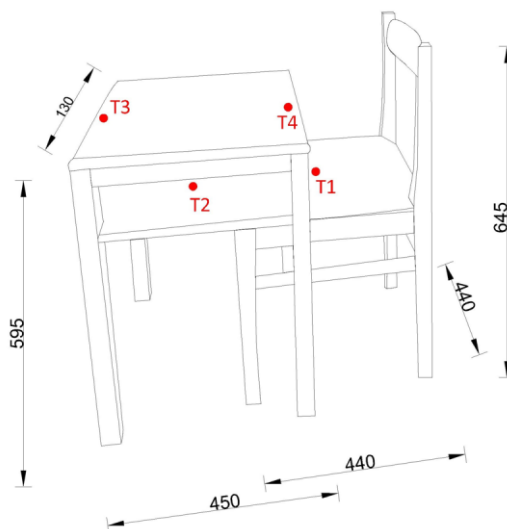
Průběhy jsou z počátku zkoušek téměř totožné. Po dosažení maximálních hodnot je nepatrný rozdíl v průběhu zpomalování hoření. V případě experimentu, řešeného v rámci této práce bylo maximum 106,94 kW.

Při obou případech byly podobné počáteční podmínky. Experiment z externí studie byl proveden v rámci open calorimetry. Televize v této práci byla zkoušena v rámci RCT, kdy byla položena mimo místnost a byla využita z tohoto zařízení jen vzduchotechnická část. Zdroj zapálení byl v obou případech stejný. Tyto podobné podmínky, mohly mít vliv na podobný průběh zkoušek.

3.2.2 Zbytek sestavy (Zapálení bez TV)

3.2.2.1 Popis sestavy

V rámci prvního experimentu bylo provedeno ještě jedno pálení, jehož předmětem byl zbytek sestavy, tedy židle a stůl s ohořenou deskou. Rozměry nábytku zůstávají stejné. Hmotnost zbytku sestavy před počátkem zkoušky je 21,67 kg. V rámci této zkoušky nebyly připevněny žádné nové termočlánky, teploty byly zaznamenávány pomocí těch, co zůstali.



Obrázek 3–6 Schématické znázornění – Zbytek sestavy (Zapálení bez TV).

3.2.2.2 Průběh zkoušky

Tato požární zkouška navazuje na předchozí experiment 1, ze kterého zůstala plameny nedotčená židle a stůl s ohořelou deskou.

Žádné nové termočlánky nebyly použity. Teplota byla monitorována pomocí termočlánků, které zůstaly funkční z předchozí požární zkoušky. Nebylo s nimi nijak manipulováno, byly ponechány na místech, kde se nacházely po ukončení předchozího experimentu.

Monitorování teploty během požární zkoušky bylo také prováděno pomocí termočlánků umístěných na radiometru. I v tomto případě byly ponechány termočlánky z předchozího experimentu. Radiometr byl schopen měřit a detekovat tepelný tok v rozmezích od 0-20 kW/m².

V tomto případě byl jako zdroj požáru plynový hořák, který se umístil po stůl. Hořák byl o výkonu 30 kW. Celá sestava i s hořákem měla váhu 31,67 kg.

Po zapnutí hořáku se plameny začali šířit na stranu od židle, z tohoto důvodu byl po chvíli hořák posunut blíže k židli. Po přesunutí hořáku se plameny začali šířit po spodní polici, načež byl hořák vypnut. Plameny začaly ustupovat, a proto došlo k opětovnému zapnutí hořáku. Požár se znovu začal šířit po spodním povrchu poličky a začal se tvořit dým. Hořák byl během prvních 10 minut zkoušky několikrát vypnut a znovu vypnut. Následovalo rozšíření ohně na strany stolu, postupně až k horní desce stolu. Spolu s tím, docházelo i k šíření plamenů na podsedák židle. V tomto momentě byl hořák vypnut a odebrán. Ze sedáku se požár rozšířil směrem nahoru po opěrci židle. Horní část sestavy se nacházely pod plameny. Dohořival materiál podsedáku židle, po kterém následovalo i dohořívání povrchu desky stolu. Po degradaci povrchu desky stolu došlo k jeho zřícení směrem k sobě. Po krátké chvíli následuje zřícení židle. Pak dochází už jen k odhořívání zbývajících částí nábytku.



a) Zbytek sestavy nábytku před počátkem zkoušky



b) Pozorování během průběhu zkoušky



c) Zbytek sestavy nábytku před ukončením zkoušky



d) Sestava po ukončení zkoušky

Obrázek 3–7 Průběh požární zkoušky – Zbytek sestavy (Zapálení bez TV)

3.2.2.3 Analýza výsledků

Stav sestavy po ukončení experimentu je zaznamenán na obrázku 3-. Během zkoušky se plameny rozšířily jen k povrchu desky stolu, ale k rozšíření na zbytek stolu či židli nedošlo. V průběhu požární zkoušky byly měřeny základní parametry – rychlost uvolňování tepla, úbytek hmotnosti a hustota tepelného toku.

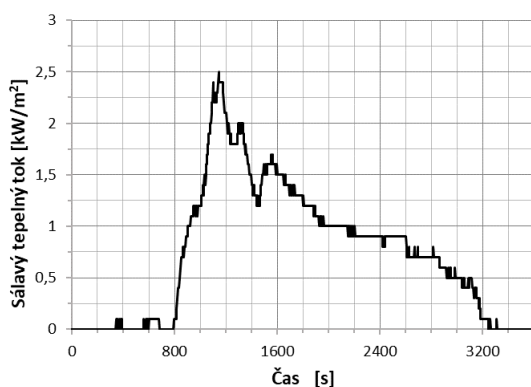
Odvětrání RCT bylo nastaveno po celou dobu na 20 %. Experiment trval 3 600 sekund.

Nejvyšší teplota byla naměřena na termočlánek T3, nacházejícím se před televizí na desce stolu. Teplota dosáhla 913,8 °C v 1 458. sekundě požární zkoušky. Naopak k nejmenšímu nárůstu tepla došlo v termočláncích T5. Který se nacházel na televizi a odpadl během předchozí zkoušky.

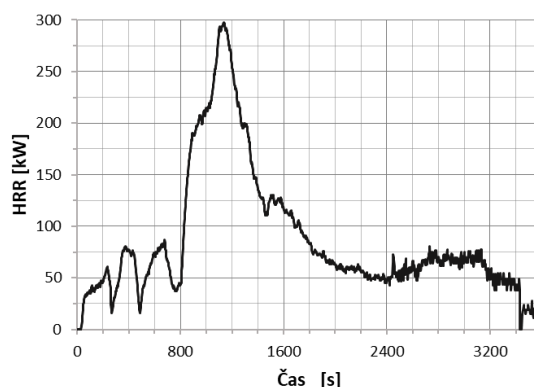
Průběh sálavého tepelného toku je zobrazen na obrázku 3-a). Z počátku experimentu nedochází k růstu, nebo je jen nepatrný. Před 800. sekundou experimentu dojde prudkému nárůstu a je dosaženo maxima 2,5 kW/m² v 1 146. sekundě. Poté dochází k postupnému poklesu.

Křivka rychlosti uvolňování tepla je znázorněna na obrázku 3-b). Z křivky je patrné, že na počátku dochází k menším nárůstům výkonu a následnému poklesu, což je způsobeno opakujícím se zapínáním a vypínáním hořáku. Mezi 700 a 800 sekundami dojde k razantnímu zvýšení výkonu a je dosaženo nejvyšší hodnoty 297,48 kW v 1 137. sekundě. Následně dochází ke zmenšení výkonu, až do ukončení zkoušky.

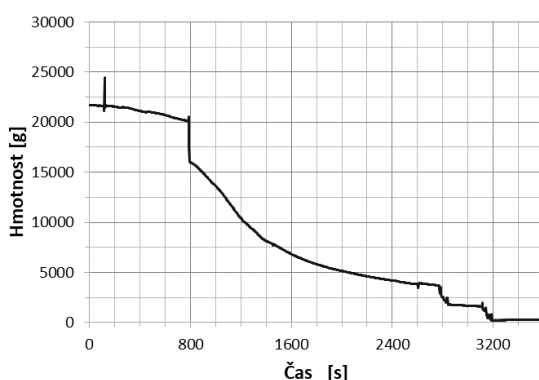
Úbytek hmotnosti je vidět na 3-c). Úbytek je z počátku hodně pomalý, s jedním výkyvem, který je zapříčiněn posunutím hořáku. Následuje strmý pokles, díky odebrání hořáku a odpadávání materiálu mimo váhu. Úbytek hmotnosti poté nabírá na rychlosti, až dosáhne skoro nulové hmotnosti. Na počátku experimentu měla sestava 21,67 kg, po jeho ukončení 0,25 kg. Průběh rychlosti odhořívání je znázorněn na obrázku 3-d). Z počátku dochází pomalému růstu rychlosti odhořívání se dvěma výkyvy křivky, způsobené již zmíněným posunutím hořáku, jeho odebráním či odpadáváním částí materiálu. Nejvyšší zaznamenaná rychlost byla 19 g/s v 1 082. sekundě. Potom následuje jen pokles, který znovu doprovází výkyvy způsobené odpadáváním částí materiálu.



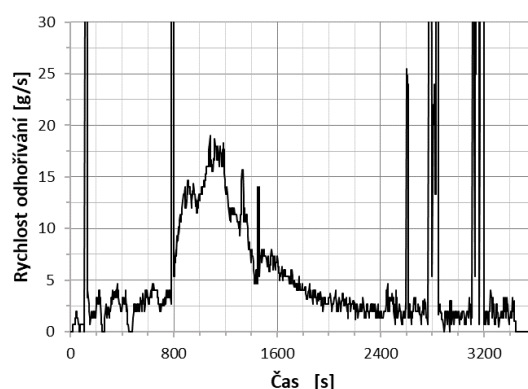
a) Sálavý tepelný tok ve vzdálenosti 1 m



b) Výkon požáru



c) Úbytek hmotnosti



d) Rychlost odhořívání

Obrázek 3– Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Zbytek sestavy (Zapálení bez TV)

3.2.3 Sestava 2 (Zapálení TV 2)

3.2.3.1 Popis sestavy

V rámci druhého experimentu byla do zkušební místnosti přinesena téměř totožná sestava. Sestava bylo opět složena ze stolu, židle a televizoru.

Židle s opěrátkem měla rozměry 62 cm (výška) × 46 cm (šířka) × 40 cm (hloubka), přičemž výška je brána od základu židle k opěradlu, šířka je od vnějšího okraje opěrek paží a hloubka je od předního po zadní okraj sedáku. Její hmotnost před začátkem experimentu byla 8,46 kg. Židle byla z masivního dřeva se sedadlem a opěradlem z molitanu, nosná část podsedáku byla železná.

Rozměry stolu byly stejné jako při prvním experimentu, tedy 60 cm (délka) x 45 cm (šířka) x 59,5 cm (hloubka). Hmotnost stolu na začátku experimentu byla 11,3 kg. Stůl byl z masivního dřeva.

Starší model televize měl rozměry také stejné jako u první zkoušky, a to 33,5 cm (výška) x 35,5 cm (šířka) x 34 cm (hloubka). Počáteční hmotnost televize byla 9,76 kg. Televize byla z plastu.

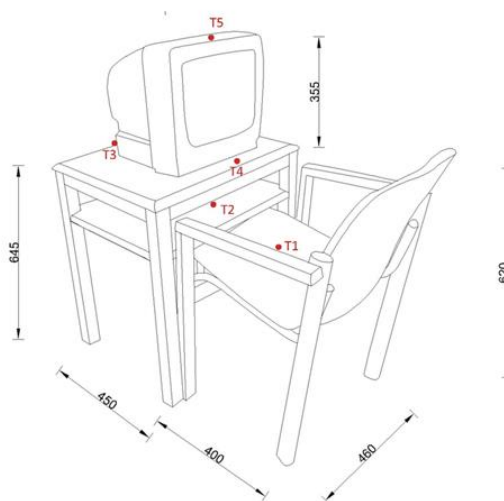
Celková hmotnost celé sestavy před experimentem byla 29,61 kg.

3.2.3.2 Průběh zkoušky

Na váhu pod sestavu byla nejprve vložena minerální vlna, na kterou se následně položila deska, a nakonec zmíněná sestava.

Pro zjištění přesného monitorování teploty během požární zkoušky byly na povrchu radiometru opět umístěny čtyři termočlánky se vzájemnou vzdáleností 25-40-50 cm, přičemž druhý termočlánek byl 5 cm nad nejvyšším bodem televize. Radiometr byl umístěn 1 m od opěradla židle, v úrovni psací desky stolu, tedy 64,5 cm od podložky a 15 cm od sedáku židle. Radiometr byl schopen měřit a detekovat tepelný tok v rozmezích od 0-20 kW/m².

Dále bylo rozmístěno 5 termočlánků. Termočlánky byly rozmístěny stejně jako při prvním experimentu. První termočlánek (T1) se nacházel na sedáku židle, druhý (T2) uprostřed na spodní desce stolu, třetí a čtvrtý (T3 a T4) na horní desce stolu, po stranách televize a pátý termočlánek (T5) v nejvyšším bodě televize. Znázornění geometrie a rozmístění termočlánku je patrné z obrázku 3-8.3-83-8



Obrázek 3-8 Schématické znázornění – Sestava 2 (Zapálení TV 2)

Následně byl umístěn hořák pod stůl. Hořák byl o výkonu 30 kW. Celá sestava i s hořákem měla váhu 33, 71 kg.

Start zkoušky započal při 120. sekundě. Byl zapnut hořák s již zmíněným výkonem. Plamen se začal postupně šířit na židli, převážně na podsedák. Poté se začal pomalu rozšiřovat na televizi. Kolem 380. sekundy pokusu byl hořák vypnut. Plameny se dále postupně rozšiřovali na celou židli a televizi. K expanzi plamene na stůl došlo, až po zřícení televize a propadnutí sedáku židle. V průběhu hoření celé sestavy došlo k propadnutí a zřícení stolu. Nohy židle zůstaly stát, jak je patrné z obrázku 3-12.

Zkouška byla k 3 600. sekundě ukončena.



a) Sestava nábytku před počátkem zkoušky



b) Pozorování během průběhu zkoušky



c) Sestava nábytku před ukončením zkoušky

Obrázek 3–9 Průběh požární zkoušky – Sestava 2 (Zapálení TV 2)

3.2.3.3 Analýza výsledků

Na obrázku 3–10 jsou vidět některé výsledky tohoto experimentu. Je evidentní, že v průběhu hoření došlo k postupné deformaci materiálů a ztrátě původní tvarové integrity. V důsledku toho došlo ke zřícení stolu.

Odvětrání RCT bylo nastaveno na počátku experimentu na 20 %. V 1000. sekundě bylo odvětrání nastaveno na 40 %. Experiment probíhal po dobu 4 686 sekund.

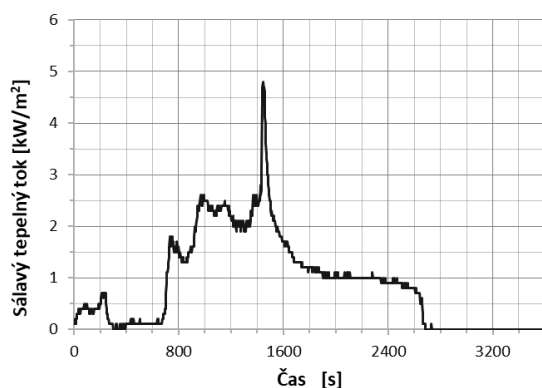
Nejvyšší naměřená teplota byla 851,3 °C v 852. sekundě na termočlánek T5. Tento termočlánek se nacházel v nejvyšším bodě televize. K nejmenšímu nárůstu teploty došlo v termočlátku T3, který se nacházel za televizí.

Průběh sálavého tepelného toku je zobrazen na obrázku 3–103–a). Z počátku experimentu dochází k menšímu nárůstu a následného poklesu, po kterém následuje pomalejší nárůst k maximu. 4,8 kW/m² v 1 580. sekundě. Potom dochází k poklesu.

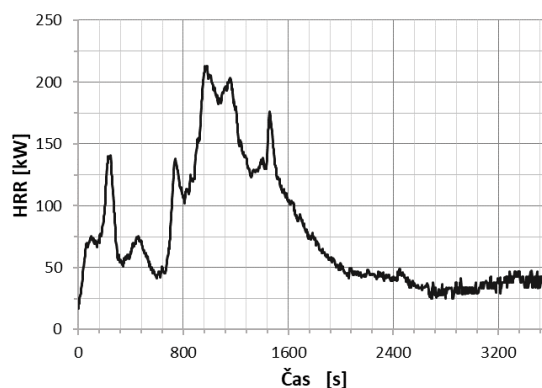
Křivka rychlosti uvolňování tepla je znázorněna na obrázku 3–10b). Z křivky je patrné, že na začátku došlo k rychlému růstu, následované rychlým poklesem. Navazuje opět rychlý růst, kdy je dosaženo maxima 213,14 kW v 1 116. sekundě. Následuje pokles a následný růst do posledního vrcholu, po kterém následuje postupný pokles.

Úbytek hmotnosti v průběhu experimentu je nepravidelný. V grafu jsou vidět náhlé skoky váhy, které jsou zapříčiněné odpadnutím televize a dále i deskou stolu. Na počátku měla sestava 33,71 kg, ke konci experimentu byla hmotnost sestavy 2,48 kg.

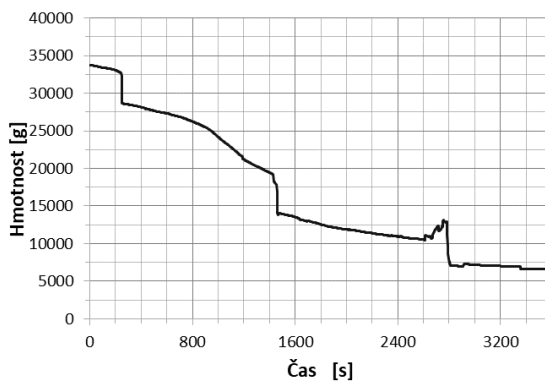
Průběh rychlosti odhořívání je znázorněn na obrázku 3–10d). Z počátku dochází pomalému růstu rychlosti odhořívání s občasnými výkyvy křivky, způsobené odebráním hořáku či odpadáváním částí materiálu. Nejvyšší zaznamenaná rychlost byla 16,66 g/s v 990. sekundě. Potom následuje jen pokles, který znovu doprovází výkyvy způsobené odpadáváním částí materiálu.



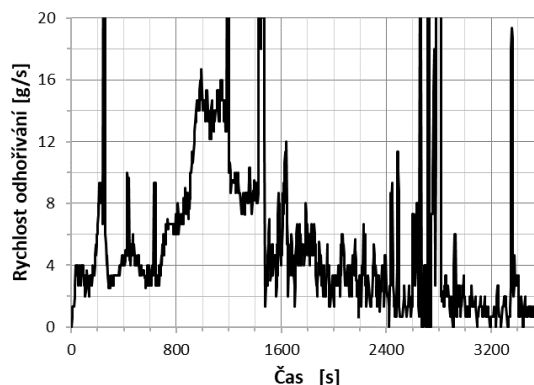
a) Sálavý tepelný tok ve vzdálenosti 1 m



b) Výkon požáru



c) Úbytek hmotnosti

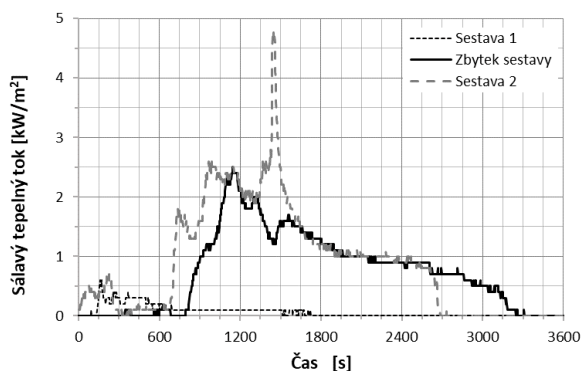


d) Rychlost odhořívání

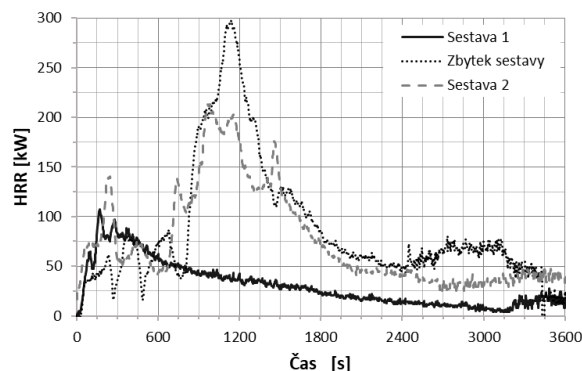
Obrázek 3–10 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Sestava 2 (Zapálení TV 2)

3.2.4 Porovnání výsledků a vyhodnocení

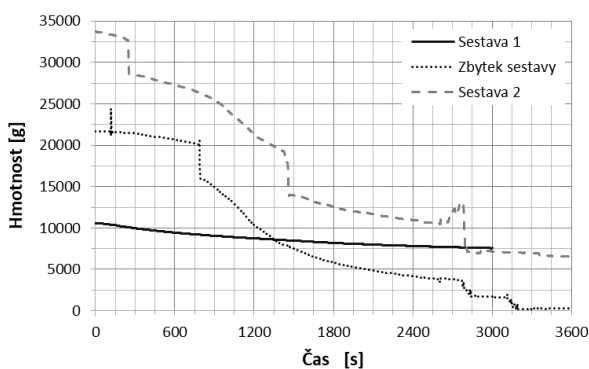
V poslední části této kapitoly budou shrnuty výsledky. V následujících grafech budou porovnány změřené parametry.



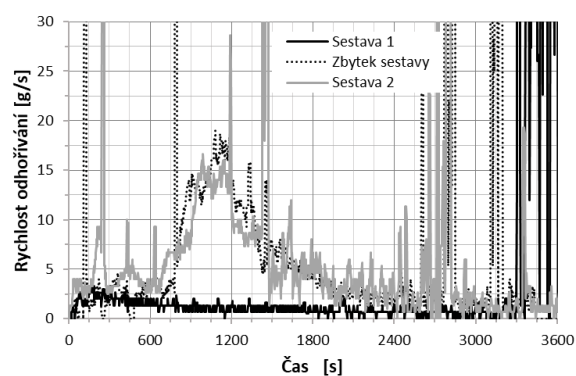
a) Sálavý tepelný tok ve vzdálenosti 1 m



b) Průběh výkonu požáru



c) Úbytek hmotnosti



d) Rychlost odhořívání

Obrázek 3–11 Porovnání průběhů nejdůležitějších požárních parametrů – požární zkoušky sestavy

Z grafu znázorněného na obrázku 3–11 je zřejmé, že u parametrů druhého scénáře je dosaženo výrazně vyšších hodnot. Největší rozdíl v naměřených hodnotách byl zaznamenán u měření radiometrem, obrázek 3–11a). Zatímco v prvním případě maximální naměřené hodnoty $0,6 \text{ kW/m}^2$ je dosaženo v 300. sekundě poté hodnoty klesají, v druhém případě je maximální hodnoty $4,8 \text{ kW/m}^2$ dosaženo až v 1 580. sekundě, a až poté dojde ke klesání hodnot. Pro případ zbytku sestavy, průběh vývoje sálavého tepla je podobný jako u experimentu 2, ale místě svého vrcholu nedosahuje tak vysokých hodnot.

Na obrázku 3–11b) je znázorněno porovnání rychlosti uvolňování tepla pro první a druhý scénář. Průběhy mají v obou případech do 670. sekundy podobný tvar, v 670. sekundě nastává hlavní rozdíl, kdy hodnoty prvního scénáře pomalu klesají, v případě druhého scénáře začnou naopak stoupat, až do hodnoty 213 kW a až pak klesají. V tomto případě má zbytek sestavy opět obdobný průběh jako při experimentu 2, v tomto případě, ale nabývá vyšších hodnot při dosažení své maximální hodnoty.

Úbytek hmotnosti má taktéž odlišný průběh. Zatímco při prvním experimentu došlo k minimálnímu úbytku, v druhém případě se ztratila hmotnost většiny sestavy. Pro zbytek sestavy je průběh opět podobný jako u experimentu 2.

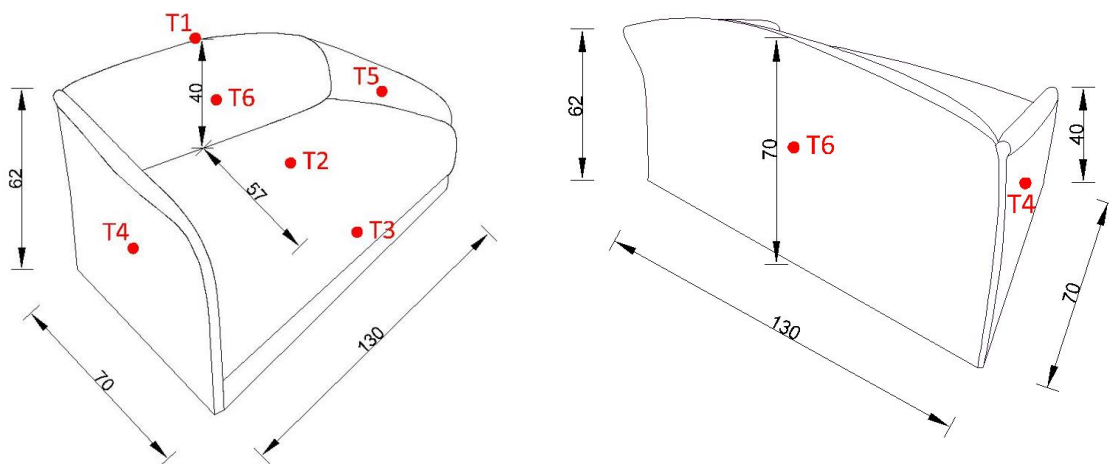
Tyto parametry naznačují, že při scénářích, kdy dojde k iniciaci ze spodu stolu a následně k rozšíření požáru na židli, bylo pozorováno větší množství uvolněného tepla a vyšší tepelný tok, což přispělo k intenzivnějšímu spalování a intenzivnějšímu hoření než při scénáři, kdy zdrojem požáru krychle minerální vlny namočená v izopropanolu.

3.3 Požární zkouška dvojkřesla

3.3.1 Popis zkoušky

V rámci tohoto experimentu byla provedena požární zkouška dvojkřesla. Křeslo bylo tvořeno nosnou částí z dřevěných prvků, výplněmi sedáku a opěradla z pěnové hmoty a potahem z mikrovlákna.

Sedačka měla rozměry 62 cm (výška) × 70 cm (šířka) × 130 cm (délka), přičemž výška je brána od základu židle k hornímu okraji, šířka je od vnějších okrajů a délka je od přední po zadní okraj opěrky. Hmotnost před začátkem experimentu byla 42,9 kg.



Obrázek 3–12 Schématické znázornění - Dvojkřeslo

3.3.2 Průběh zkoušky

Na váhu byla nejprve položena minerální vlna, na kterou následně byla položena deska a až pak sedačka. Pro zjištění přesného monitorování teploty během požární zkoušky byly na povrchu radiometru umístěny čtyři termočláanky se vzájemnou vzdáleností 25-50-50 cm, přičemž první termočlánek byl 15 cm nad sedákem sedačky. Radiometr byl následně umístěn ve vzdálenosti 1 m od dvojkřesla, směrem ke středu objektu. Radiometr byl schopen měřit a detekovat tepelný tok v rozmezích od 0-20 kW/m².

Dále bylo rozmístěno 6 termočláneků. První termočlánek (T1) se nacházel v nejvyšším místě zadního opěradla, druhý termočlánek (T2) uprostřed sedáku, třetí (T3) byl umístěn uprostřed stěny pod nacházející se pod sedákem, čtvrtý a pátý (T4 a T5) na postranních opěrkách směrem dovnitř a šestý termočlánek (T6) uprostřed zad z vnější strany. Znázornění geometrie a rozmístění termočláneků je patrné z obrázku 3-12.

Zdrojem požáru byla uříznutá krychle z minerální vlny, která se namočila do cca 50 ml izopropanolu. Krychle byla položena v levém rohu mezi zadním opěradlem, opěrkou na ruce (u termočlánku T4) a sedákem.

Na obrázku 3–13a) vidíme připravenou dvousedačku před počátkem zkoušky.

Začátek zkoušky započal po zapálení izopropanolu nasáklého v minerální vlně pomocí zapalovače. Plamen se začal šířit v prostoru rohu, kde byl položen iniciátor požáru. Plameny se rozšiřovaly především směrem po levé opěrce na ruce, spolu s tím i směrem po zadním opěradle směrem k jeho středu. Plameny se postupně začali rozprostírat i po celé levé područce a zadním opěradle. Došlo k přesunutí plamenů i na zadní stranu opěradla. Plameny postupovali po ploše celého sedadla, s tím docházelo zároveň i k postupnému odhořívání materiálu. Nakonec se plameny rozšířili na spodní část křesla a postupně byla zasažena i pravá strana dvojsedadla. V tento moment byla celá sedačka pod plameny a docházelo k postupnému odhořívání materiálu, až nakonec došlo k úplnému odhoření.



a) Dvojsedačka před počátkem zkoušky



b) Pozorování během průběhu zkoušky



c) Pozorování před ukončením zkoušky



d) Dvojsedačka po ukončení zkoušky

Obrázek 3–13 Průběh požární zkoušky – Dvojkřeslo

3.3.3 Analýza výsledků

Na obrázku 3–14 jsou vidět některé výsledky tohoto experimentu. Je evidentní, že v průběhu zkoušky došlo k postupné degradaci materiálů a ztrátě původní tvarové integrity. V důsledku toho došlo k postupnému odhoření veškerého materiálu.

Experiment probíhal po dobu 6 000 sekund.

Odvětrání RCT na počátku bylo nastaveno na 30 %. V 850. sekundě bylo větrání nastaveno na 40 %, kolem 960. sekundy na 70 %, kvůli velké koncentraci kouře. Experiment probíhal po dobu 6 000 sekund.

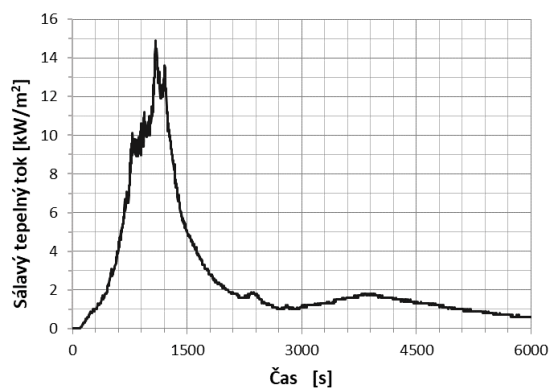
Nejvyšší naměřená teplota byla 951,8 °C v 852. sekundě na termočlánek T4. Tento termočlánek se nacházel na vnitřní straně levého opěradla. K nejmenšímu nárůstu teploty došlo v termočlátku T3, který se nacházel ze spodní strany.

Sálavý tepelný tok je zobrazen na obrázku 3–14a). Z počátku se sálavý tepelný tok prudce zvyšuje, v důsledku zvyšujícího se tepla, až do 1 085. sekundy, kdy je dosaženo nejvyšší hodnoty 14,9 kW/m². Po dosažení této maximální hodnoty, začne docházet k pomalému ochlazování, tím i ke klesání sálavého tepelného toku.

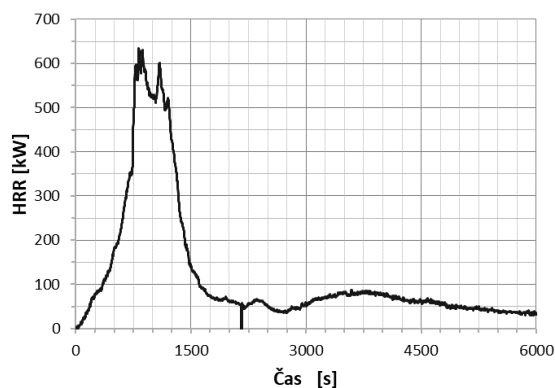
Výkon požáru je vidět na obrázku 3–14b). Z počátku dochází k strmému růstu výkonu požáru, 821. sekundě je dosaženo nejvyšší intenzity hoření 634,3 kW. Po dosažení maximálního výkonu, dojde k velkému poklesu. Od 1800. sekundy se pokles výkonu zpomalí a dochází k pozvolnému snížení výkonu, až k úplnému vyhasnutí požáru.

Graf úbytku hmotnosti je uveden v grafu na obrázku 3–14c). Počáteční hmotnost sestavy byla 42,95 kg. Z počátku experimentu dochází k pozvolnému úbytku hmotnosti, který okolo 600. sekundy dochází k razantnímu poklesu hmotnosti. Po 1400. sekundě dojde k zpomalení, následně hmotnost ubývá pomalu a konverguje k nule, což signalizuje úplné vyčerpání materiálu.

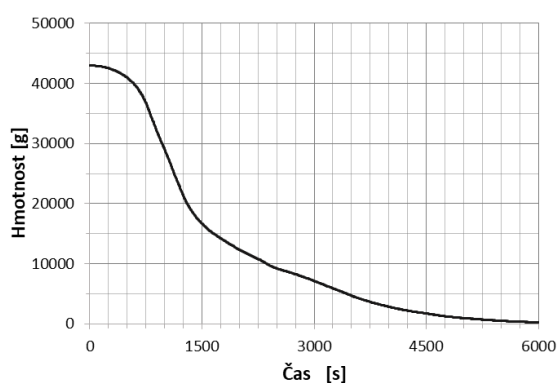
Průběh rychlosti odhořívání je znázorněn na obrázku 3–14d). Již z počátku dochází k vysoké rychlosti odhořívání, která prudce roste v průběhu času. V 1 080. sekundě rychlost odhořívání dosahuje své nejvyšší rychlosti 49,33 g/s. Do 1300. sekundy se rychlost odhořívání pohybuje kolem této hodnoty. Poté dochází k prudkému zpomalení, které trvá až do 1 500. sekundy, kdy dojde ke zpomalení poklesu a následuje pozvolné snižování rychlosti, dokud není dosaženo nuly.



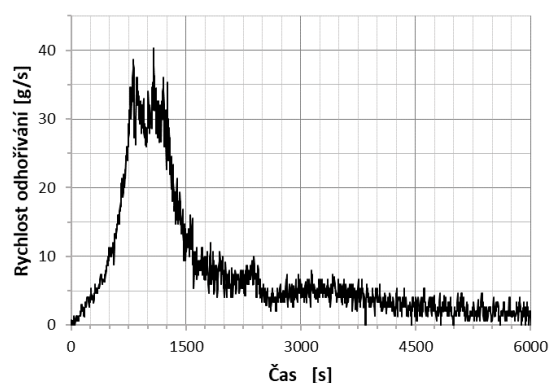
a) Sálavý tepelný tok ve vzdálenosti 1 m



b) Výkon požáru



c) Úbytek hmotnosti



d) Rychlost odhořívání

Obrázek 3–14 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Dvojkřeslo

3.3.3.1 Porovnání s jinými databázemi

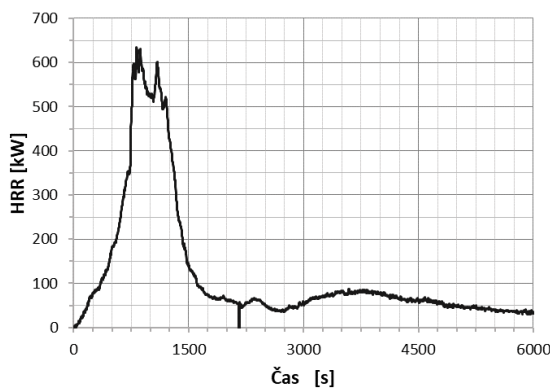
V kapitole 2.2.1 byl představen experiment, jehož předmětem byla sedačka pro 3 osoby. Materiálové složení bylo podobné jako u dvojkřesla sledovaném v této kapitole. Rozměry sedačky byly 83 cm (výška) × 94 cm (šířka) × 220 cm (délka). Hmotnost sedačky před počátkem experimentu byla 50,1 kg. Požární zkouška byla provedena v rámci RCT uvnitř místnosti. Graf na obrázku 3–15b) znázorňuje průběh rychlosti uvolňování tepla pro případ, kdy byly dveře RCT místnosti otevřeny a sedačka byla umístěna uprostřed stěny naproti otvoru. Zdroj zapálení byl umístěn do pravého rohu k opěrci na ruce. Na obrázku 3–15a) je pro porovnání zobrazen průběh HRR z experimentu z této kapitoly.

Každý z experimentů probíhal po jinou dobu. Zatímco experiment se sedačkou ze zmíněné studie trval jen 1 100 sekund, požární zkouška s dvojkřesla byla ukončena až k 6 000. sekundě. Vývoj rychlosti uvolňování tepla je také poněkud rozdílný. V případě dvojkřesla došlo hned na počátku experimentu k okamžitému vzplanutí, rychlost uvolňování tepla začala okamžitě růst až do dosažení svého maxima. Oproti tomu u druhého experimentu dochází ke zvýšení rychlosti uvolňování tepla až po několika sekundách od začátku experimentu. I přesto dosáhne sedačka své maximální rychlosti dříve než dvojkřeslo a její maximální hodnota je mnohem větší. Po dosažení své maximální hodnoty nastává zpomalování rychlosti v obou případech.

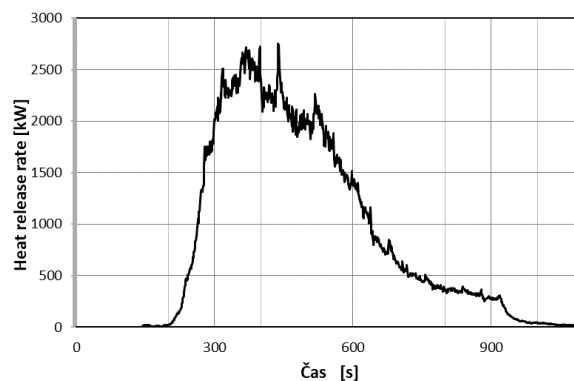
U databáze od Korea Institute of Construction Technology [22] nebyly k dispozici podrobné údaje o rozměrech, váze nebo grafy průběhu vývoje veličin v průběhu experimentu. Byly ovšem shrnuty

nejvyšší dosažené hodnoty HRR, křeslo v databázi uvedené na obrázku v kapitole 2.2.1 dosáhlo maximální rychlosti uvolňování tepla 516,3 kW.

Rozdíl ve vývoji požáru je způsoben rozdílnými podmínkami. V případě sedačky umístěné v místnosti dochází k rychlejšímu vývinu požáru, tím i k rychlejšímu odhořívání materiálu. Větší rozměry a vyšší váha sedačky neměla takový vliv, jako její umístění do skoro uzavřeného prostoru.



a) HRR TV z této práce (kapitola 3.2.1)



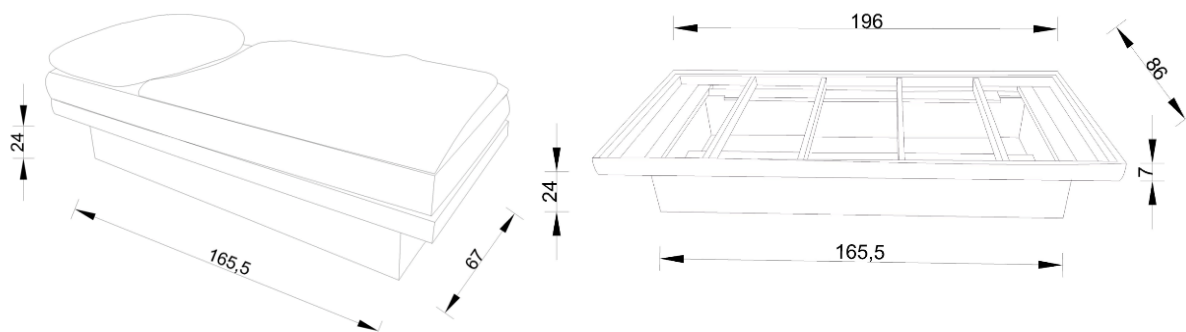
b) Graf znázorňující HRR TV z jiné studie (kapitola 2.2.1)

Obrázek 3–15 Grafy znázorňující průběh HRR - porovnání s jinými databázemi

3.4 Požární zkouška postele

3.4.1 Popis zkoušky

Objektem sledování této požární zkoušky je jednolůžková postel. Postel je vyrobena ze dřevotřísky, po vnějších stranách je přes povrch postele připevněn ozdobný koberec. Rozměry byly 24 cm (výška) × 67 cm (šířka) × 165,5 cm (délka) pro spodní část a 7 cm (výška) × 86 cm (šířka) × 196 cm (délka) pro horní rám. Hmotnost samostatné postele bez matrace před začátkem experimentu byla 43,72 kg. Hmotnost postele i s matrací byla 67,75 kg.



Obrázek 3–16 Schématické znázornění - Postel

3.4.2 Průběh zkoušky

Na váhu byla nejprve položena minerální vlna, na kterou následně byla položena nehořlavá deska a až pak postel. Pro zjištění přesného monitorování teploty během požární zkoušky byly na povrchu radiometru umístěny čtyři termočlánky se vzájemnou vzdáleností 25-25-50 cm, přičemž první termočlánek byl 50 cm nad pokrývkou. Radiometr byl umístěn ve vzdálenosti 1 m od středu postele. Radiometr byl schopen měřit a detekovat tepelný tok v rozmezích od 0-20 kW/m².

Znázornění geometrie je patrné z obrázku 3-16.

Následně byla uříznuta krychle z minerální vlny, která se namočila do cca 50 ml izopropanolu. Krychle byla položena doprostřed postele. Následně byl zapálen pomocí zapalovače v ní nasáklý izopropanol. Na obrázku 3-17a) vidíme připravenou postel před počátkem zkoušky.

Plamen se začal šířit postupně okolo položené krychle. Plameny se dále rozšířili po celé pokrývce, až k hornímu povrchu matrace. Následně se plameny přesunuly i na polštář, v oblasti, kde byla pokrývka dojde k samovolnému hašení, kdy z matrace zůstává jen ztužení. Plameny se zdržují jen v oblasti polštáře a pomalu dochází k samovolnému uhašení. V této chvíli bylo upraveno větrání, načež se požár začíná znovu rozvíjet, především do stran a pod vyztužení co zbylo z matrace. Na pravé straně a straně za polštářem došlo k rozvinutí požáru. V tento moment se začínal z matrace šířit kouř. Plameny se z pravé horní části rozšířily po celé pravé straně, až ke spodní hraně. Nakonec dojde k rozvinutí plamene po celé plošce postel, což vedlo k propadnutí horní části, a nakonec celé postele. Tyto zbytky, pak odhořely, kdy ke konci zkoušky zbyl jen kovový rošt z matrace.



a) Postel před počátkem zkoušky



b) Pozorování během požární zkoušky



c) Pozorování během požární zkoušky



d) Pozorování během požární zkoušky



e) Pozorování před ukončením zkoušky



f) Postel po ukončení zkoušky

Obrázek 3–17 Průběh požární zkoušky – Postel

3.4.3 Analýza výsledků

Na obrázku 3–18 jsou vidět některé výsledky tohoto experimentu. Je evidentní, že v průběhu zkoušky došlo k postupné degradaci materiálů a ztrátě původní tvarové integrity. V důsledku toho došlo k postupnému odhoření veškerého materiálu.

Experiment probíhal po dobu 7 000 sekund.

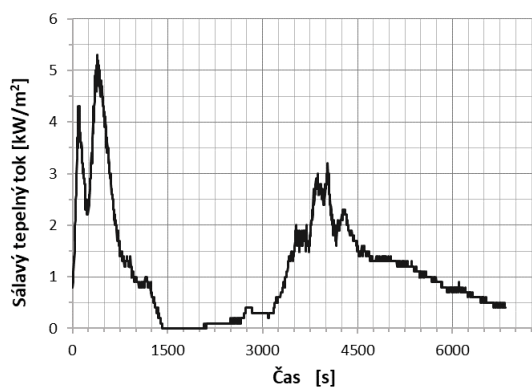
Průběh sálavého tepelného toku je zobrazen na obrázku 3–18a). Z počátku experimentu dojde k rapidnímu růstu sálavého tepelného toku k prvnímu vrcholu, za čímž následuje prudké klesání a následně znovu prudké stoupání, dokud není dosažena nejvyšší hodnota 5,3 kW/m² v 393. sekundě. Po dosažení maximální hodnoty začne průběh tepelného toku strmě klesat až k nule. To bylo zapříčiněno tím, že požár po rozšíření po pokrývce a polštáři začal ustávat. Před 2 000. sekundou experimentu dojde znovu k pozvolnému růstu křivky, díky opět začínajícímu rozvoji požáru po úpravě větrání. V rámci toho bylo v grafu zaznamenáno třetí dosažení vrcholu, následované opětovným klesáním.

V následujícím grafu na obrázku 3–18b) je znázorněn vývoj výkonu požáru. U tohoto parametru opět dochází nejdříve k prudkému růstu výkonu k prvnímu vrcholu, následované prudším poklesem a opětovným strmým stoupáním, dokud není dosaženo nejvyššího výkonu 394,4 kW v 396. sekundě. Po dosažení této hodnoty, dojde k poklesu k nule, z důvodu již zmíněného pozvolného ustávání požáru. Následuje opětovný růst, až k dosažení třetího vrcholu a opakovaný pokles, který konverguje k nule.

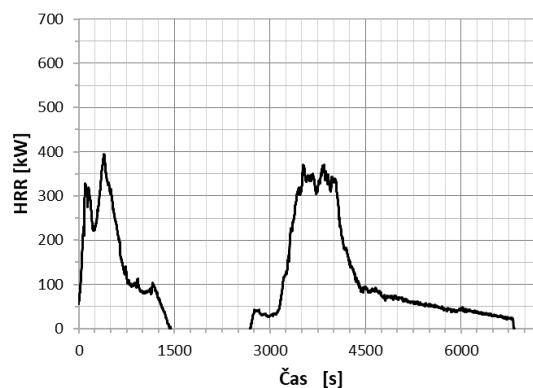
Graf úbytku hmotnosti je uveden v grafu na obrázku 3–18c). Počáteční hmotnost postele s matrací byla 67,85 kg. Z počátku experimentu dochází k pozvolnému úbytku hmotnosti do 3 000. sekundy, pak následuje prudší pokles hmotnosti. Od 4000. sekundy opět dochází ke zpomalení úbytku hmotnosti. Po ukončení zkoušky je zbývající hmotnost 3,96 kg. Část této hmotnosti představují pružiny z matrace.

Průběh rychlosti odhořívání je znázorněn na obrázku 3–18d). Rychlost odhořívání opět obkresluje předchozí průběhy. Již z počátku dochází k vysoké rychlosti odhořívání, která prudce roste v průběhu času, pak klesá a znovu stoupá, dokud nedosáhne druhého vrcholu. Poté následuje pokles, kdy se rychlost odhořívání konverguje k nule. Mezi 2 000 a 3 000 sekundami dojde k opětovnému nárůstu, kdy je dosaženo třetího vrcholu a v tomto případě i maximální hodnoty 92,66 g/s v 4041. sekundě. Následuje zpomalování rychlosti odhořívání, dokud není dosaženo nuly. Nepravidelné výrazné výkyvy křivky, jsou zapříčiněny odpadáváním materiálu.

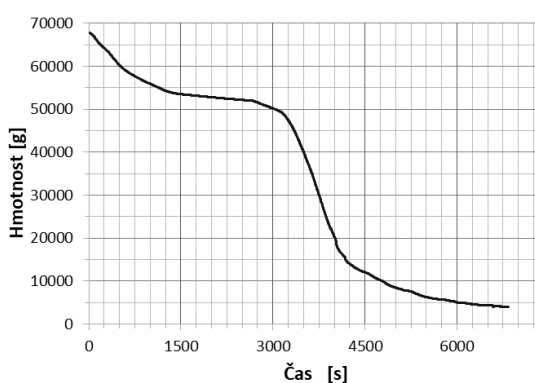
U tohoto experimentu mělo velký vliv na vývoj požáru odvětrání během zkoušky. Kdyby nedošlo k úpravě odvětrání, je velmi pravděpodobné, že by nedošlo k opětovnému vznícení plamenů a jejich rozšíření po celé konstrukci postele.



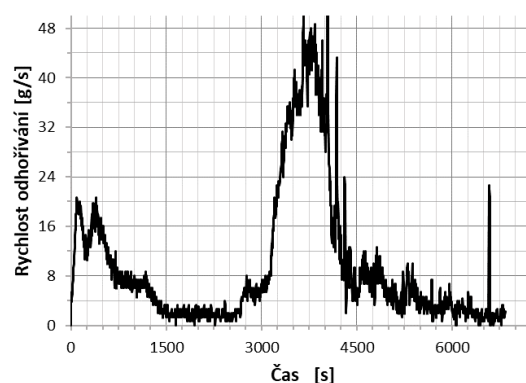
a) Sálavý tepelný tok ve vzdálenosti 1 m



b) Výkon požáru



c) Úbytek hmotnosti



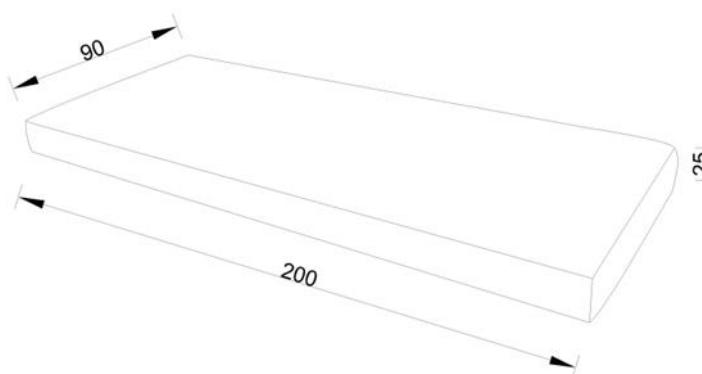
d) Rychlost odhořívání

Obrázek 3–18 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Postel

3.5 Požární zkouška matrace

3.5.1 Popis zkoušky

V tomto experimentu je použita jednolůžková matrace, vybavena pružinovým jádrem. Matrace je totožná s matrací použitou v předchozím experimentu, kde byla zapálena postel společně s matrací. Rozměry této matrace jsou 25 cm (výška) × 90 cm (šířka) × 200 cm (délka). Pružinové jádro je ze systému pružin, rovnoměrně rozmístěných po celé ploše matrace. Hmotnost matrace před začátkem požární zkoušky byla 19,55 kg.



Obrázek 3–19 Schématické znázornění – Matrace.

3.5.2 Průběh zkoušky

Na váhu byla nejprve položena minerální vlna, na kterou následně byla položena deska a až pak matrace. Pro zjištění přesného monitorování teploty během požární zkoušky byly na povrchu radiometru umístěny čtyři termočlánky se vzájemnou vzdáleností 30-50-50 cm, přičemž první termočlánek byl 50 cm nad povrchem matrace. Radiometr byl umístěn ve vzdálenosti 1 m od hrany matrace, směrem ke středu objektu. Radiometr byl schopen měřit a detekovat tepelný tok v rozmezích od 0-20 kW/m².

Znázornění geometrie je patrné z obrázku 3-19.

Následně byla uříznuta krychle z minerální vlny, která se namočila do cca 20 ml izopropanolu. Krychle byla položena uprostřed matrace. Následně byl zapálen pomocí zapalovače v ní nasáklý izopropanol. Na obrázku 3-20a) vidíme připravenou matraci před počátkem zkoušky.

Plamen se začal šířit okolo krychle, zároveň s tím dochází k prohořívání dovnitř. Následně se požár rozšiřuje spíše na pravou stranu směrem k dolnímu rohu a poté i na levou stranu a levého horního rohu. Nakonec dojde k odhoření celé matrace, kromě pružin.



a) Sestava nábytku před počátkem zkoušky



b) Pozorování během průběhu zkoušky



c) Sestava nábytku před ukončením zkoušky



d) Sestava po ukončení zkoušky

Obrázek 3-20 Průběh požární zkoušky – Matrace

3.5.3 Analýza výsledků

Na obrázku 3–21 jsou vidět některé výsledky tohoto experimentu. Je evidentní, že v průběhu zkoušky došlo k postupné degradaci materiálů a ztrátě původní tvarové integrity. V důsledku toho došlo k postupnému odhoření veškerého materiálu.

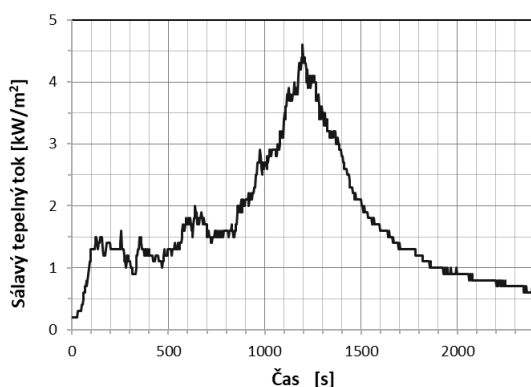
Experiment probíhal po dobu 2 400 sekund.

Průběh sálavého tepelného toku je zobrazen na obrázku 3–21. Sálavý tok od začátku prudce roste, dokud nedosáhne v 1 197. sekundě nejvyšší hodnoty 4,6 kW/m².

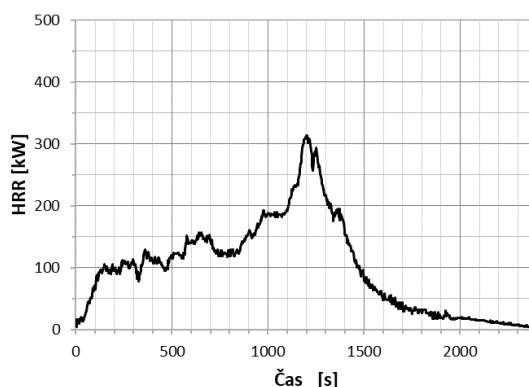
V následujícím grafu na obrázku 3–21 je znázorněn vývoj výkonu požáru. Z počátku dochází k růstu výkonu k prvnímu vrcholu, následované náhlým zpomalením, kdy se hodnoty po několika desítkách sekund pohybují okolo stejné hodnoty. Poté výkon znovu nabere na rychlosti, dokud nedosáhne svého nejvyššího výkonu 313,68 kW v 1 203. sekundě. Po dosažení této hodnoty, dojde k poklesu až k nule.

Na obrázku 3–21 je zobrazen úbytek hmotnosti v průběhu požární zkoušky. Hmotnost matrace v průběhu času postupně ubývá, jak je patrné z grafu. Do 1 800. sekundy dochází k pravidelnému úbytku, následně se úbytek hmotnosti zpomaluje. Po ukončení zkoušky je zbývající hmotnost 1,08 kg, většina z této hmotnosti jsou zbylé pružiny.

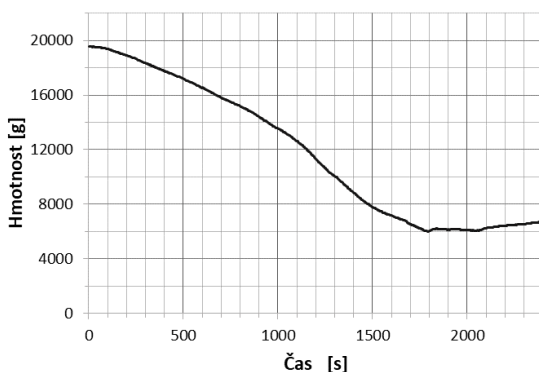
Průběh rychlosti odhořívání je znázorněn na obrázku 3–21. Z počátku dochází k postupnému růstu rychlosti odhořívání, dokud nedosáhne své maximální hodnoty 17,77 g/s. Následuje postupné zpomalování až k nule.



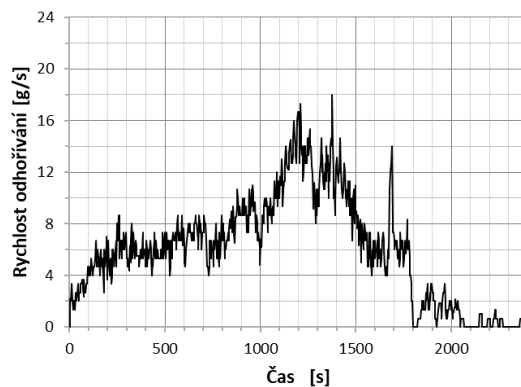
a) Sálavý tepelný tok ve vzdálenosti 1 m



b) Výkon požáru



c) Úbytek hmotnosti



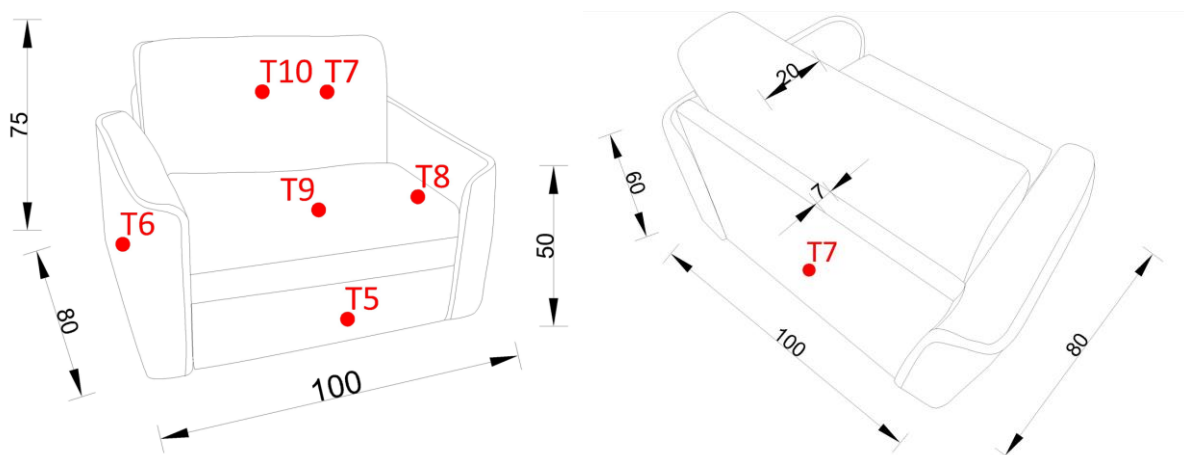
d) Rychlost odhořívání

Obrázek 3–21 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Matrace

3.6 Požární zkouška křesla

3.6.1 Popis zkoušky

Sedačka měla rozměry 75 cm (výška) × 80 cm (šířka) × 100 cm (délka), přičemž výška je brána od základu židle k hornímu okraji, šířka je od vnějších okrajů a délka je od přední po zadní okraj opěrky. Hmotnost před začátkem experimentu byla 58,45, kg. Výplň křesla byla z pěnové hmoty a potah z mikrovlákna. Nosnou část tvořilo dřevo.



Obrázek 3-22 Schématické znázornění – Křeslo

3.6.2 Průběh zkoušky

Na váhu byla nejprve položena minerální vlna, na kterou následně byla položena deska a až pak sedačka. Pro zjištění přesného monitorování teploty během požární zkoušky byly na povrchu radiometru umístěny čtyři termočláanky se vzájemnou vzdáleností 25-50-50 cm, přičemž první termočláanek byl 25 cm nad sedákem. Radiometr byl umístěn ve vzdálenosti 1 m od dvojkřesla, směrem ke středu objektu. Radiometr byl schopen měřit a detekovat tepelný tok v rozmezích od 0-20 kW/m².

Dále bylo rozmístěno 6 termočláanek. První termočláanek (T5) se nacházel uprostřed sedáku pod polštářem, druhý a čtvrtý termočláanek (T6 a T8) byl mezi polštářem sedáku a opěrkami na ruce, třetí (T7) byl umístěn mezi zadním polštářem a opěrkou na záda, pátý (T9) byl na povrchu sedáku, umístěný uprostřed a šestý termočláanek (T10) byl umístěn na povrchu polštáře na zadním opěradle. Znázornění geometrie a rozmístění termočláanek je patrné z obrázku 3-22.

Následně byla uříznuta krychle z minerální vlny, která se namočila do cca 50 ml izopropanolu. Krychle byla položena v levém rohu mezi zadním opěradlem, opěrkou na ruce (u termočláanek T6) a zadním sedákem. Následně byla zapálena. Na obrázku 3-23a) vidíme připravené křeslo před počátkem zkoušky.

Z levého rohu se plameny postupně rozšířily na levou opěrkou na ruce a po celém povrchu sedáku, který se začal pomalu prohořívát. Ze sedáku se dále rozšířily na zadní opěrkou a následně i na pravou opěrkou na ruce. V tomto okamžiku, byla levá opěrkou úplně prohořelá, za ní následovalo prohoření i zadní opěrky spolu s pravou opěrkou. Plameny se následně rozšiřovali směrem dolů,

po celém křesle. Postupně docházelo k prohořívání materiálu po celém zbytku křesla, dokud nedošlo k degradaci celého křesla.



a) Sestava nábytku před počátkem zkoušky



b) Pozorování během průběhu zkoušky



c) Sestava nábytku před ukončením zkoušky



d) Sestava po ukončení zkoušky

Obrázek 3–23 Průběh požární zkoušky – Křeslo

3.6.3 Analýza výsledků

Analýza výsledků Na obrázku jsou vidět některé výsledky tohoto experimentu. Je evidentní, že v průběhu zkoušky došlo k postupné degradaci materiálů a ztrátě původní tvarové integrity. V důsledku toho došlo k postupnému odhoření veškerého materiálu.

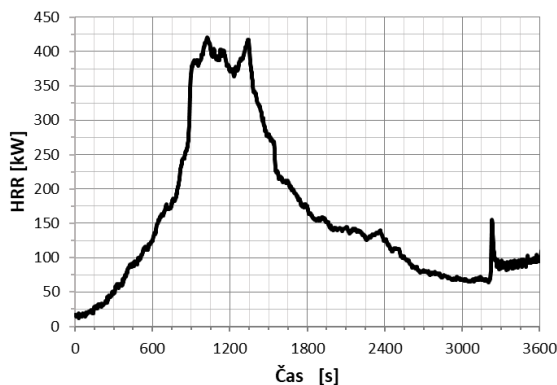
Experiment probíhal po dobu 3 600 sekund.

Nejvyšší naměřená teplota byla 543,9 °C v 1 041. sekundě na termočlánek T1. Tento termočlánek se nacházel vnitřní straně levého opěradla. K nejmenšímu nárůstu teploty došlo v termočlánek T4, který se nacházel ze spodní strany.

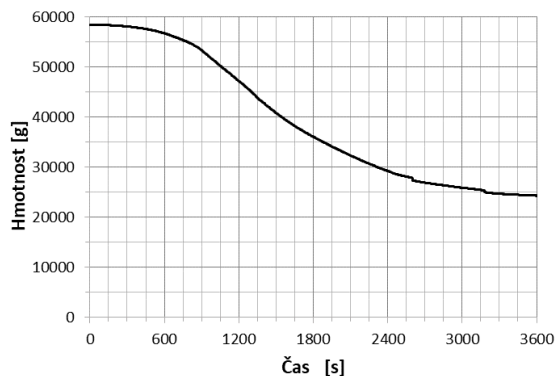
Graf průběhu výkonu požáru je znázorněn na obrázku 3–24 a). Od počátku zkoušky dochází k neustálému růstu výkonu požáru, dokud není dosaženo jeho nejvyšší hodnoty 420,52 kW v 1 026. sekundě.

Graf úbytku hmotnosti je na obrázku 3–24 b). Hmotnost pozvolna klesá do ukončení zkoušky. Po ukončení experimentu je zbývající hmotnost 21,58 kg.

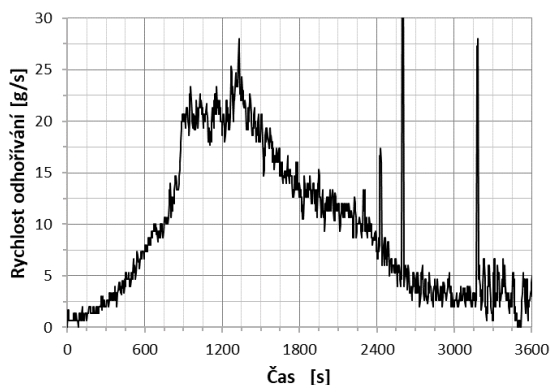
Rychlost odhořívání je vidět na posledním grafu obrázku 3–24. Z počátku rychlost odhořívání postupně roste, dokud nedosáhne své nejvyšší rychlosti 28 g/s v 1 332. sekundě. Následně dochází k poklesu rychlosti, v jehož průběhu dochází k občasným odchylkám, způsobených odpadáváním materiálu.



a) Výkon požáru



b) Úbytek hmotnosti



c) Rychlost odhořívání

Obrázek 3–24 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Křeslo

3.6.3.1 Porovnání s jinými databázemi

V kapitole 2.2.1 byly stručně popsány tři studie z odlišných zdrojů, které se zabývali podobnými křesly, jako je to z této práce. Pro všechny křesla jsou známy rozměry i váha. Křesla se liší ve svých fyzických vlastnostech, což může ovlivňovat jejich chování během požáru. Různá jsou i prostředí, ve kterých byly experimenty prováděny. Rozdíly v provedení požárních zkoušek měly vliv na jejich průběh i výsledky, což je důležité zohlednit při interpretaci výsledků.

Projekt od UC v rámci, kterého bylo provedeno několik experimentů s křeslem o stejných rozměrech, ale s rozdílnými materiály výplně křesla. Tyto experimenty byly provedeny v rámci nábytkového kalorimetru. Křeslo mělo rozměry 78 cm (výška) × 58 cm (šířka) × 76 cm (délka). Na obrázku 3–25 je graf zobrazující průběh HRR pro všechny provedené experimenty.

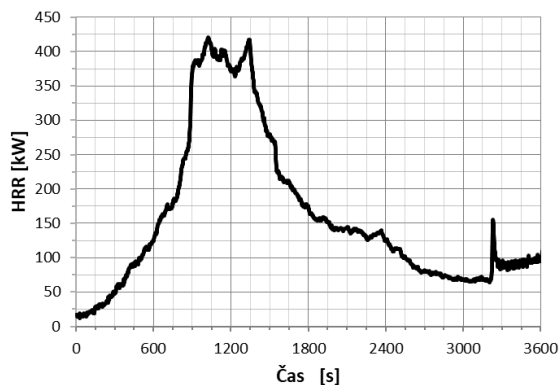
Vývoj křivky je velmi podobný tomu na obrázku 3–25a), avšak v případě židle z této práce trvala intenzivní fáze déle. Křesla z projektu od UC byla menších rozměru, a i menší váhy, což mohlo zapříčinit, že experiment trval výrazně kratší dobu. Maximální dosažená rychlost uvolňování tepla při pokusu je okolo 2 800 kW.

Ve studii od FSRI [23] byl vybraný experiment křesla proveden v rámci RCT uvnitř místnosti, v tomto konkrétním případě s otevřenými dveřmi. Křeslo mělo rozměry 87,5 cm (výška) × 75,5 cm (šířka) × 68,5 cm (délka) a počáteční hmotnost 20,6 kg. Křeslo bylo umístěno v uprostřed stěny naproti dveřím. Zdroj zapálení byl umístěn do levého rohu k opěrce na ruce. Graf s průběhem rychlosti uvolňování tepla je zobrazen na obrázku 3–25c). V tomto případě nastává podobná situace jako tomu bylo v kapitole 3.3.3.1. Požární zkouška byla ukončena mnohem dříve, než je tomu u křesla zkoušeného v této práci (Obrázek 3–25a). I navzdory zdlouhavějšího vzplanutí na počátku experimentu o několik vteřin, bylo maximální hodnoty dosaženo mnohem dříve, a i mnohem dříve došlo k ustupování požáru. Rozměry jsou si obě křesla podobná. Váhově je toto křeslo o více jak polovinu lehčí než křeslo řešené v rámci této práce.

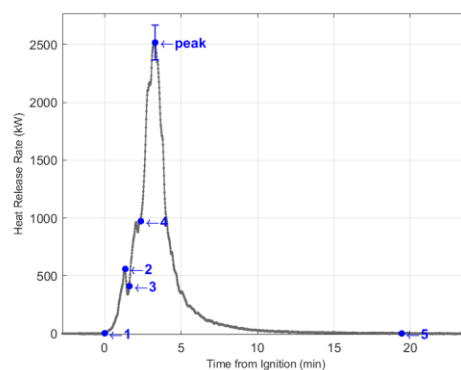
V databázi od NIST bylo rovněž provedeno více požárních zkoušek s křeslem. Tato měření probíhala v rámci open calorimetry. Křeslo mělo rozměry 132 cm (výška) × 100 cm (šířka) × 100 cm (délka). Průběh HRR je na obrázku 3–25b). V tomto případě došlo k okamžitému prudkému růstu rychlosti, až k dosažení maximální rychlosti. V případě křesla z této práce také došlo od počátku k rychlému růstu teploty, ale oproti křeslu v databázi od NIST byl růst poněkud pomalejší. Dalším rozdílem v průběhu HRR, je pokles po dosažení maxima, v případě pokusu od NIST došlo rapidnímu poklesu, ovšem při experimentu provedeném v této práci trvá něž, dojde k většímu poklesu. Maximální dosažená rychlost uvolňování tepla je okolo 2 500 kW.

V rámci databáze od Korea Institute of Construction Technology [22] byla, také provedena požární zkouška podobného křesla. Tato zkouška byla provedena v rámci RCT uvnitř místnosti s otevřenými dveřmi. V rámci této databáze nebyly k dispozici podrobnější informace o vývoji požáru či fyzikálních vlastnostech křesla. Maximální dosažená rychlost uvolňování tepla je 378,6 kW.

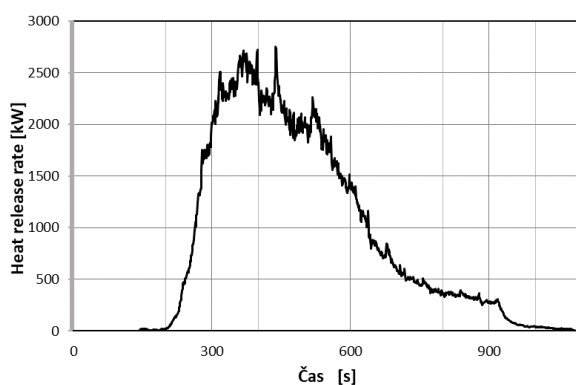
Při porovnání průběhu HRR mezi jednotlivými křesly lze vidět rozdíly v průběhu hoření a v odlišných hodnotách sledovaných parametrů. Tyto rozdíly jsou způsobeny rozdílnými metodami provedení experimentů, různými zdroji zapálení, ale i v rozdílnými rozměry a hmotnostmi zkoušených křesel.



a) HRR TV z této práce

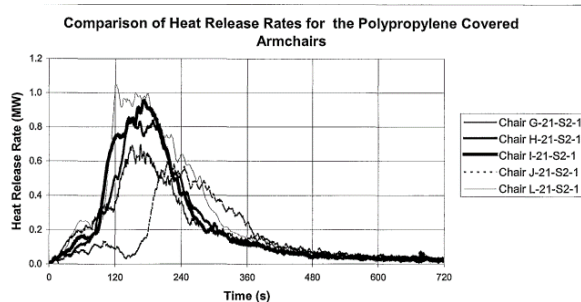


b) HRR křesla z database NIST



b)

c) HRR křesla z databaze FSRI



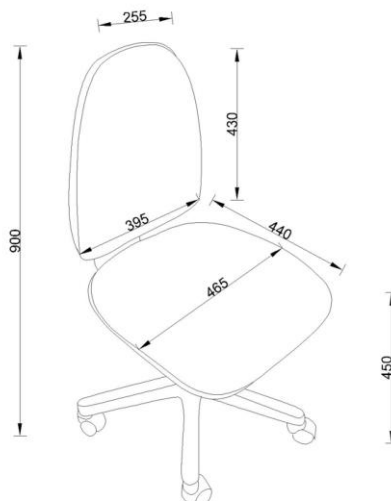
d) HRR křesla z database od UC

Obrázek 3–25 Grafy rychlosti uvolňování tepla - porovnání s jinými databázemi

3.7 Požární zkouška židle 1

3.7.1 Popis zkoušky

Židle měla rozměry 90 cm (výška) × 46,5 cm (šířka) × 44 cm (hloubka), přičemž výška je brána od základu židle k sedadlu, šířka je od vnějšího okraje opěrek paží a hloubka je od předního po zadní okraj sedáku. Hmotnost samostatné židle před začátkem experimentu byla 10,08 kg. Židle byla z molitanu a plastu.



Obrázek 3–26 Schématické znázornění – Židle 1

3.7.2 Průběh zkoušky

Na váhu byla nejprve položena minerální vlna, na kterou následně byla položena deska a až pak kancelářská židle. Pro zjištění přesného monitorování teploty během požární zkoušky byly na povrchu radiometru umístěny čtyři termočlánky se vzájemnou vzdáleností 25-25-25 cm, přičemž první termočlánek byl 25 cm nad sedákem. Radiometr byl umístěn ve vzdálenosti 1 m od židle. Radiometr byl schopen měřit a detekovat tepelný tok v rozmezích od 0-20 kW/m².

Následně byla uříznuta krychle z minerální vlny, která se namočila do cca 10 ml izopropanolu. Krychle byla položena uprostřed sedadla. Následně byl zapálen pomocí zapalovače v ní nasáklý izopropanol. Na obrázku 3–27 vidíme připravenou židli před počátkem zkoušky.

Požár se postupně rozšiřoval na zadní stranu sedáku a dále i na zadní opěrku. Z této části následně začali odpadávat kousky materiálů. To doprovází zřícení opěradla, kdy se plameny rozmístily nejdříve po jeho povrchu, přičemž odhořívá postupně materiál, dokud nedošlo k odpadnutí plastové části opěradla, která zbyla. To následuje odhořívání výplně podsedáku, doprovázené odkapáváním plastu a následné odpadnutí vnější vrstvy plastu zespodu sedáku. Pokračuje odkapávání plastu, což vede ke kompletnímu zborcení sedáku i koleček. Zborcená sestava se nakonec rozpustí, kromě stojící části nad kolečky.



a) Židle před počátkem zkoušky



b) Pozorování během průběhu zkoušky



c) Židle před ukončením zkoušky



d) Židle po ukončení zkoušky

Obrázek 3–27 Průběh požární zkoušky – Židle 1

3.7.3 Analýza výsledků

Na obrázku 3–28 jsou vidět některé výsledky tohoto experimentu. Je evidentní, že v průběhu zkoušky došlo k postupné degradaci materiálů a ztrátě původní tvarové integrity. V důsledku toho došlo k postupnému odhoření veškerého materiálu.

Experiment probíhal po dobu 1 900 sekund.

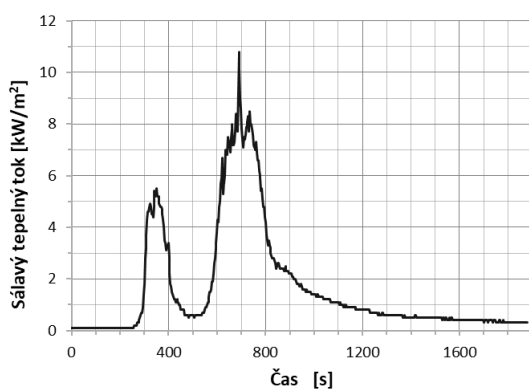
Průběh sálavého tepelného toku je zobrazen na obrázku 3–283–28a). Z počátku experimentu dosahuje tepelný tok stejných nízkých hodnot. V reakci na zvyšující se teplo, začne kolem 260. sekundy prudce stoupat, až dosáhne prvního vrcholu. Po dosažení tohoto bodu, se začne ochlazovat, což vede k prudkému poklesu sálavého tepelného toku. Po tomto ochlazení, znovu dochází ke zvyšování teplot a následnému strmému růstu sálavého toku, dokud není dosaženo jeho maxima $10,8 \text{ kW/m}^2$ v 690. sekundě. Následuje znovu ochlazení a s tím i razantní pokles

křivky. Ke konci experimentu dochází ke zpomalení klesání tepelného toku, a pomalými poklesy pomalu ustává, dokud není dosaženo nuly.

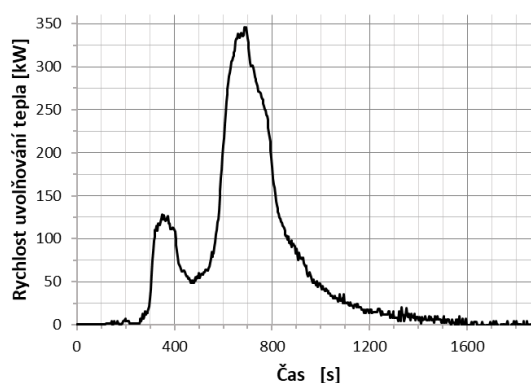
Průběh výkonu požáru je na obrázku 3–28b). Vývoj tohoto parametru je obdobný jako u sálavého tepelného toku. Na počátku zkoušky dochází k pomalému růstu výkonu, který se kolem 160. sekundy začne výrazně zvětšovat. Po dosažení prvního vrcholu, dojde ke snížení výkonu, načež výkon začne znovu růst, až dosáhne svého maxima 346,18 kW v 693. sekundě. Po tomto bodě, dochází opět ke strmému snížení výkonu.

Úbytek hmotnosti je viditelný z grafu na obrázku 3–28b). Z počátku dochází k rychlejšímu úbytku hmotnosti, oproti průběhu úbytku před ukončením zkoušky. Zbývající hmotnost po ukončení zkoušky je 5,06 kg.

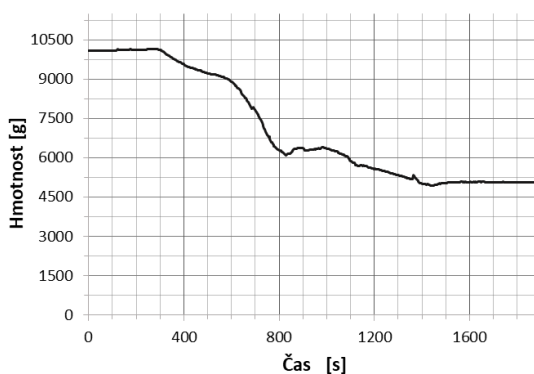
Průběh rychlosti odhořívání je zobrazen na obrázku 3–28d). Průběh tohoto parametru vykazuje cyklický charakter s oscilacemi mezi obdobím růstu a klesáním. Z počátku rychlost odhořívání pomalu zrychluje, až dosáhne bodu s nejvyšší rychlostí odhořívání 24,44 g/s při 734. sekundě. Následuje rapidní zpomalení rychlosti, které je následováno opětovným zrychlením. K neustále se opakujícímu klesání a následnému zrychlování rychlosti odhořívání materiálu dochází až do ukončení požární zkoušky.



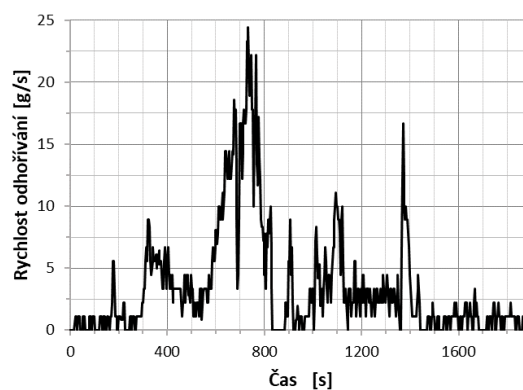
a) Sálavý tepelný tok ve vzdálenosti 1 m



b) Výkon požáru



c) Úbytek hmotnosti



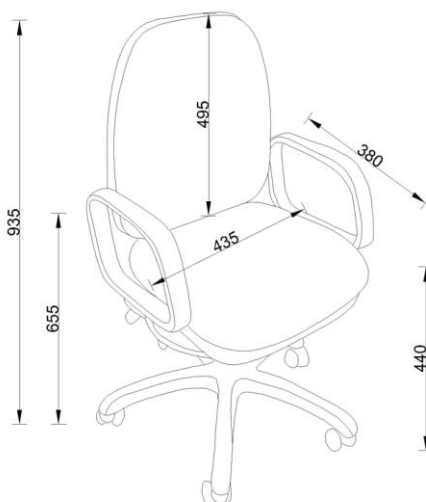
d) Rychlost odhořívání

Obrázek 3–28 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Židle 1

3.8 Požární zkouška židle 2

3.8.1 Popis zkoušky

Židle měla rozměry 93,5 cm (výška) × 43,5 cm (šířka) × 38 cm (hloubka), přičemž výška je brána od základu židle k sedadlu, šířka je od vnějšího okraje opěrek paží a hloubka je od předního po zadní okraj sedáku. Hmotnost samostatné židle před začátkem experimentu byla 14,28kg. Židle byla z molitanu a plastu.



Obrázek 3–29 Schématické znázornění – Židle 2

3.8.2 Průběh zkoušky

Na váhu byla nejprve položena minerální vlna, na kterou následně byla položena deska a až pak kancelářská židle. Pro zjištění přesného monitorování teploty během požární zkoušky byly na povrchu radiometru umístěny čtyři termočlánky se vzájemnou vzdáleností 30-35-25 cm, přičemž první termočlánek byl 10 cm sedákem. Radiometr byl umístěn ve vzdálenosti 1 m od židle. Radiometr byl schopen měřit a detekovat tepelný tok v rozmezích od 0-20 kW/m².

Následně byla uříznuta krychle z minerální vlny, která se namočila do cca 50 ml izopropanolu. Krychle byla položena uprostřed sedadla. Následně byla zapálen pomocí zapalovače v ní nasáklý izopropanol. Na obrázku 3–30 vidíme připravenou židli před počátkem zkoušky.

Požár se postupně rozšiřoval na opěradlo na levé straně a levou opěrku na ruce, doprovázené odkapáváním plastu. Následovalo rozšíření na opěradlo a sedadlo směrem k pravé opěrce. Celá horní část židle je pod plameny a docházelo k odkapávání plastu. Dojde ke zborcení opěradla následované zborcení celé židle a její postupné rozpuštění.



a) Židle před počátkem zkoušky



b) Pozorování během průběhu zkoušky



c) Židle před ukončením zkoušky



d) Židle po ukončení zkoušky

Obrázek 3–30 Průběh požární zkoušky – Židle 2

3.8.3 Analýza výsledků

Analýza výsledků Na obrázku 3–31 jsou vidět některé výsledky tohoto experimentu. Je evidentní, že v průběhu zkoušky došlo k postupné degradaci materiálů a ztrátě původní tvarové integrity. V důsledku toho došlo k postupnému odhoření veškerého materiálu.

Experiment probíhal po dobu 2 400 sekund.

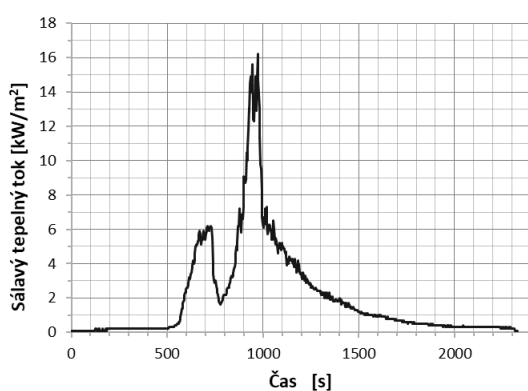
Průběh sálavého tepelného toku je zobrazen v grafu na obrázku 3–31a). Na počátku experimentu sálavý tepelný tok pomalu roste, okolo 550. sekundy začne rapidně růst, až dosáhne prvního vrcholu. Po tomto růstu následuje rychlé klesání, po kterém se začíná tepelný tok opět zvyšovat, dokud nedosáhne své nejvyšší hodnoty $16,2 \text{ kW/m}^2$ v 972. sekundě. Průběh pokračuje postupným poklesem, až do nulového sálavého tepelného toku.

V následujícím grafu na obrázku 3–31b) je znázorněn průběh výkonu požáru. Křivka má podobný průběh jako při průběhu sálavého tepelného toku. Nejdříve pomalu roste, následně dosáhne

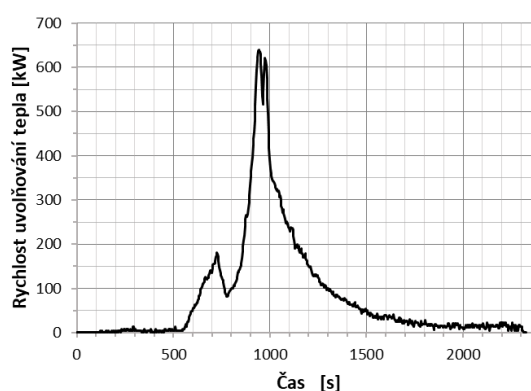
prvního vrcholu, poté začne klesat. Po určité době klesání se výkon začne strmě růst, dokud není dosaženo nejvyššího výkonu 639,54 kW v 942. sekundě. Po dosažení maxima, se výkon začne pomalu snižovat.

Úbytek hmotnosti v průběhu experimentu je vidět na obrázku 3–31c). Úbytek materiálu je z počátku pomalý. V době nejvyššího sálavého tepelného toku a výkonu požáru dojde k výraznějšímu úbytku hmotnosti. Po snížení těchto parametrů dochází znovu ke zpomalení úbytku. Po ukončení experimentu je hmotnosti 7,37 kg.

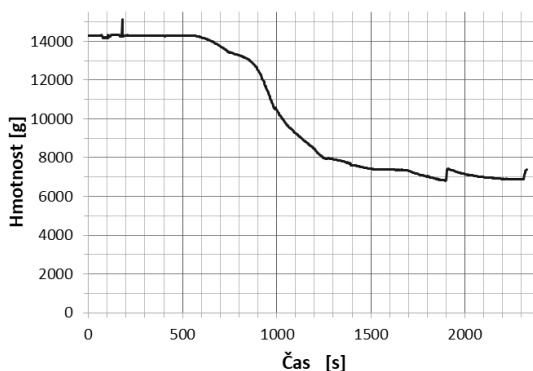
Rychlost odhořívání materiálu je znázorněna na posledním grafu obrázku 3–31d). Rychlost odhořívání je z počátku pomalá s malými výkyvy. Ve 182. sekundě dosáhne své nejvyšší rychlosti 149,44 g/s. Tento vysoký skok, je zapříčiněn odpadnutím materiálu během požáru. Následně se rychlost znovu vrátí k menším hodnotám, kdy v 963. sekundě je dosaženo druhé nejvyšší hodnoty 27,77 g/s. Po tomto zvýšení opět následuje klesání, až je dosaženo nulové rychlosti odhořívání ke konci zkoušky.



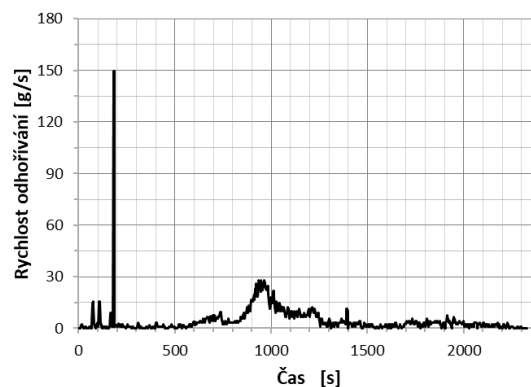
a) Sálavý tepelný tok ve vzdálenosti 1 m



b) Výkon požáru



c) Úbytek hmotnosti



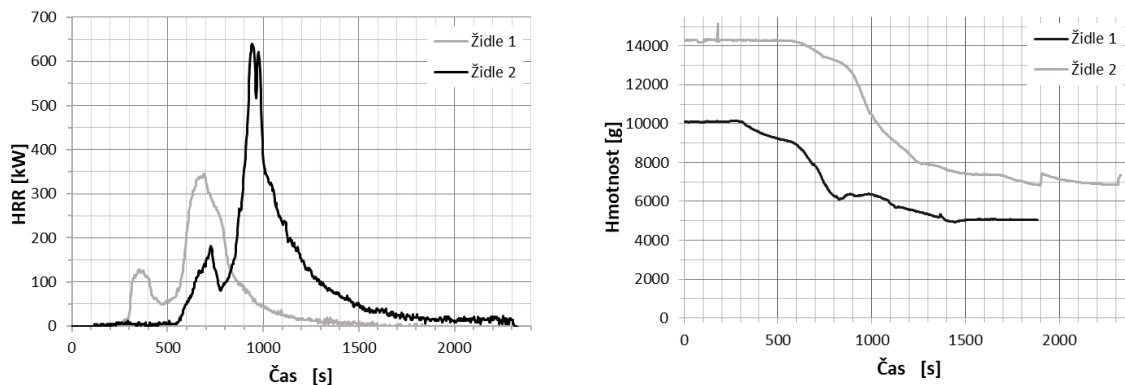
d) Rychlost odhořívání

Obrázek 3–31 Grafy znázorňující průběhy nejdůležitějších požárních parametrů – Židle 2

3.8.4 Porovnání experimentu Židle 1 s Židle 2

V porovnání s předchozím experimentem, kde předmětem zkoušky byla obdobná židle bez opěrek je patrné, že průběhy zkoušky jsou si velmi podobné. I přesto, jsou na první pohled patrné rozdíly v časech trvání obou zkoušek. Experiment, ve kterém byla spálena židle 1, trval kratší dobu. Rozdílný je také čas, který byl potřeba, než došlo k většímu rozšíření plamenů. V případě židle 1 došlo k vzplanutí kolem 250. sekund, oproti tomu u židle 2 větší vzplanutí nastalo až po 500. sekundě. Dalo by se tedy konstatovat, že židle 2 byla z materiálů obsahující zpomalovače hoření.

Podobná židle byla použita i v rámci databáze od Korea Institute of Construction Technology [22]. Bohužel tato databáze nebyla úplná a podrobnější informace nebyly k dispozici. Maximální rychlost uvolňování tepla byla v tomto případě 563,8 kW. Při porovnání této hodnoty s nejvyšší dosaženou při experimentech židle 1 a židle 12 se dá uvažovat, že židle byla s obdobných materiálů s podobným průběhem uvolňování tepla.



a) Výkon požáru

Obrázek 3–32 Porovnání průběhů nejdůležitějších požárních parametrů – Židle 1 a Židle 2

3.9 Shrnutí výsledků

V následující tabulce jsou shrnuty maximální dosažené hodnoty nejdůležitějších požárních parametrů – rychlost uvolňování tepla, sálavý tepelný tok, rychlost odhořívání.

Tabulka 3–2 Přehled nejvyšších dosažených hodnot hlavních požárních parametrů

Experiment	HRR [kW]	Sálavý tepelný tok [kW/m ²]	Rychlost odhořívání [g/s]	Zdroj zapálení
Sestava 1	106,94	0,60	3,33	Minerální vata + izopropanol
Zbytek sestavy 1	297,48	2,50	19,00	Plynový hořák
Sestava 2	213,14	4,80	16,66	Plynový hořák
Dvojkřeslo	634,30	14,90	49,33	Minerální vata + izopropanol
Postel s matrací	394,40	5,30	92,66	Minerální vata + izopropanol
Matrace	313,68	4,60	17,77	Minerální vata + izopropanol
Křeslo	420,52	-	28,00	Minerální vata + izopropanol
Židle 1	346,18	10,80	24,44	Minerální vata + izopropanol
Židle 2	639,54	16,20	27,77	Minerální vata + izopropanol

Předměty vykazovaly různé chování v průběhu zkoušek, v závislosti na svém tvaru, materiálu, váze a rozměru, způsobu zapálení. Nejvyšší rychlosti uvolňování tepla bylo dosaženo v případě dvojsedačky a křesla. U těchto dvou experimentů dosahují i ostatní sledované parametry vyšších hodnot oproti ostatním předmětům.

4 Závěr

Stanovení parametrů požáru zařizovacích předmětů je důležité pro efektivní vyšetřování požáru nebo pro modelaci požáru. V této oblasti v posledních letech došlo k pokroku, zároveň by však bylo vhodné současné databáze rozšířit z hlediska materiálů a výrobků. Základními parametry, které by se měli zohlednit, jsou tepelný tok, rychlost uvolňování tepla, úbytek hmotnosti v čase, rychlost odhořívání. Jak již bylo zmíněno i přes to, že je k dispozici značné množství studií, článků či databází, je jejich rozsah omezený a obsahuje především starší data. Je proto třeba zdůraznit, že rozsáhlejší a aktuálnější databáze by umožnili větší přesnost při vyšetřování vzniku a průběhu požáru a jejich následné modelaci.

Z provedených experimentálních měření je zřejmé, že na průběh požáru má vliv několik faktorů, mezi které lze zařadit umístění požáru, způsob iniciace, materiál předmětů. Primárním rozdílem mezi provedenými experimenty, které byly součástí této práce je zdroj počátku požáru. Příkladem mohou být experimenty týkající se sestavy, kdy se jako důležitý ukázal zdroj zapálení, umístění zdroje zapálení, ale i odvětrání. Tyto zmíněné parametry ovlivňovali průběh i ve zbývajících experimentech provedených v rámci této práce.

Obecně lze říci, že existuje mnoho faktorů, které ovlivňují průběh požáru. Každé provedené měření bude mít jiné výsledky v závislosti na těchto faktorech. Je tedy velmi obtížné přesně specifikovat průběh požáru s absolutní jistotou

Tato diplomová práce byla součástí úvodní fáze výzkumu projektu „BV MV Inovace a rozvoj nástrojů v oblasti zjišťování příčin vzniku požárů VJ01010046“. V rámci této diplomové práce se podařilo provést několik požárních experimentů jednotlivých kusů nábytku, nacházejících se v obvyklém hotelovém pokoji. Byla sesbírána a zaznamenána hlavní data ke každé provedené požární zkoušce.

V dalších fázích výzkumu bude možné využít zaznamenaná data. Následně se zaměřit na porovnání nasbíraných dat z této práce s výstupy velkorozměrové požární zkoušky celého hotelového pokoje a zhodnotit jejich podobnost.

Literatura

- [1] HOFMANN, Anja, Andrea KLIPPEL, Tanja GNUTZMANN, Sven KAUDELKA a Frederik RABE. Influence of modern plastic furniture on the fire development in fires in homes: large-scale fire tests in living rooms. *Fire and Materials* [online]. 2021, 45(1), 155–166. ISSN 0308-0501, 1099-1018. Dostupné z: doi:10.1002/fam.2934
- [2] LENKA HADINGEROVÁ. *Toxické zplodiny hoření při nedostatečném přísunu vzduchu*. Praha, 2023. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Katedra konstrukcí pozemních staveb.
- [3] FILIPI, Bohdan. *Nauka o materiálu*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2003. ISBN 978-80-86634-11-1.
- [4] HUGGETT, Clayton. Estimation of rate of heat release by means of oxygen consumption measurements. *Fire and Materials* [online]. 1980, 4(2), 61–65. ISSN 0308-0501, 1099-1018. Dostupné z: doi:10.1002/fam.810040202
- [5] LINDHOLM, JOHAN, ANDERS BRINK A MIKKO HUPA. *Cone Calorimeter – A Tool for Measuring Heat Release Rate* [online]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/242266790_CONE_CALORIMETER_-_A_TOOL_FOR_MEASURING_HEAT_RELEASE_RATE
- [6] KARLSSON, Björn a James G. QUINTIERE. *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. Environmental and energy engineering series. ISBN 978-0-8493-1300-4.
- [7] NAJMANOVÁ, Hana, Petr HEJTMÁNEK a ŠEVČÍK Libor. *Rychlost uvolňování tepla jako parametr pro hodnocení chování materiálu při požáru*. [online]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/clanky/rychlost-uvolnovani-tepla-jako-parametr-pro-hodnoceni-chovani-materialu-pri-pozaru_42776-html/
- [8] DENIZE, Hamish. The Combustion Behaviour of Upholstered Furniture Materials in New Zealand [online]. 2000. Dostupné z: doi:10.26021/3165
- [9] HURLEY, Morgan a SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS, ed. *SFPE handbook of fire protection engineering*. Fifth edition. New York Heidelberg Dordrecht: Springer, 2016. ISBN 978-1-4939-2564-3.
- [10] BLOMQVIST, P. a M. SIMONSON-MCNAMEE. Large-scale generation and characterisation of fire effluents. In: *Fire Toxicity* [online]. B.m.: Elsevier, 2010, s. 461–514. ISBN 978-1-84569-502-6. Dostupné z: doi:10.1533/9781845698072.4.461
- [11] SUNDSTRÖM, Björn, Patrick VAN HEES a Per THURESON. *Results and analysis from fire tests of building products in ISO 9705, the Room/Corner Test*. Borås, Sweden: Swedish National Testing and Research Institute, 1998. ISBN 978-91-7848-716-5.
- [12] HANSEN, Anne Steen a Per Jostein HOVDE. Prediction of time to flashover in the ISO 9705 room corner test based on cone calorimeter test results. *Fire and Materials* [online]. 2002, 26(2), 77–86. ISSN 0308-0501, 1099-1018. Dostupné z: doi:10.1002/fam.788
- [13] ISO 9705-1:2016(E). *Reaction to fire tests — Room corner test for wall and ceiling lining products — Part 1: Test method for a small room configuration*. Geneva, Switzerland: ISO copyright office, 2016.

-
- [14] PATRIK JOHANSSON, JESPER AXELSSON, a TOMMY HERTZBERG. The influence of floor materials in room fires. nedatováno. ISSN 0284-5172.
- [15] MAYFIELD, Christopher a Danny HOPKIN. *Design fires for use in fire safety engineering*. Bracknell: IHS BRE Press, 2011. FB / BRE Trust, 29. ISBN 978-1-84806-152-1.
- [16] Fire Calorimetry Database (FCD). *NIST* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.nist.gov/el/fcd>
- [17] *FireBID* [online]. Dostupné z: <http://www.firebid.umd.edu/burning-item-database.php>
- [18] CLEARY, Thomas G., Thomas J. OHLEMILLER a Kay VILLA. The influence of ignition source on the flaming fire hazard of upholstered furniture. *Fire Safety Journal* [online]. 1994, 23(1), 79–102. ISSN 03797112. Dostupné z: doi:10.1016/0379-7112(94)90063-9
- [19] CARTER, Marcus. SP Fire Research. *Fire Safety Search* [online]. 23. březen 2017. Dostupné z: <https://www.firesafetysearch.com/sp-fire-research/>
- [20] THOMPSON, Andre L., Ickchan KIM, Anthony HAMINS, Matthew BUNDY a Mauro ZAMMARANO. Performance and failure mechanism of fire barriers in FULL-SCALE chair mock-ups. *Fire and Materials* [online]. 2022, 46(1), 329–346. ISSN 0308-0501, 1099-1018. Dostupné z: doi:10.1002/fam.3007
- [21] HIETANIEMI, Jukka, Johan MANGS a Tuula HAKKARAINEN. *Burning of electrical household appliances: an experimental study*. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 2001. ISBN 978-951-38-5802-5.
- [22] KWEON, Oh-Sang, Yong-Ho YOO, Heung-Youl KIM a Young-Soo LIM. The Study on Fire Characteristics of Furniture. *Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference*. 2009, 379–384.
- [23] WILLI, Joseph, Daniel MADRZYKOWSKI, Mark MCKINNON a Nicholas DOW. Experimental data from compartment fires with gas burner and upholstered furniture fuels. *Data in Brief* [online]. 2023, 47, 108934. ISSN 23523409. Dostupné z: doi:10.1016/j.dib.2023.108934
- [24] DENIZE, Hamish. The Combustion Behaviour of Upholstered Furniture Materials in New Zealand [online]. 2000. Dostupné z: doi:10.26021/3165