

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta bezpečnostního inženýrství**

**Katedra požární ochrany**

**Měření fyzikálního modelu požáru v požárně  
technické komoře**

**Student:**

**Vedoucí diplomové práce:**

**Studijní obor:**

**Datum zadání diplomové práce:**

**Termín odevzdání diplomové práce:**

**Bc. Edita Bohuslavová**

**Ing. Petr Kučera, Ph.D.**

**TPO a BP**

**30. listopadu 2009**

**30. dubna 2010**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracovala samostatně.

V Ostravě 30. 4. 2010

.....

Edita Bohuslavová

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Kučerovi, Ph.D., za cenné rady, informace a připomínky, které mi poskytl a pracovišti Provoz laboratoří a výpočetní techniky, za velkou pomoc při realizaci měření v požárně technické komoře.

## **Anotace**

BOHUSLAVOVÁ, E. *Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře.*

Diplomová práce.: VŠB-TU Ostrava, 2010. 65 s.

V této diplomové práci je řešena problematika dynamiky požáru v uzavřeném prostoru, respektive v požárně technické komoře na Fakultě bezpečnostního inženýrství. Vlastní práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část, kde v teoretické části jsou uvedeny zásady průběhu rozvoje v uzavřeném prostoru a dále je zde popsán způsob provedení a vybavení této komory a jsou stanoveny základní vlastnosti zkušebního materiálu a podpalovací tekutiny. V praktické části je vymezena metodika měření, popsán průběh měření a jsou vyhodnoceny jednotlivé naměřené veličiny. V závěru je upozorněno na zjištěné nedostatky a navržena možná opatření a doporučení pro další měření v této komoře.

## **Klíčová slova**

Dynamika požáru, fyzikální model, měření, požárně technická komora, požár v uzavřeném prostoru.

## **Annotation**

BOHUSLAVOVÁ, E. *Measurements of Physical Model of a Fire in the Fire-Technical Room.* Diploma thesis, Ostrava: VSB-TU, 2010. 65 p.

This thesis deals with the issues of the dynamics of a fire in an enclosed space or in the fire-technical room at the Faculty of Safety Engineering. The work itself is divided into theoretical and practical parts where in the theoretical part the principles of the course of the development in an enclosed space are introduced and further, the way of designing and furnishing the chamber is described and the essential characteristics of the tested material and ignition liquids. In the practical part, the measurement methodology is defined, the course of the measurement is described and the individual quantities measured are assessed. In the conclusion, it is pointed out at the discovered imperfections and possible measures and recommendations for further measurements in this chamber are proposed.

## **Key words**

Dynamic fire, physical model, measurements, Fire-technical room, fire in an enclosed space.

# **OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>REŠERŠE</b> .....	<b>2</b>
<b>1 DYNAMIKA POŽÁRU V UZAVŘENÉM PROSTORU</b> .....	<b>4</b>
1.1 TEPLOTNÍ PRŮBĚH POŽÁRU.....	4
1.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ROZVOJ POŽÁRU V UZAVŘENÉM PROSTORU .....	7
1.3 CHARAKTERISTICKÉ DĚJE PROBÍHAJÍCÍ PŘI POŽÁRU V UZAVŘENÉM PROSTORU .....	9
1.3.1 <i>Plamenné a bezplamenné hoření</i> .....	9
1.3.2 <i>Změna teploty požáru</i> .....	10
1.3.3 <i>Přenos tepla při požáru</i> .....	10
1.3.4 <i>Výměna plynů při požáru</i> .....	11
1.3.5 <i>Úbytek hmotnosti</i> .....	12
<b>2 POŽÁRNĚ TECHNICKÁ KOMORA</b> .....	<b>13</b>
2.1 POPIS KOMORY .....	13
2.2 ŘEŠENÍ NUCENÉHO VĚTRÁNÍ V KOMOŘE.....	13
2.3 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ KOMORY .....	14
2.3.1 <i>Měření teploty</i> .....	14
2.3.2 <i>Měření atmosférického tlaku</i> .....	15
2.3.3 <i>Měření optické hustoty kouře</i> .....	15
2.3.4 <i>Měření koncentrace plynů</i> .....	16
2.3.5 <i>Měření průtoku plynů v přívodním a odvodním potrubí</i> .....	17
2.3.6 <i>Měření tepelného toku</i> .....	17
2.3.7 <i>Vážení vzorku a měření hmotnostního úbytku</i> .....	19
2.3.8 <i>Zaznamenávání času a sběr informací</i> .....	19
<b>3 ZKUŠEBNÍ MATERIÁL</b> .....	<b>21</b>
3.1 DŘEVO .....	21
3.1.1 <i>Chemické složení dřeva</i> .....	21
3.1.2 <i>Fyzikální vlastnosti dřeva</i> .....	21
3.1.3 <i>Mechanické vlastnosti dřeva</i> .....	22
3.1.4 <i>Tepelné vlastnosti dřeva</i> .....	22
3.1.5 <i>Chování dřeva za zvýšených teplot</i> .....	25
3.2 TECHNICKÝ LÍH .....	26
3.2.1 <i>Fyzikální a chemické vlastnosti technického lihu</i> .....	27
3.2.2 <i>Oxidace etanolu</i> .....	27
<b>4 MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍHO MODELU POŽÁRU</b> .....	<b>28</b>
4.1 ÚVODNÍ INFORMACE .....	28
4.2 METODIKA MĚŘENÍ .....	31
4.2.1 <i>Příprava měření</i> .....	33
4.2.2 <i>Činnost při průběhu měření</i> .....	33
4.2.3 <i>Činnost po ukončení měření</i> .....	34
4.3 PRŮBĚH MĚŘENÍ .....	35
4.3.1 <i>Změna výšky plamene a poloměru požáru v čase</i> .....	35
4.3.2 <i>Změna fyzikálních veličin při požáru</i> .....	41
<b>5 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ</b> .....	<b>50</b>

5.1	CHYBY MĚŘENÍ .....	50
5.2	NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	51
5.3	CHYBY PŘÍSTROJŮ UDÁVANÉ VÝROBCI .....	54
5.4	STANOVENÍ NEJISTOT MĚŘENÍ .....	55
<b>6</b>	<b>SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>56</b>
6.1	ZJIŠTĚNÉ NEDOSTATKY A DOPORUČENÍ MOŽNÝCH OPATŘENÍ PRO DALŠÍ MĚŘENÍ.....	56
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>59</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>60</b>

# Úvod

Požár je děj silně interaktivní povahy. Může nás překvapit kdykoliv a kdekoliv. Ničí vše, co mu přijde do cesty. Bezprostředně ohrožuje životy osob a zvířat, může znečišťovat životní prostředí a zasáhnout naše obydlí i majetek. Proto je důležité snažit se o tomto živlu získat co nejvíce informací a tyto informace neustále prohlubovat. Potřebné informace získáváme z již proběhnuvších požárů, ale i z požárních zkoušek. Důležité je také pochopení fyzikálně chemických dějů, které při požáru probíhají. Ty jsou důležité pro odhadování průběhu požáru a následnou lokalizaci a likvidaci.

Velký vliv na průběh požáru a následný vývin zplodin má složení přítomných hořlavých látek a oxidačních prostředků. V současné době je trend používání stále více hořlavin (nových i starých) ve všech sférách života. Tím rovněž roste riziko vzniku požáru. Proto také při zkouškách musíme požární zatížení a složení zkoušeného materiálu těmito trendům přizpůsobit. Čím více zkoušek bude provedeno, tím je větší předpoklad, že se dozvíme, jak se požár bude chovat.

Provádění zkoušek v požární komoře je omezené plochou, odolností stavebních konstrukcí, množstvím zkoušeného materiálu a také teplotní odolností měřících přístrojů. Proto je nutné upravit množství hořlavin pravděpodobnému průběhu požáru a nárůstu teploty, aby nedošlo k poškození přístrojů nebo stavebních konstrukcí. Pro odhad vývoje je vhodné rovněž využívat matematického modelování. Pomocí modelování simulujeme požár o určitém tepelném výkonu a následný vývin teplot a kouře. Díky tomu můžeme zjistit maximální množství zkoušeného materiálu, které lze v komoře použít.

V diplomové práci bude nastíněna problematika průběhu požáru v uzavřeném prostoru a s ním spojenými ději. Pro zkoumání těchto dějů je technická komora na Fakultě bezpečnostního inženýrství vybavena přístroji, se kterými budeme v práci seznámeni. Dále budou řešeny fyzikální a chemické vlastnosti zkušebního materiálu, kterým je dřevo a technický líh, a jejich chování za zvýšených teplot.

V komoře budou provedeny požární zkoušky. Při nich budou změřeny jednotlivé požární charakteristiky, jako jsou např. nárůst teploty, zplodiny kouře a jejich složení, optická hustota kouře, hmotnostní úbytek a další. V závěru práce bude zhodnocen průběh měření, zhodnoceny nedostatky, které se objevily, vyhodnoceny výsledky naměřených hodnot, doporučena další možná měření v komoře a budou navrženy pracovní postupy pro práci s používanými přístroji.

## Rešerše

Problematikou požárně technické komory se zabývá diplomová práce Lukáše Foukala, navrhující její přístrojové vybavení a projektová dokumentace od firmy MARPO. Pro podrobnou analýzu problematiky, kterou diplomová práce řeší, existuje mnoho literárních zdrojů. Proto jsem se snažila vybrat pouze ty nejdůležitější.

Jako nejstěžejnější publikaci považuji knihu od Björna Karlssona a Jamese Quintiere *Enclosure fire dynamics*. Tato kniha řeší problematiku dynamiky požáru v uzavřeném prostoru. Další publikace se již týkají pouze dílčích částí práce. K přístrojovému vybavení jsou hlavní literárními zdroji manuály od firem distribuujících přístroje, kterými je komora vybavena.

**Balog, K., Kvarčák, M.: *Dynamika požáru*. SPBI. Ostrava 1999. ISBN 80-86111-44.**

- Publikace řeší problematiku dynamiky požáru. Charakterizuje požár a podmínky jeho vzniku, rozvoje a plného rozvinutí. Dále se zabývá možnostmi přerušení hoření a dalšími jevy, které požáry doprovázejí a to jak na otevřeném prostranství, tak v uzavřených prostorech. Také předkládá návody na kvantifikaci některých parametrů požáru.

**Firma MARPO s.r.o. *Projektová dokumentace*. 2005.**

- Část projektové dokumentace firmy MARPO, která řeší provedení požárně technické komory po rekonstrukci pavilonu C na Fakultě bezpečnostního inženýrství. Jsou zde uvedeny rozměry jednotlivých stavebních částí komory, základní technické informace, odvod spalin a použité stavební materiály.

**Foukal, L.: *Přístrojové vybavení požárně technické komory laboratoře požárně bezpečnostního zařízení*. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava. 2008. 40 s.**

- Tato diplomová práce se zabývá problematikou požárního zkušebnictví a principy měření veličin spojených s požárem. Dále se věnuje popisu požárně technické komory a návrhu jejího přístrojového vybavení nacházející se v budově Fakulty bezpečnostního inženýrství.

**ISO 9705:1993 – *Fire test – Full – scale room test for surface products*. Ženeva. ISO 1993.**

- Zkušební metodika, která simuluje požár ve skutečném měřítku. Hodnotí se zde vývoj požáru při specifickém zdroji zapálení. Zkouška je prováděna s otevřeným dveřním



otvorem v místnosti o rozměrech 3,6 x 2,4 x 2,4 metrů. Tato metoda nám poskytuje informace o jednotlivých fázích požáru od zapálení po flashover.

**Karlsson, B., Quintiere, J. G.: *Enclosure Fire Dynamics*. London: CRC Press LLC, 2000. ISBN 0-8493-1300-7.**

- Tato kniha se zabývá chováním požáru v uzavřeném prostoru a s tím spojenou problematikou hoření. V závěru je řešena problematika modelování požáru pomocí počítačových programů a přehled významných programů.

**OMEGA: *Váš zdroj informací o měření a regulaci!* [online]. c1995-2010 [cit. 2010-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/>>.**

- Tyto webové stránky poskytují informace o měřicích přístrojích, které jsou použité v požárně technické komoře a principy jejich funkce.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 1 Dynamika požáru v uzavřeném prostoru

Požár je nežádoucí hoření. Jedná se o nestacionární jev doprovázený řadou fyzikálních a chemických procesů. Mezi tyto děje patří především difuze látek k mezifázovému rozhraní, zachycení látek (adsorpce) na mezifázovém rozhraní, chemická reakce, uvolnění produktů z mezifázového rozhraní a difuze produktů od mezifázového rozhraní. Tyto jevy spolu souvisejí a určitým způsobem ovlivňují rozvoj a průběh požáru. Praktické poznatky dokazují, že nikdy nemohou existovat dva shodné požáry, to znamená se stejnou situací a průběhem. Vlastní rozvoj reakcí hoření je limitován především difusními pochody, které ovlivňují tvorbu hořlavé směsi a odvod produktů hoření do okolí. Ke vzniku požáru je potřeba, aby byly k dispozici hořlavá látka, oxidační prostředek (ty spolu vytvářejí hořlavý soubor) a iniciační zdroj s dostatečnou energií k zapálení hořlavého souboru [7].

Průběh požáru je do značné míry ovlivňován tím, zda požár probíhá v uzavřeném prostoru nebo na volném prostranství. Uzavřený prostor je prostor ohraničený stavebními konstrukcemi a průběh požáru je závislý na přítomnosti, velikosti a umístění přírodních a odvodních otvorů. Na volném prostranství hrají velkou roli především přírodní vlivy (vítr, déšť, atd.).

Vzhledem k řešené problematice v diplomové práci, se dále budu věnovat pouze dynamice požáru v uzavřeném prostoru.

### 1.1 Teplotní průběh požáru

Teplotní průběh požáru závisí na řadě vlivů, jako jsou teplota okolí, okolnosti zahřívání a hromadění tepla v prostředí hořlavých látek. Ke vzniku požáru je nutné, aby bylo hořlavé látce dodáno dostatečné množství energie. Díky ní se z látky uvolní hořlavé plyny a páry, které se vzduchem tvoří hořlavou směs. Aby tento proces samovolně pokračoval a došlo k rozvoji požáru, je nutné, aby se z pevných a kapalných hořlavých materiálů kontinuálně uvolňovaly další páry a plyny. Proces hoření je tedy limitován nejen množstvím a druhem hořlavé látky a koncentrací oxidačního prostředku, ale také okolnostmi na místě jeho vzniku.

Průběh požáru lze rozdělit na několik fází [6]:

- iniciace (vznik) požáru,

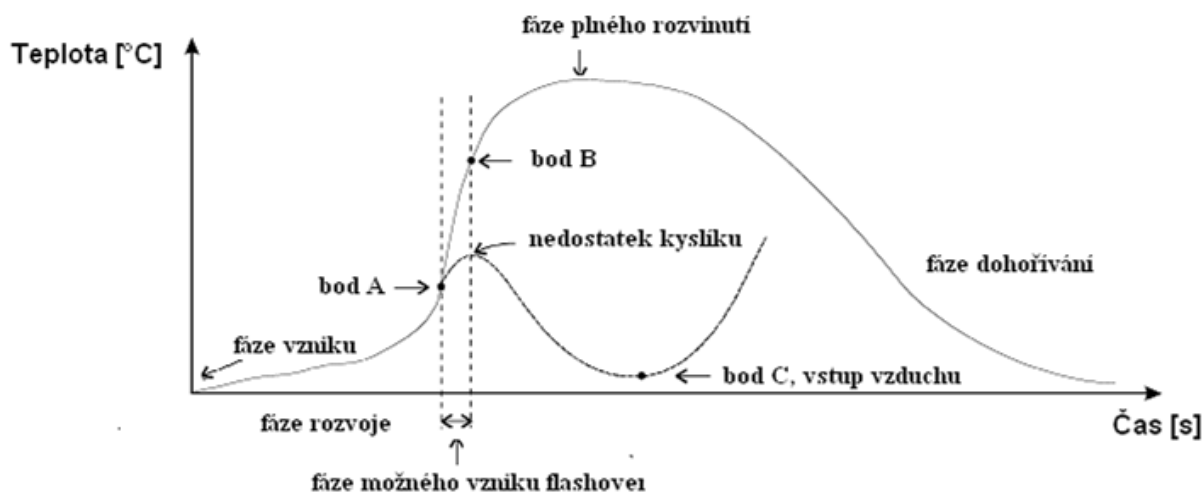
- rozvoj požáru,
- flashover (celkové vznícení hořlavých látek),
- plně rozvinutý požár,
- dohořívání.

Ke vzniku procesu hoření může docházet v důsledku iniciace vnějším zdrojem sálavého tepla, nebo vnějším zdrojem zapálení (plamenem, jiskrou), nebo bez účinku vnějšího zdroje (samovznícením, chemickou reakce). Při tomto procesu musí být materiál zahřátý na kritickou degradační teplotu a hořlavé produkty se musí uvolňovat dostatečně rychle při současném vytváření hořlavé směsi. Jedná se vlastně o exotermickou reakci charakterizovanou zvyšováním teploty materiálu nad teplotu okolí. Výsledkem iniciace může být plamenné nebo bezplamenné hoření (žhnutí, tlení).

Po iniciaci hořlavého materiálu pokračuje proces propagace pouze tehdy, pokud je v prostoru dostatečné množství oxidačního prostředí a jsou zajištěné podmínky pro vznik hořlavých plynů a par. Díky tomu se požár rozšiřuje a nastává fáze rozvoje požáru. Plameny se postupně šíří, materiál vyhořívá, uvolňuje se teplo a produkty hoření a dochází k zapalování dalších přítomných látek. Požár se stále vyvíjí a je podřízený nejen druhu a množství přítomného paliva, ale také uspořádání prostoru a množství oxidačního prostředí. Vlivem hoření dochází k uvolňování tepelné energie, různých druhů plynů (toxických i netoxických) a nespálených pevných zbytků. Horké plyny v plameni jsou obklopeny studenými plyny. Díky rozdílné hustotě plynů, nebo spíše vztlaku, stoupají horké plyny vzhůru a způsobují nasávání chladnějších plynů (větší hustota) do zóny vytvořené těsně nad hořícím povrchem paliva při plamenném hoření. Vzniklá směs produktů hoření a vzduchu stoupá a naráží na strop. Tím se prostor rozdělí na dvě vrstvy na horní teplou a spodní studenou vrstvu (tvořenou okolním vzduchem). Vlastnosti plynů ve vrstvách se mění v čase, ale zároveň se předpokládá, že jsou uvnitř každé vrstvy shodné.

Do horní horké vrstvy je nadále nasáván vzduch z nižší vrstvy a přenáší ho směrem ke stropu. Tím horní horká vrstva zvětšuje svůj objem a rozhraní mezi vrstvami klesá směrem k podlaze. V důsledku toho vzrůstá v prostoru teplota a procesy přenosu tepla se zrychlují. Teplo je z horké plynné vrstvy přenášeno radiací a konvekcí ke stropu a ke stěnám, které jsou v kontaktu s horkými plyny. Také je vyzařováno směrem k podlaze a spodním částem stěn a část je absorbována okolním vzduchem. Přenos tepla se zde již neuskutečňuje jen od plamenů, ale také od teplé horní vrstvy.

Pokud dochází k intenzivnímu přenosu tepla na okolní předměty a oheň se nadále rozrůstá, nastává děj nazývaný *flashover* (*celkové zapálení prostoru*). Teplota v horní vrstvě stoupá a dosahuje velmi vysokých hodnot. Z horní vrstvy probíhá radiace směrem k dalším hořlavým látkám. To může mít za výsledek, že v jednom okamžiku je iniciován veškerý hořlavý materiál a velice rychle vzrůstá množství uvolněné energie. Jedná se vlastně o velmi rychlý přechod od fáze rozvoje požáru k fázi plně rozvinutému požáru. To znamená, že se požár mění z poměrně neškodného stavu do stavu děsivé síly a ničení. Jakmile je na obr. 1-1 dosaženo bodu B (plně rozvinutý požár), nastává flashover. Kritéria daná pro definování flashover obvykle vyžadují, aby teplota v prostoru dosahovala 500 – 600 °C, nebo hustota tepelného toku směrem k podlaze byla 15 – 20 kW/m<sup>2</sup>, nebo se objevily plameny v otvorech uzavřeného prostoru [6].



Obr. 1-1: Průběh požáru

Ve fázi plně rozvinutého požáru dosahuje energie uvolněná v uzavřeném prostoru nejvyšších hodnot. Často je limitována dostupností oxidovadla, proto se také říká, že je řízena ventilací. Nespálené plyny se mohou shromažďovat v úrovni podstropní vrstvy, a pokud projdou otvory, pak hoří a skrze otvory šlehají plameny. Během této fáze dosahuje teplota v uzavřeném prostoru hodnot v rozsahu 700 – 1200 °C [6].

Fáze, ve které postupně dochází ke spotřebování paliva, klesá množství uvolněné energie a tím také klesá průměrná teplota v prostoru, se nazývá *fáze dohořívání*. Požár zde může přejít z řízeného ventilací na řízený palivem. Končí okamžikem trvalého poklesu teplot, kdy už většina hořlavin vyhořela.

V případě, že v uzavřené místnosti jsou pouze malé nebo žádné otvory, horká vrstva se brzy sníží k oblasti plamenů a nakonec plamen udusí. Na obr. 1-1 je pro další průběh křivky

požáru důležitý bod A. Z něj se křivka dělí na dva případy (dvě křivky). V prvním případě má požár dostatek hořlavé směsi a oxidačního prostředku (horní křivka). V druhém případě není k dispozici dostatek oxidačního prostředku – to má za následek zpomalení rychlosti uvolňování tepla, proces pyrolýzy však může velmi intenzivně pokračovat a tím se v prostoru akumulují nespálené plynné produkty. Jestliže v tomto okamžiku dojde k prasknutí oken, nebo hasiči vytvoří otvor, začne do místnosti proudit vzduch, který způsobí buď snížení tepelné zátěže, nebo nárůst množství uvolněné energie. Požár pak může přerůst ve flashover, nebo v horším případě se vzduch smísí s produkty téměř uhasínající ohně a jakýkoliv zdroj iniciace, může iniciovat zbývající hořlavý soubor. To vede k explozivnímu, nebo velmi rychlému hoření v blízkosti oken (neprobíhá v celém objemu). Jedná se o velmi nebezpečný jev nazývaný *backdraft* (na obr. 1-1 jde o křivku vedoucí z bodu C) [6, 7].

## 1.2 Faktory ovlivňující rozvoj požáru v uzavřeném prostoru

Rozvoj požáru v uzavřeném prostoru může ovlivňovat řada faktorů. Některé se týkají přímo uzavřeného prostoru, další paliva. Jedná se především o:

- velikost a umístění iniciačního zdroje,
- typ, množství, umístění, velikost, orientaci a povrchovou plochu palivového zdroje,
- geometrii uzavřeného prostoru,
- velikost a umístění otvorů v prostoru,
- materiálové vlastnosti hraničního prostoru [6].

Jako *iniciační zdroj* může působit jiskra s velmi malým obsahem energie, horký zahříváný povrch nebo plamen. Zdrojová energie je buď chemická, elektrická nebo mechanická. Čím větší je iniciační zdroj, tím rychlejší je následný nárůst požáru palivového zdroje. Inicie jiskrou nebo např. cigaretou vede často k bezplamennému hoření. Okamžik, než se objeví plameny, může trvat dlouhou dobu. Protože většinou tvoří nízké teploty, je toto hoření doprovázeno velkým množstvím toxických plynů. Při iniciaci řízeným plamenem, dochází obvykle k plamennému hoření. Velkou roli hraje také umístění iniciátoru. Umístění ve spodní části, způsobí mnohem rychlejší rozvoj požáru.

Jedním z hlavních faktorů ovlivňující rozšíření požáru, je *druh a množství hořlavého materiálu (druh paliva)*. V uzavřených prostorech jsou palivem obvykle pevné materiály převážně interiérového vybavení. Těžký dřevěný nábytek způsobuje mnohem pomalejší

rozvoj požáru, ale požár dosahuje větších rozměrů. Oproti tomu požár nového moderního plastového nábytku má velmi rychlý rozvoj. Rychlý nárůst je mnohem nebezpečnější než velký požár. Také záleží na umístění zdroje paliva, zda je umístěn v blízkosti stěn nebo v prostoru místnosti. V prostoru je umožněn lepší přístup studeného vzduchu než u stěn. Důležité jsou také rozestupy mezi zdroji paliva. Ty do značné míry ovlivní, jak rychle se požár šíří. Mnohem rychleji se šíří plameny vertikálně než plameny šířící se horizontálně. Proto rovněž záleží na tom, zda jsou stěny a stropy obloženy hořlavými materiály. To také může způsobit rychlý rozvoj požáru. Zdroj paliva s velkou povrchovou plochou hoří rychleji než srovnatelný zdroj s malou plochou. To znamená, že velké množství tyčí bude hořet rychleji než samostatný kus dřeva o stejné hmotnosti.

Rozvoj požáru ovlivňuje i *geometrie uzavřeného prostoru*. Jestliže požár probíhá v malé místnosti, způsobí poměrně vysoké teploty a prudce narůstá. Hoří-li ve velkém prostoru palivo o stejné velikosti, vzniknou nižší teploty plynu a trvá delší dobu, než dojde k zakouření. Rozhodující je také výška místnosti a plocha podlahy. Čím menší je plocha a výška místnosti, tím rychleji dojde k zakouření. U nízkého stropu hrozí také to, že se po něm mohou šířit plameny, a tím se zvýší zpětná vazba na palivo a hořlavé látky. Zároveň je vyšší přenos tepla k palivu. V místnostech s vysokým stropem a velkou půdorysnou plochou podlahy dochází k rozvoji požáru spíše radiací z ohně na další přítomné hořlavé materiály, tam hraje důležitou roli i rozmístění těchto předmětů. V případě, kdy má prostor velkou plochu podlahy ale nízký strop, může být zpětná vazba z horké vrstvy a stropních plamenů velice intenzivní v blízkosti zdroje požáru. Horká vrstva tím, že nasává studený vzduch, nezahřívá strop, a proto je tepelné proudění směrem k hořlavým materiálům v počátečním stádiu nižší, než proudění tepla ve větší blízkosti k zdroji požáru.

Pokud hoří v místnostech střední velikosti, které jsou *uzavřené* nebo mají pouze velice *malé otvory*, požár začne mít velice brzy nedostatek kyslíku a může sám uhasnout, nebo pokračovat ve velmi pomalém hoření. Během fáze rozvoje požáru mohou hrát otvory roli pro odvod horkých plynů. To se děje jen v případě, kdy jsou díky jejich výšce a umístění horké plyny účinně odstraňovány z uzavřeného prostoru. Pak dojde ke snížení zpětné termální vazby k palivu a požár pomaleji narůstá. *Velikost, tvar a umístění otvorů* jsou důležité v případě, když je požár řízen ventilací (přítomností kyslíku). Je dokázáno, že síla hoření je usměrňována množstvím vzduchu, který může proudit do místnosti.

*Materiál ohraničující plochy* uzavřeného prostoru může ovlivňovat teplotu horkých plynů a tím i teplotní proudění k hořícímu palivu a dalším hořlavým látkám. Je tedy důležité, jaké vlastnosti tyto materiály mají. Rozhodujícími vlastnostmi jsou jejich vodivost, hustota

a tepelná kapacita. Společně jsou nazývány jako teplotní netečnost. Čím je hodnota teplotní netečnosti nižší, tím do sebe materiály přijímají méně tepla (izolační materiály). Velké množství tepla do sebe absorbují např. beton nebo cihly [6].

### **1.3 Charakteristické děje probíhající při požáru v uzavřeném prostoru**

Během rozvoje požáru dochází ke změně některých parametrů požáru. Během požáru dochází k uvolňování tepla a nárůstu teploty, vznikají produkty hoření a nespalitelné zbytky a zároveň se postupně zapaluje povrch hořlavých látek. Jednotlivé tyto děje budou podrobněji popsány níže.

#### **1.3.1 Plamenné a bezplamenné hoření**

Obvyklým projevem hoření látek je plamen. Ten může být velice rozdílný. Při hoření se můžou vyskytovat plameny svítivé a nsvítivé. Při požáru má plamen zásadní vliv na jeho rozvoj a následnou likvidaci.

*Nesvítivý plamen* se objevuje při hoření čistých látek a to především u plynů. Při záření plynů dochází k vyzařování a pohlcování v celém objemu a oproti záření pevných látek má výrazně selektivní charakter. Hlavní roli mezi produkty hoření mají například oxid uhličitý a vodní pára. Ty jsou základními prvky všech přírodních hořlavin.

*Svítivý plamen* se při požárech vyskytuje mnohem častěji. Objevuje se, pokud dochází k spalování látek různého složení a skupenství, které obsahují uhlovodíky. Při hoření uhlovodíků vznikají žlutavě svítící plameny. K tomu dochází díky rozzhaveným částicím uhlíku. V důsledku rozpadu hořlavých látek vodík oxiduje rychleji a nespálené meziprodukty jsou obohacovány uhlíkem. Záření vzniklé od těchto částic může dosahovat mnohem větších hodnot, než záření vzniklé z čistých plynů.

V plameni jsou při požáru dále obsaženy částice popela, prachu a dalších nespalitelných látek. Během zkoušky můžeme plamen sledovat přes pozorovací průzory. Jimi vidíme změnu jeho výšky, barvu, jas, atd.

*Bezplamenné hoření* může probíhat dvěma způsoby tlením nebo žhnutím. Ty často probíhají současně. Během tohoto hoření se tvoří kouř. Pokud je vzniklý kouř hořlavý, může bezplamenné hoření přejít v hoření plamenné.

### 1.3.2 Změna teploty požáru

Vývoj požáru je značnou měrou ovlivňován teplotou v prostoru hoření. Změnou teploty jsou ovlivňovány vlastnosti hořících látek a stavebních hmot, zrychlují se procesy hoření a pro zasahující požární jednotky je obtížnější provádět záchranné a likvidační práce. V budovách se jako teplota požáru považuje střední hodnota teploty směsi zplodin hoření se vzduchem. Hodnota teploty požáru se v prostoru a čase neustále mění. Její určení je velice obtížné, protože je ovlivňována mnoha faktory. Velikost teploty se mění v závislosti na tom, v jaké výšce a vzdálenosti je od probíhajícího požáru měřena.

Požární komora je pro sledování teplot při prováděných zkouškách vybavena termočlánky. Ty jsou rozmístěny na stěně a na stopě a to v přesně stanovených výškách a vzdálenostech. Popis termočlánků je v kapitole 2.3.1.

### 1.3.3 Přenos tepla při požáru

K přenosu tepla může při požáru docházet třemi základními způsoby a to vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a zářením (radiací). U požáru se obvykle setkáváme se všemi těmito způsoby.

K *vedení tepla* dochází v pevných, kapalných a plynných látkách v čisté formě pouze pokud je vliv pohybu částic zanedbatelný. *Tepelné proudění* je možné jen u kapalin a plynů, protože je spojen s vnějším pohybem hmotného prostředí. V čisté formě neexistuje. Pokaždé je doprovázeno vedením tepla. Jeho hodnota je závislá na fyzikálních vlastnostech tekutiny, jejich změně s teplotou, tvaru obtékaného tělesa a směru proudění vzhledem k jeho proudění. Vždy je ovlivněna tloušťkou mezní vrstvy a někdy také rychlostí proudění. *Přenos tepla zářením* nevyžaduje hmotné prostředí. Uskutečňuje se pomocí elektromagnetického vlnění vznikajícího v důsledku tepelného stavu těles. Během dopadu na povrch jiných těles, nebo při průchodu jinými tělesy se často zářivá energie mění zpět na tepelnou energii. Energie, kterou tělesa vyzařují, prudce vzrůstá s jejich teplotou. Tento typ přenosu tepla se často podílí na vzniku a šíření požáru, a proto má pro požární ochranu velký význam. Proto je požárně technická komora vybavena radiometrem. Radiometr je přístroj sloužící k měření tepelného záření vzniklého při požáru. Jeho popis je uveden v kapitole 2.3.6.



### 1.3.4 Výměna plynů při požáru

#### *Kouř*

Během hoření se vytvářejí produkty nebo zplodiny hoření a tuhé spaliny. Jedná se o plyny, páry nebo také tuhé látky (např. saze). Procesem hoření vznikají také nespálené zbytky jako např. popel. V důsledku zvýšené teploty a proudění plynů se uvádějí do pohybu drobné částičky tuhých hmot, které se dále mísí se vzduchem. Tuto směs pak nazýváme kouř. V kouři jsou také obsaženy dusík, oxid uhličitý, oxid uhelnatý a další oxidy, vodní pára, uhlík a další. Mnoho produktů hoření je toxických (oxid uhelnatý, oxid siřičitý, oxid fosforečný, a další). Přítomnost oxidu uhelnatého v kouři značí, že probíhá nedokonalé hoření za nedostatku kyslíku. Obsah některých plynů ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  a  $\text{O}_2$ ) vzniklých v průběhu požáru vyhodnocuje analyzátor plynů. Popis je v kapitole 2.3.4.

Množství tuhých částic má vliv na optickou hustotu kouře neboli průzračnost. Optická hustota kouře je proměnná v závislosti na schopnosti látky produkovat při hoření pevné částice (saze) a také v závislosti na velikosti výměny plynů. Vlivem kouře dochází ke snížení obsahu kyslíku v prostoru a v důsledku vysoké teploty a obsahu agresivních složek může kouř poškozovat a znehodnocovat přítomné materiály a konstrukce. Látky mají během hoření charakteristickou barvu, vůni nebo chuť kouře.

Požární komora je opatřena přístrojem pro měření optické hustoty kouře. Jeho popis je proveden v kapitole 2.3.3.

#### *Proudění plynů při požáru*

V průběhu požáru vznikají zplodiny hoření a uvolňuje se teplo. Vzniklé zplodiny způsobují nárůst tlaku plynů tím, že tvoří větší objem než původní hořlavá látka. Také s rostoucí teplotou se zvyšuje tlak vzduchu a zplodin hoření. Mezi prostorem hoření a okolním prostředím tak dochází k vyměňování tepla a plynů. Tato výměna je závislá především na situaci na místě požáru a klimatických podmínkách.

Při požáru v uzavřených prostorech dochází vlivem rostoucí teploty ke stoupání zplodin ke stropu. Zde se tyto zplodiny hromadí. S rozvojem požáru se jejich množství zvětšuje a prostor je zaplňován kouřem. Mezi zakouřenou částí a čistým prostředím vzniká tzv. neutrální rovina. Na počátku hoření se neutrální rovina nachází u stropu, ale se zvyšováním teploty a objemem kouře postupně klesá směrem k podlaze a zvětšuje se tlak plynů v místnosti. Tento tlak je rozdílný od tlaku vyskytujícího se ve venkovním prostředí. V důsledku rozdílu mezi místností zasaženou požárem a venkovním prostorem dochází

k proudění plynů přes otvory. U stropních otvorů uniká kouř ven (tlak uvnitř je vyšší) a u otvorů umístěných u podlahy je vzduch přiváděn do místnosti (tlak uvnitř je nižší). U požárů v uzavřených prostorech je výměna plynů velice složitá. Je závislá na řadě faktorů jako např. výška místnosti, počet, velikost a rozmístění otvorů.

Měření průtoků plynů v přívodním a odvodním potrubí je prováděno pomocí Prandtlových trubic. Jejich popis je v kapitole 2.3.5. Měření atmosférického tlaku je realizováno snímačem tlaku, který je popsán v kapitole 2.3.2.

### **1.3.5 Úbytek hmotnosti**

Vlivem působení tepla na pevné materiály dochází k degradaci, která je spojená s úbytkem hmotnosti. Úbytek hmotnosti hořlavé látky v časové závislosti vyjadřuje rychlost hoření. Ta je definována jako množství tuhé a kapalné hořlavé látky, které shoří z jednotkové plochy za časovou jednotku. U hořlavých plynů tato rychlost udává objemové množství látky, které shoří za jednotku času.

Úbytek hmotnosti v požární komoře je zjišťován pomocí váhy, na které je zapalovaný vzorek umístěn. Popis tohoto zařízení je proveden v kapitole 2.3.7.

## 2 Požárně technická komora

Požárně technická komora (dále jen komora) se nachází ve 3. patře pavilonu C, v místnosti C310 na Fakultě bezpečnostního inženýrství VŠB-TU Ostrava. Jedná se o atypickou místnost k provádění požárních zkoušek. Její atypičnost je dána především jejími rozměry. Nejedná se o laboratoř odpovídající zkušebním normám ani o laboratoř pro provádění velkorozměrových zkoušek.

### 2.1 Popis komory

Půdorys komor je čtvercového tvaru o vnějších rozměrech 3000 mm a světlé výšce 3000 mm. Původní světlá výška je 3150 mm, ta však byla snížena pomocí závěsného stropu. Jedná se o závěsný systém od firmy FunderMax s názvem Alucompactplatten schwarzer Kern. Pravděpodobná odolnost tohoto systému je EI 30. Tuto hodnotu však nelze ověřit z důvodu chybějící dokumentace. Stěny komory jsou tvořené šamotovými cihlami C30 300/150/65 mm o tloušťce 150 mm a spojené šamotovou maltou. Podlaha je upravena keramickou dlažbou. Uprostřed je osazena kanálkem, který slouží pro odvod vody. Pro snazší údržbu jsou stěny obloženy keramickým soklem o výšce 100 mm. Vstup do komory je zajištěn jednokřídlými ocelovými protipožárními dveřmi opatřenými samozavíračem s požární odolností EW 30 DP1-C. Ve zbylých stěnách jsou umístěny kovové pozorovací otvory. V každé stěně jsou 2 a to o rozměrech 1200/1500 mm a 1250/250 mm. Tyto otvory jsou protipožárně zasklené drátěným sklem s požární odolností EW 30 DP1. V současné době jsou provizorně zakryté sádkartonem. V sádkartonu je na pravé i levé straně z pohledu od dveří vytvořen pozorovací otvor. Na pravé straně je tento otvor osazen křemičitanovým sklem a na levé je bez zakrytí. Uprostřed místnosti je pod stropem ve výšce 2460 mm nataženo nezavodněné potrubí o vnitřním průměru 20 mm. Toto potrubí je opatřené sprinklerovou hlavicí a napojené na rozvod vody. Přesný půdorys komory je zobrazen na obr. A-1 v příloze A [2].

### 2.2 Řešení nuceného větrání v komoře

Z komory mohou být zplodiny odváděny pomocí ventilátoru (typu TRM 20 ED) vybaveného regulací výkonu (3 rychlosti regulace), který je určený pro odsávání spalin pomocí přívodního a odvodního potrubí a je umístěn na střeše objektu. Do odsávacího potrubí

je vsazena klapka pro vysoké teploty umožňující ruční nastavení průtoku vzduchu. Odsávání spalin je prováděno jednorázově po ukončení měření.

Navržený odsávací průtok je  $1000 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ . Nasávání vzduchu je uskutečňováno podtlakově a nasávací potrubí ústí nad střechu objektu. Také v tomto potrubí je instalována ruční uzavírací klapka pro vysoké teploty. Přívodní a odvodní potrubí vzduchu jsou svařená z ocelových trubek o průměru  $219 \times 6,3 \text{ mm}$ . Na vstupu jsou potrubí vybavena ochrannými mřížkami. Provedení vzduchového potrubí je zobrazeno pomocí řezu obrázkem A-1 na obr. A-2 v příloze A [2].

## **2.3 Přístrojové vybavení komory**

Nedílnou součástí komory je její přístrojové vybavení. Rozmístění přístrojů v komoře je znázorněno v příloze C na obr. C-1. Pomocí tohoto vybavení měříme veličiny spojené s požárem. Jde např. o nárůst teploty, vývin spalin a jejich chemické složení, optickou hustotu kouře, hmotnostní úbytek materiálů a další. Jednotlivé použité přístroje v komoře jsou popsány v následující části.

### **2.3.1 Měření teploty**

Měření teploty je prováděno pomocí termočlánků. Termočlánek je snímač pro měření teploty, který sestává ze dvou různorodých kovů spojených do jednoho bodu. Pokud je tento spoj kovů zahříván nebo chlazen dochází ke vzniku napětí vztaženého k teplotě. Termočlánek je k dispozici v různých kalibracích a kombinacích kovů. Pro každou kalibraci jsou dány teplotní rozsah a určité pracovní podmínky. Teplota je také závislá na průměru termočlánekového drátu. Tenčím drátem nedosáhneme plného rozsahu teploty. Teplotní rozsahy, přesnosti běžných termočlánků a závislosti na průměru drátu a opláštění jsou zobrazeny v příloze B.

V komoře je používán termočlánek typu K. Maximální měřicí rozpětí má od  $-200 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $1250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Standardní přesnost tohoto typu termočlátku je více než  $2,2 \text{ }^\circ\text{C}$  nebo  $0,75 \%$  a výběrová přesnost je více než  $1,1 \text{ }^\circ\text{C}$  nebo  $0,4 \%$ . Kladný drát je vyrobený z litiny niklu a chromu a záporný z litiny niklu a hliníku. Termočlánek jsou spojené s měřicí ústřednou ALMENO 5690-2, s jejíž pomocí zobrazujeme naměřené teploty ve stupních Celsia. Tyto hodnoty můžeme ukládat buď na paměťovou kartu, nebo do paměti připojeného počítače [23].

Termočlánky jsou v komoře umístěné u stěny na ocelovém nosníku a pod stropem (na úchytech), kde jsou rozmístěné ve výškách a vzdálenostech podle zkušební normy ISO 9705 [4] viz. příloha C. V komoře jsou dále nataženy kontrolní termočlánky a to pod váhou, u detekční části přístroje na měření optické hustoty kouře a u radiometru (opět typu K).

### **2.3.2 Měření atmosférického tlaku**

V laboratoři je atmosférický tlak měřen snímačem atmosférického tlaku typu FDA 612 SA. Měřicí rozsah snímače je 700 až 1050 mbar. Celkový rozsah je od 0 do 1050 mbar. Přesnost snímače je  $\pm 0,5$  % z rozsahu. Teplotní rozsah, při kterém je snímač schopen plnit funkci, je od - 10 do 60 °C. Čidlo je zapojeno přímo do ústředny ALMENO 5690-2, kde dochází k vyhodnocování naměřených dat. Hodnoty tlaku jsou uváděny v milibarech [9].

### **2.3.3 Měření optické hustoty kouře**

Měření optické hustoty kouře je prováděno Fotometrem 2008 COOL od firmy ID LAB Praha. Tento přístroj se skládá z modulovaného optického zdroje, synchronního detektoru záření a řídicí jednotky. Detektor a zdroj světla mají zvýšenou odolnost, díky tomu jej můžeme použít přímo v komoře. Dále je zařízení vybaveno ofukováním okének stlačeným vzduchem, aby nedocházelo k usazování nečistot na jejich povrchu, a je napojeno na rozvod vody pro jeho ochlazování. Přístroj je odolný prostředí, kde je trvale teplota 150 °C [14].

Principem přístroje je měření intenzity světla, která projde ze zdroje záření do detektoru. Měří tedy útlum světla mezi světelným zdrojem a detektorem. Velikost intenzity světla je uváděna v lineárních jednotkách (arbitrary units). Přístroj měří pouze relativní změnu intenzity, jako je optická hustota. Po nastavení příslušné reference je možné intenzitu zobrazovat v logaritmických jednotkách (dB).

Jako zdroj světla slouží v přístroji halogenová žárovka o příkonu 10 W a barevné teplotě 2400 K. Zdroj světla je usměrňován pomocí optické soustavy do kolimovaného svazku o průměru 25 mm. Světlo ze zdroje je modulováno pomocí mechanického přerušovače [14].

Detektorem v tomto zařízení je velkoplošná křemíková PIN fotodioda, ve které je umístěn filtr pro korigování spektrální citlivosti na citlivost oka. U detektoru je dále zabudován předzesilovač detektoru s možností zesílení přes 4 dekadické řády. Jsou zde také dva elektronické filtry a to rychlý a pomalý filtr snižující šum signálu. Rychlý filtr slouží pro

měření nestabilních měřících hodnot a pomalý filtr pro ustálené stavy optické hustoty. Dále je možné do dráhy světelného svazku vkládat optické filtry.

Vyhodnocovací jednotka zobrazuje naměřené veličiny na velkém LCD displeji. Pomocí tlačítek této jednotky je ovládán celý přístroj. Jednotka účinně filtruje nežádoucí světelné pozadí a omezuje teplotní a další nestability a to díky tomu, že pracuje na principu synchronní detekce.

Celkový rozsah zařízení je 5 dekadických řádů. Rozsah měření optické hustoty je tedy 0 až 5. Linearita vyhodnocovací jednotky je 2 % z rozsahu. Povolená vzdálenost mezi zdrojem a detektorem je 0 až 5 m. Maximální hodnota nastavení tlaku vzduchu pro ofukování okének je 1bar a průtoku chladicí vody je 5 l/min [14].

### **2.3.4 Měření koncentrace plynů**

Vyhodnocování obsahu plynů v průběhu zkoušky je prováděno pomocí analyzačního systému pro měření oxidu uhelnatého, uhličitého a kyslíku. Tento systém je tvořen zařízením předúpravy vzorku a analyzační skříň s analyzátozem Teledyne 7500. Pro odstraňování pevných částí ze vzorku je na vstupu z tepelné komory umístěn vyhřívaný filtr. Za ním je umístěna pro odstraňování vlhkosti ze vzorku vymrazovací jednotka. Maximální teplota vzorku pro vymrazovací jednotku je 200 °C. Vzniklý kondenzát je pomocí peristaltického čerpadla odváděn do odpadní nádoby [12].

Analyzační skříň je vybavena výkonným čerpadlem, které transportuje vzorek přes odběrové místo do koalescenčního filtru. Ten odstraňuje případné zbytky vody a částice prachu. Odběrné místo je uzavřené pomocí jehlového ventilu, jímž lze provádět regulaci průtoku. Za čerpadlem je provedeno rozvětvení snižující dobu odezvy, takže pouze část vzorku vstupuje do analyzátoru.

Analyzátor Teledyne 7500 měří koncentrace CO a CO<sub>2</sub> metodou nedisperzního infračerveného záření a O<sub>2</sub> paramagnetickým senzorem. Pomocí ventilů je možné přepínat vzorek, kalibračního a nulového plynu. Jako nulovací plyn je používán N<sub>2</sub> (přibližně 99,99 %), proplachový plyn je N<sub>2</sub> nebo jiný inertní plyn, kalibrační plyn je směs plynů CO 4,56 obj. %, O<sub>2</sub> 4,63 obj. %, CO<sub>2</sub> 17,96 obj. % a N<sub>2</sub> 72,85 obj. %. Na čelním panelu jsou koncentrace plynů zobrazované v obj. %. Uváděná přesnost přístroje je ± 1 % z celkové škály [11].

Odběrová sonda, která nasává směs plynů a odvádí je do analyzátoru plynů a k jednotlivým sensorům, je umístěna na levé stěně (z pohledu od dveří) ve výšce 1,744 m.

Analyzátor je propojen analogovými výstupy na měřicí ústřednu ALMENO 5690-2. Na ústředně jsou pak výstupy zobrazeny v miliampérech.

### **2.3.5 Měření průtoku plynů v přívodním a odvodním potrubí**

Měření průtoku plynů v přívodním a odvodním potrubí je prováděno pomocí dynamických rychlostních sond AIRFLOW tzv. Prandtlových trubice. Touto trubicí měříme tlakový rozdíl neboli diferenční tlak trubice. Jedná se o tenkou dvouplášťovou trubku z ušlechtilé oceli obrácenou ústím vnitřní trubky proti směru proudění plynu a s dalším otvorem ve stěně trubky kolmým ke směru proudění plynu. Při měření se využívá rozdílu celkového (dynamického a statického) a statického tlaku. Vnitřní trubice slouží ke snímání celkového tlaku a vnější ke snímání statického tlaku. Celkový tlak lze změřit přímo pomocí diferenčního manometru. Statický tlak je definován jako složka celkového tlaku kolmá na směr pohybu proudící tekutiny. Tento tlak má stejnou hodnotu ve všech bodech měřícího průřezu.

S trubicí o průměru 4 mm je možné měřit při teplotách do 450 °C, krátkodobě do 550 °C a s trubicí o průměru 8 mm lze měřit do 680 °C. Díky tomu je lze použít pro měření průtoků plynů ve spalínách. Jsou určeny pro měření rychlostí v rozsahu od 5 m/s do 50 m/s při nejistotě 3 %. Při měření je nutné, aby diferenční tlak byl větší než 5 Pa a čelní plocha sondy mířila proti proudu plynu s maximální odchylkou  $\pm 10^\circ$ . Chyby způsobené nerovnoměrným měřením je možné zmírnit metodou síťového měření [13].

Rychlost přiváděného vzduchu do komory je měřen Prandtlovou trubicí typu FD 99 1254 VA o průměru 4 mm a snímačem diferenčního tlaku typu FDA 602 S1K. Rychlost odváděných spalín je měřena Prandtlovou trubicí typu FD 99 1296 VA o průměru 8 mm a snímačem diferenčního tlaku FDA 602 S1K. Obě Prandtlovy trubice jsou napojeny pomocí čidla na měřicí ústřednu ALMENO 5690-2, která zobrazuje jimi naměřené hodnoty.

Naměřenými průtoky plynů se při vyhodnocování měření nebudu zabývat, protože naměřené hodnoty nemohly být ověřeny. Komora je však dynamickými rychlostními sondami vybavena.

### **2.3.6 Měření tepelného toku**

Pro měření tepelného toku je používán snímač tepelného toku neboli radiometr. Jedná se o vodou chlazený senzor tepelného toku podle Smidt-Boeltera SBG01. Slouží k měření

tepelného toku z ohně a plamenů v rozsahu až  $200 \text{ kW/m}^2$ . V komoře je použit radiometr s rozsahem  $50 \text{ kW/m}^2$ . Snímač se skládá ze snímače tepelného toku s určitou teplotní charakteristikou, na němž jsou umístěné termočláňkové senzory, které vyhodnocují teploty na povrchu destičky z obou stran, vodního chlazení a připojovacího kabelu. Pomocí termočláňkových senzorů pak sensor generuje výstupní napětí úměrné příchozímu toku. Přednostně jsou snímače určeny do prostředí, kde je dominantní záření (radiace). Proto by aplikace v prostředí s velkým prouděním měla být provedena velmi opatrně. Jednotlivé typy čidel se liší v pracovním rozsahu, citlivosti a dobou odezvy.

Voda pro chlazení radiometru je dodávána přímo z vodovodního potrubí. Její teplotní rozsah by měl být v rozsahu  $5$  až  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Proudění chladicí kapaliny má být větší než  $10 \text{ l/hod}$ , nejlepší je však  $30 \text{ l/hod}$  a tlak  $3 \text{ bar}$ , což odpovídá vodě dodávané přímo z vodovodu. Doba odezvy je menší než  $250 \text{ ms}$ . Maximální rozsah radiometru je  $150 \%$  z pracovního rozsahu. Jeho teplotní závislost je menší než  $0,1 \%$  /  $^\circ\text{C}$ . Zorné pole senzoru je  $180$  stupňů. Emisivita je větší než  $0,95$  [10].

Měření pomocí senzorů tepelného toku podléhá chybám. Základní kalibrace je prováděna v plném rozsahu přístroje. Počáteční kalibrační přesnost je  $\pm 3 \%$ . K této počáteční chybě se přidávají další chyby způsobené nelinearitou, konvekcí a radiační bilancí [10].

Nelinearita je způsobena odchylkou od ideálního chování. Při měření zlomku z plného rozsahu očekáváme, že se výstup lineárně mění. To je však jen přibližná pravda. Nelinearita je vyjádřena v procentech z plného rozsahu tepelného toku. Doporučením je, aby byla čidla používána pro měření tepelných toků vyšších než  $50 \%$  z plného rozsahu stupnice. Nelinearita dovoluje poměrně velké chyby při rozsahu nižších toků. Je v rozmezí  $\pm 2 \%$  z plného rozsahu. Např. pro model  $200 \text{ kW/m}^2$  je chyba  $\pm 2 \%$  respektive  $\pm 4 \text{ kW/m}^2$ . Při měření výkonu  $20 \text{ kW/m}^2$  je tato chyba  $\pm 20 \%$  [10].

K chybám způsobeným konvekcí dochází hlavně proto, že při většině aplikací je účelem měření radiometrem měřit energii záření. Senzory tepelného toku jsou však citlivé nejen na tepelné záření, ale i na proudění. Ve velké části případů jsou tyto chyby přijaty jako součást nepřesnosti měření. Konvektivní vzduch může vytvářet dvě chyby konvektivní a citlivostní chybu. Konvektivní chyba je pozitivní nebo negativní příspěvek k teplotnímu toku v závislosti na rozdílu mezi teplotou vzduchu a teplotou senzoru. Účelem je tedy měření lokální konvekce a radiačního toku, což není chyba měření. Citlivostní chyba je způsobená změnou lokální součinitele přenosu tepla, ale také efektivní citlivosti na záření s rychlostí vzduchu [10].



Nutné si je také uvědomit, že při kalibraci je výstupem senzoru tepelného toku ve skutečnosti radiační bilance  $\varphi = \varphi_{in} - \varphi_{out}$ . Kde  $\varphi$  je tepelný tok v  $\text{kW/m}^2$  měřený čidlem tepelného toku,  $\varphi_{in}$  je vyskytující se tepelný tok v  $\text{kW/m}^2$  a  $\varphi_{out}$  je vyzařovaný tepelný tok v  $\text{kW/m}^2$ . Tepelný tok  $\varphi_{out}$  z absorpantu 20 °C je kolem 0,420  $\text{kW/m}^2$ . To znamená, že u kalibrace jsou obvykle používány zdroje 800 °C a vyšší (v plném úhlu pohledu 75  $\text{kW/m}^2$ ). Tento příspěvek je většinou opomíjen. V těchto případech tvoří pouze 0,6 % celkového příspěvku. V případě, kdy jsou toky menší než 75  $\text{kW/m}^2$ , měří čidlo teploty přibližně 20 °C. Výsledná chyba pak bude menší než 0,6 %. Při hodnotě tepelného toku 10  $\text{kW/m}^2$  je chyba okolo 5 % a na nižších úrovních než 10  $\text{kW/m}^2$  by měla být provedena korekční oprava  $\varphi_{out}$  [10].

### 2.3.7 Vážení vzorku a měření hmotnostního úbytku

Vážení vzorků a měření hmotnostního úbytku je prováděno na univerzální váze TSC. Tuto váhu můžeme napájet z vnějšího adaptéru nebo z baterie. Lze ji užívat v suchém nebo částečně vlhkém prostředí. Je použitelná pro minimální hmotnosti 20 g a maximální hmotnosti 30 kg. Na LCD displeji ukazuje s přesností 1 g. Je možné ji propojit s počítačem. V počítači je pak nahrán program pro vyhodnocování hmotnostního úbytku, ke kterému došlo během měření. Chyba váhy se během měření pohybovala v rozmezí  $\pm 2$  %. Tato chyba byla stanovena z měření, kde se počáteční hmotnost vzorku pohybovala do 4, 2 kg.

Na váhu je napojena vyhodnocovací jednotka LD 5204 – 06. Jedná se o mikroprocesorový přístroj určený pro připojení snímačů (max. 10) a následující vyhodnocení vážení, případně vytištění protokolu s administračními daty. Přístroj je vybaven vnitřní pamětí, na kterou lze uložit až 10 000 vážení. Je možné ho propojit s tiskárnou, počítačem, nebo vzdáleným displejem. Dále je možné ho propojit s další vahou. Napájení je prováděno buď přímo ze sítě 230 V pomocí adaptéru, nebo z baterie 12 V [18].

### 2.3.8 Zaznamenávání času a sběr informací

Sběr informací, kromě měření optické hustoty kouře a úbytku hmotnosti, je prováděn pomocí měřicí ústředny ALMENO 5690 – 2 od firmy Ahlborn. Tato ústředna je naprogramovaná pro určité veličiny a pak už stačí pouze připojení příslušného čidla. Je vybavena 9 galvanicky oddělenými vstupy, na které je možno napojit čidla s více jak 70 měřicími rozsahy pro bezpočet měřících možností. Počet vstupů lze rozšířit až na 99.

Přístroj je obsluhován buď pomocí 9 kláves a LCD displeje, na kterém se zobrazuje příslušné menu, nebo počítačem. V ústředně jsou nastaveny 3 menu - měřící, programové a asistenční menu. Ústředna měří v reálném čase (nastaven datum a čas) a hodnoty ukládá buď přes čtečku karet na paměťovou kartu, nebo do paměti propojeného počítače. Shodný čas a datum je nastaven i v počítači a díky tomu jsou výsledky porovnatelné. Bohužel není možné spustit všechna měření naráz [8].

Senzory (ALMENO konektory) jsou použitelné bez dalšího opatření. Stačí je pouze připojit a zajistit šroubky, aniž bychom museli provádět jakékoliv speciální nastavování. Pro každé měření jsou také stanoveny maximální a minimální hodnoty měření s údajem času a data. Přístroj může být napájen síťovým adaptérem ze sítě 230 V nebo pomocí 8 NiMH akumulátory (9,6 V/ 1600 mAh).

### **3 Zkušební materiál**

Jako zkušební materiál byly použity dřevěné hranoly, které byly podpalovány technickým lihem. V následující části se budu zabývat vlastnostmi zkušebního materiálu a podpalovače a jejich chováním za požáru.

#### **3.1 Dřevo**

Dřevo je získáváno ze stonků vyšších rostlin označovaných jako dřeviny. Jeho vlastnosti jsou do jisté míry závislé na druhu stromu, jeho původu, půdním složení a na dalších podmínkách.

##### **3.1.1 Chemické složení dřeva**

O chemickém složení dřeva nám mnoho vypovídá chemické složení odumřelých buněk. Hlavní složkou dřeva jsou sacharidy. Ty jsou ze 40 až 50 % hmotnosti dřeva tvořeny celulózą, z 20 až 30 % hemicelulózą a z 15 až 36 % ligninem (v jehličnatém dřevě je jeho podíl vyšší) [5]. Celulóza je hlavní stavební složkou rostlinných buněčných stěn. Má absorpční vlastnosti, které se podílejí na bobtnání dřeva. Hemicelulóza spojuje v rostlinné buňce celulózová vlákna a doprovází celulózu ve všech vrstvách buněčné stěny. Lignin způsobuje zdřevnatění (lignifikaci) buněčných stěn. Vyplňuje mezery mezi celulózą a hemicelulózą, zvyšuje tlakovou pevnost dřeva a odolnost stěn proti mikroorganismům.

Další složkou dřeva jsou organické monomery a polymery (to jsou např. terpeny, tuky vosky, pektiny, pryskyřice a další) a anorganické látky (minerální látky). Při spalování minerálních látek vzniká popel obsažený v 0,2 až 1,2 %. Většina dřevin je tvořená 49,5 % uhlíku, 44,2 % kyslíku a 6,3 % vodíku. Podíl dusíku je v rozmezí od 0,2 až 1,5 % (podle dřeviny) [5].

##### **3.1.2 Fyzikální vlastnosti dřeva**

Dřevo má v různých směrech značně odlišné vlastnosti. To je způsobeno tím, že se jedná o anizotropní materiál. Fyzikální vlastnosti lze rozdělit do několika skupin podle určujících vlastností.

Vzhled dřeva určují především barva, lesk, textura, vůně, očka (zarostlé pupeny), kořenice (oddenková část kmene) a lískovcové dřevo. Hmotnost dřeva tvoří objemová

hmotnost (hustota dřeva) a měrná hmotnost dřevní substance. Vztah dřeva k teplu určují měrné teplo a měrná tepelná vodivost, ke zvuku je to zvuková vodivost, průzvučnost a rezonanční schopnost dřeva, k elektřině to je elektrická vodivost a poměrná permitivita. Vlastnosti určující vztah dřeva k vodě jsou závislé na tom, kde se voda ve dřevě vyskytuje. Voda může být volná, vázaná a chemicky vázaná.

Dřevo má ještě řadu dalších fyzikálních vlastností jako např. propustnost dřeva pro světelné a rentgenové paprsky, odolnost proti ultrafialovému a infračervenému záření a další.

### 3.1.3 Mechanické vlastnosti dřeva

Mechanické vlastnosti dřeva můžeme definovat jako schopnost dřeva vzdorovat účinkům mechanických sil. Jako vnější účinky označujeme vnější působení nebo vnitřní tepelné a vlhkostní napětí.

Mezi hlavní mechanické vlastnosti řadíme pružnost, pevnost, tvrdost, houževnatost, štípatelnost, odolnost materiálu proti opotřebování a ohýbatelnost.

### 3.1.4 Tepelné vlastnosti dřeva

*Teplotní roztažnost* je charakterizována koeficientem teplotní roztažnosti. Ten vyjadřuje změnu jednotkové délky dřeva při jeho ohřátí o 1 °K a je definován podílem změny nového rozměru a původního rozměru při lineární závislosti na teplotě [25].

$$\alpha_i = \frac{l_T - l_0}{l_0 \cdot \Delta T} \quad (3.1)$$

$\alpha_i$  - koeficient teplotní roztažnosti v i-směru ( $\text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$l_0$  - počáteční rozměr (m)

$l_T$  - rozměr po změně teploty  $\Delta T$

Dosahuje poměrně nízkých hodnot, a proto můžeme teplotní rozměrové změny dřeva ve srovnání s vlhkostí zanedbat. Výjimkou, kdy je zanedbat nelze, jsou technologické procesy zpracování dřeva lisováním. Při nich je změna teploty výrazně vyšší než změna vlhkosti.

*Měrné teplo* je množství tepla, které je nutné dodat látce, aby se ohřála o 1 °K. Měrné teplo je dáno vztahem [25]:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (3.2)$$

$c$  - měrné teplo ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$Q$  - množství tepla (J)

$m$  - hmotnost tělesa (kg)

$\Delta T$  - rozdíl teplot ( $^{\circ}\text{K}$ )

Měrné teplo vlhkého dřeva se určuje z měrného tepla suchého dřeva a vody pomocí směšovacího pravidla. Čím je ve dřevě větší obsah vlhkosti, tím je hodnota měrného tepla potřebného na ohřátí dřeva vyšší.

*Spalné teplo* je množství tepla uvolněné úplným spálením paliva v kalorimetrické tlakové nádobě v prostředí stlačeného kyslíku vztažené na jednotku jeho hmotnosti. Spalné teplo se vypočítá podle vzorce [20]:

$$Q_s = \frac{C(D_t - K) - c}{m} \quad (3.3)$$

$Q_s$  - spalné teplo ( $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ )

$C$  - tepelná kapacita kalorimetrického systému

$D_t$  - celkový vzestup teploty v hlavním úseku

$K$  - oprava na výměnu tepla s okolní atmosférou

$c$  - součet oprav;  $c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4$   $c_2, c_3$  a  $c_4$  zanedbáváme

$c_1$  - oprava na teplo uvolněné spálením nitky

$m$  - hmotnost navážky analytického vzorku paliva

*Výhřevnost dřeva* je množství tepla, které získáme spálením 1 kg dřeva. Kromě dřev bohatých na pryskyřice a dalších hořlavých látek se výhřevnost dřeva pohybuje v rozmezí 18 až 19  $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Hodnota výhřevnosti je zpravidla určována kalorimetricky. Vlastní výhřevnost  $H_0$  je snižována v závislosti na vlhkosti dřeva spotřebovaným výparným teplem  $E_0 + E_s$  na odpaření vody ze dřeva. Hodnota  $H$  je pak dána rovnicí [25]:

$$H_0 - (E_0 + E_s) = H \quad (3.4)$$

V technické praxi se používají pouze hodnoty  $H$ . Závislost  $H$  na vlhkosti dřeva lze vyjádřit rovnicí [25]:

$$H = \frac{18850 - 30w}{100 + w} \cdot 100 \quad (3.5)$$

$H$  - výhřevnost dřeva ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

$w$  - vlhkost dřeva (%)

### Stanovení spalného tepla, výhřevnosti a vlhkosti dřeva

Pomocí kalorimetru bylo provedeno *stanovení spalného tepla* zkušební vzorku. Počáteční hmotnost vzorku byla 0,9173 g. Na zapalovací drátek nádoby uvázala bavlněná nitka. Zapalovací drátek je součástí kalorimetrické tlakové nádoby, do které se umísťuje vzorek. Nádobu jsme uzavřeli šroubovací maticí a naplnili ji kyslíkem na přetlak 3,2 MPa. Na víko nádoby jsme nandali zapalovací adaptér a umístili jsme ji do kalorimetru. Kalorimetr jsme dále naplnili vodou v množství přibližně 2 l. Hladina vody se musí pohybovat od min do max. Poté jsme přístroj uzavřeli. Kalorimetr, na kterém bylo stanovováno spalné teplo, je na obr. 3-1.



Obr. 3-1: Kalorimetr IKA C 200

Kalorimetrická konstanta je 9942 J.K. Teplota se při zahájení stanovování pohybovala okolo 21, 1 °C. *Spalné teplo* pro zkušební vzorek bylo stanoveno na 18779 J/g.

Abychom mohli vypočítat výhřevnost zkušebního materiálu, je nutné znát také *vlhkost vzorku*. Vlhkost dřeva byla změřena pomocí vlhkoměru. Teplota vzorku, při které se stanovovala vlhkost, byla 23,4 °C. *Vlhkost dřeva* se pohybovala v rozmezí 6,6 až 6,8 %. Přístroj na zjišťování vlhkosti materiálů je na obr. 3-2.



**Obr. 3-2: Zařízení na stanovení vlhkosti materiálů**

Výhřevnost vzorku pak určíme dosazením do rovnice výhřevnosti 3-5. Do ní dosazujeme námi zjištěnou vlhkost dřeva.

$$H = \frac{18850 - 30w}{100 + w} \cdot 100 = \frac{18850 - 30 \cdot 6,8}{100 + 6,8} \cdot 100 = 17459 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Vypočítaná výhřevnost vzorku dosazená do rovnice 3-5 je  $17459 \text{ kJ.kg}^{-1}$ .

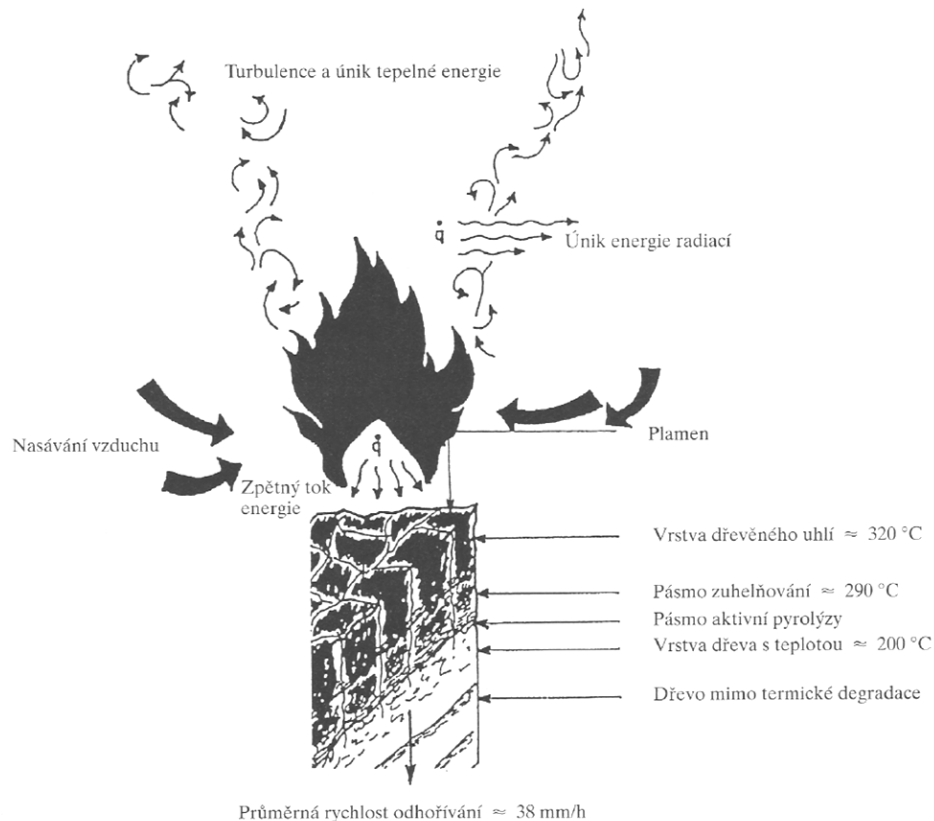
### 3.1.5 Chování dřeva za zvýšených teplot

Zatěžováním dřeva teplotami od 80 °C do 120 °C dochází k jeho vysušování. Zvětšuje se jeho vnitřní povrch, vytvářejí se trhliny a dřevo mírně zhnědne, díky tomu je snadněji zapalitelné [31].

K prvnímu stupni vlastní termické degradaci dochází kolem teplot 150 °C až 200 °C. V této fázi klesají mechanické vlastnosti dřeva (především houževnatost), dřevo mění barvu do hnědých odstínů. Druhý stupeň termické degradace nastává většinou při teplotách nad 220 °C. Dochází k tvorbě plynů (vodíku, CO, CH<sub>4</sub>, aldehydů, ketonů a dalších). Tyto uvolněné plyny reagují se vzdušným kyslíkem a hoří (uvolňují teplo a světlo). V této fázi tedy

hoří pouze plynné produkty pyrolýzy. Zároveň dochází k výraznému snižování mechanických vlastností dřeva [31].

K termické degradaci dřeva dochází za přítomnosti vzdušného kyslíku při teplotách nad 350 °C. Dochází k žhnutí (bezplamennému hoření) dřevěné hmoty. Při něm dochází k uvolňování tepla, zahřívání a následné pyrolýze dalších vrstev. Ze dřeva se nejprve stává dřevěné uhlí, které se dále rozkládá až na dřevěný popel. Na obr. 3-3 je zobrazeno hoření dřeva [31].



**Obr. 3-3: Hoření dřeva**<sup>[31]</sup>

Hořlavost dřeva ovlivňuje řada faktorů. Kromě chemického složení jsou to především struktura dřeva a jeho druh, geometrická konstrukce, přítomnost dalších látek a jejich požárně technické vlastnosti, parametry okolního prostředí a vlhkost dřeva [31].

### 3.2 Technický líh

Chemický název technického lihu je etanol. Etanol patří z chemického hlediska do skupiny látek zvané alkoholy. Alkoholy jsou kyslíkaté sloučeniny, které odvozujeme od uhlovodíků, náhradou vodíku hydroxylovou skupinou – OH. Etanol patří mezi jednosytné alkoholy, to znamená, že je tvořen jednou – OH skupinou. Jeho fyzikální vlastnosti určuje



hydroxylová skupina. Abychom z etanolu získali technický líh, je jej potřeba denaturovat přidáním benzenu, toluenu, pyridinu, benzínu nebo etheru. Denaturace může být obecná nebo zvláštní.

### 3.2.1 Fyzikální a chemické vlastnosti technického líhu

Technický líh je bezbarvá kapalina charakteristického alkoholového zápachu. Jedná se o vysoce hořlavou kapalinu I. třídy nebezpečnosti. Přehled základních fyzikálních charakteristik je uveden v tabulce č. 1.

Tab. 1: Základní fyzikální charakteristiky technického líhu <sup>[28]</sup>

Teplota tání	- 114,1 °C (pro etanol)
Teplota varu	78,3 °C (pro etanol)
Teplota hoření	29 °C (pro etanol)
Teplota vzplanutí	14 °C (pro etanol)
Teplota vznícení	415 °C (pro etanol)
Meze výbušnosti	3,4 – 15 % obj. (pro etanol)
Relativní hustota	0,800 – 0,820 g.cm <sup>-3</sup>
Rozpustnost ve vodě (při 20 °C)	neomezená
Tenze par (při 20 °C)	5,6 kPa (pro etanol)
Výhřevnost	26,9 MJ.kg <sup>-1</sup> (pro etanol)
Kritická teplota	243 °C (pro etanol)
Teplota plamene	2086 °C (pro etanol)

### 3.2.2 Oxidace etanolu

Při neúplné oxidaci se etanol pomocí oxidačních činidel oxiduje na acetaldehyd



a při úplné oxidaci se oxiduje na kyselinu octovou.



Velmi bouřlivě probíhá reakce etanolu s kyslíkem. Etanol se oxiduje až na oxid uhličitý a vodu, přičemž dochází k hoření.



# PRAKTICKÁ ČÁST

## 4 Měření fyzikálního modelu požáru

Hlavním cílem v praktické části bylo provést měření v požárně technické komoře na Fakultě bezpečnostního inženýrství a to za co nejvíce porovnatelných podmínek. Během něj byla sledována řada veličin spojených s požárem a průběh požáru pro stanovené množství zkušební vzorku. Byly pozorovány především teplotní nárůst, pokles intenzity světla, koncentrace některých zplodin, úbytek hmotnosti v čase a intenzita tepleného toku.

### 4.1 Úvodní informace

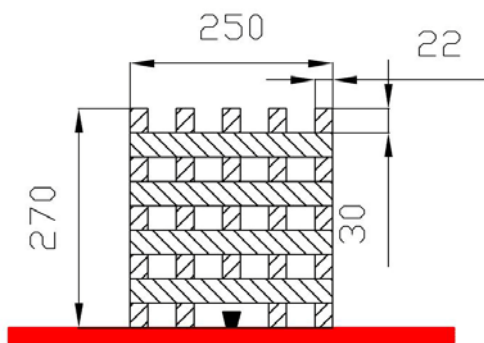
#### Popis zkušební vzorku

Jako zkušební materiál byly zvoleny smrkové dřevěné hranoly o rozměrech 25 cm x 3 cm x 2,2 cm. Pro ukázkou je jeden hranol zobrazen na obr. 4-1.



Obr. 4-1: Zkušební materiál a provedení umístění a odclonění váhy

Tyto hranoly byly vyskládány na kovovou misku položenou na vážním můstku v komoře. Hmotnost vzorku byla z průběhu předchozích pokusných zkoušek (těch bylo provedeno kolem 50) stanovena na 3480 g. Tato hmotnost odpovídala přibližně 9 řadám dřeva. V jedné řadě bylo 5 ks dřeva mimo řadu spodní, kde z důvodu zasouvání kelímku s lihem pod hranici byly pouze 4 ks. Způsob vyskládání vzorku na misku je na obr. 4-2. Z předchozích zkoušek bylo také určeno, že optimální množství lihu na podpálení je 7 ml. Líh byl injekční stříkačkou aplikován do keramické misky a ta byla zasouvána a zapalována pod hranicí.



Obr. 4-2: Způsob vyskládání vzorku (rozměry v mm)

### Popis počátečních podmínek před zkouškou

Celkový počet měření byl pro větší přesnost a lepší porovnatelnost stanoven na 10 měření. Počáteční teplota v místnosti se na termočláncích pohybovala v rozmezí od 23 °C do 27° C (rozložení od podlahy až ke stropu) a na stropě od 26 do 32°C. Výchozí teplota je závislá na počtu provedených pokusů, době trvání ustalování podmínek uvnitř komory a délce odvětrání komory.

Při měření se zjišťoval nárůst teploty od podlahy ke stropu a na stropě, optická hustota kouře, změna koncentrace CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO v průběhu měření, intenzita tepelného toku a úbytek hmotnosti v čase. Před každým měřením byla snaha, aby výchozí podmínky byly porovnatelné.

Z pokusných měření se zjistilo, že musí být provedeno odclonění váhy. Způsob odclonění je vidět na obr 4-1. Je provedeno pomocí hlinitokřemičitanové desky, izolační fólie chránící proti působení sálavého tepla a vysokým teplotám, 2 kovových konstrukcí, které zabezpečují vzduchovou izolační vrstvu a z šamotových desek. Na druhé kovové konstrukci je umístěná miska, na níž je pokládán zkušební vzorek.

### Rozmístění použitých zkušebních zařízení

Rozmístění přístrojů použitých v komoře při zjišťování požadovaných veličin je vykresleno v příloze C. Podrobnější popis umístění jednotlivých přístrojů je proveden níže.

*Nárůst teploty* byl sledován pomocí termočlánců v předem stanovených sedmi výškových úrovních v bližším pravém rohu od vstupu do místnosti a dále termočlánci

umístěnými na stropě na pěti místech. Rozmístění termočlánků je realizováno podle zkušební normy ISO 9705:1993 [4]. Výškové rozmístění je zobrazeno v příloze C na obr. C-5 a rozmístění na stropě je na obr. C-6. Na obrázcích je také označení jednotlivých termočlánků.

*Optická hustota kouře* byla zjišťována pomocí přístroje, který vyhodnocuje pokles intenzity světla mezi vysílačem a detektorem. Vysílač byl umístěn ve výšce 1,38 m a detektor ve výšce 1,40 m od podlahy ke středu optiky. Vzdálenost mezi vysílačem a detektorem byla 2,41 m. Umístění detektoru a vysílače v komoře je v příloze C na obr. C-4. Prvky přístroje pro měření poklesu intenzity světla jsou na obr. 4-3. Intenzita byla sledována pouze v jedné výškové úrovni.



**Obr. 4-3: Ústředna, vysílač a detektor přístroje pro měření optické hustoty kouře**

Ze složení spalín se určuje pouze *koncentrace*  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$ . Vzorek byl odebírán odběrnou trubicí ve výšce 1,74 m nad podlahou viz příloha C obr. C-3. Vnější rozměr trubičky je 10 mm a vnitřní 8 mm. Nasátý vzorek je po úpravě vyhodnocován pomocí analyzátoru plynů. Jednotlivé komponenty pro analýzu koncentrace plynů v komoře jsou na obr. 4-4.



**Obr. 4-4: Odběrná trubička, zařízení pro úpravu vzorku a analyzační jednotka**

*Intenzita tepelného toku* byla měřena pomocí senzoru tepelného toku SBG01 s měřicím rozsahem do  $50 \text{ kW/m}^2$ . Pro čidlo byla z průběhu předchozích měření určena výška umístění a vzdálenost od hranice. Radiometr byl instalován ve vzdálenosti 30 cm od středu hranice a ve výšce 40 cm od úrovně dna misky. Jeho umístění od hranice se zkušebním vzorkem je znázorněno v příloze C obr. C-2. V průběhu všech měření bylo toto uspořádání neměnné. Způsob uchycení a umístění radiometru v komoře je na obr. 4-5.

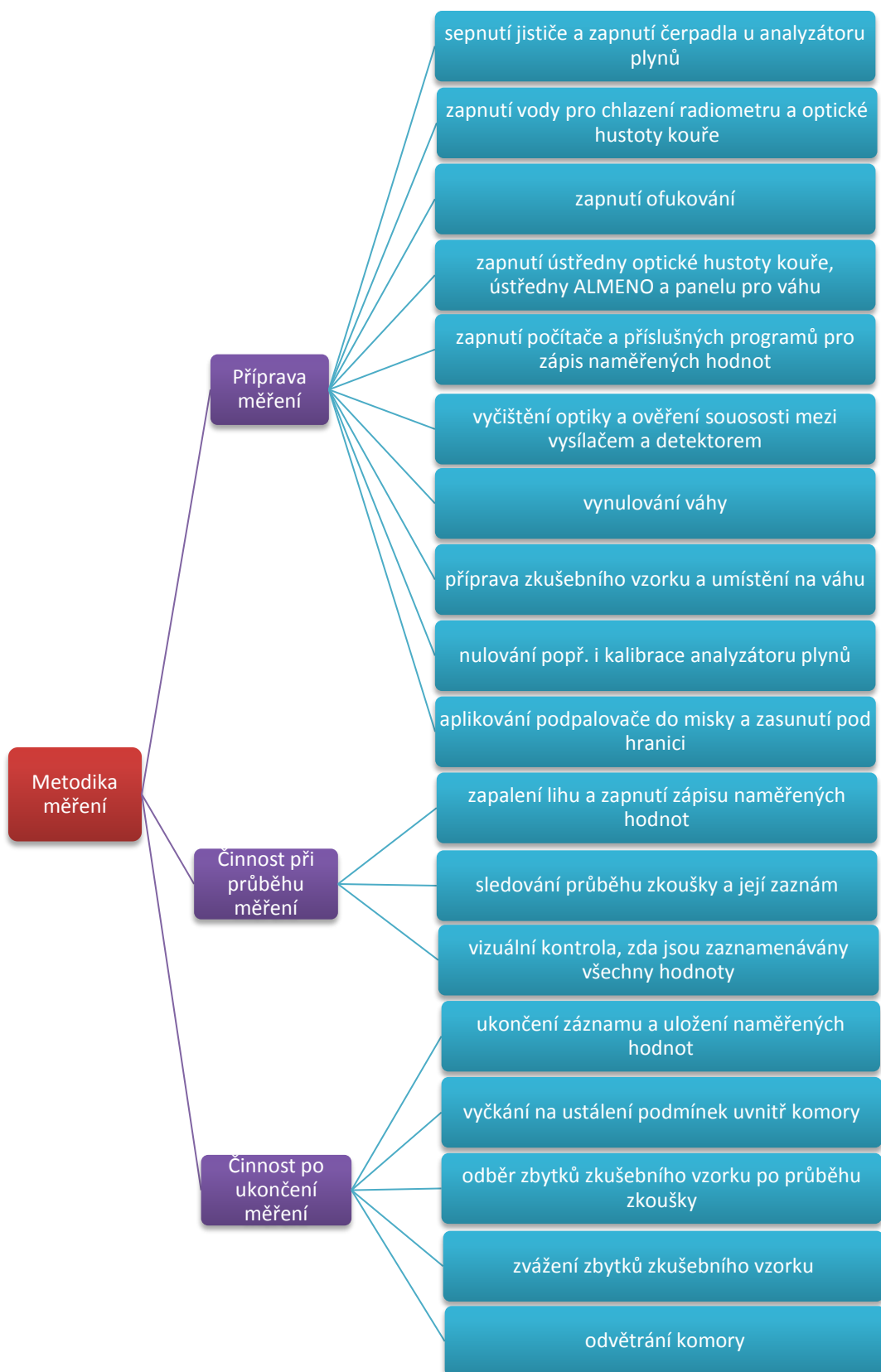


**Obr. 4-5: Radiometr a jeho umístění během měření**

*Úbytek hmotnosti* v čase byl zjišťován pomocí propojení váhy s počítačem. V počítači je nainstalován program (evidence vážních dat), prostřednictvím něhož je možné sledovat změnu hmotnosti v čase. Váha je umístěna ve vzdálenosti 35 cm od čelní stěny a 48 cm od pravé boční stěny (pohled od dveří).

## **4.2 Metodika měření**

V metodice měření budou popsány základní postupy, které se musí udělat při přípravě před samotným měřením, doporučené úkony prováděné při průběhu zkoušky a činnosti, které musí být uskutečněny po ukončení měření. Zjednodušené schéma těchto činností je na obr. 4-6.



**Obr. 4-6: Zjednodušené schéma metodiky měření**

### 4.2.1 Příprava měření

Při vstupu do laboratoře je nutné *zapnout jistič* umístěný v rozvodné skříni vpravo od vyhřívaného filtru. Zhruba po 6 minutách od sepnutí jističe je přístroj připravený. Dále *zapneme čerpadlo u analyzátoru plynu* a přesvědčíme se, že nastavený průtok analyzátozem je 1 l/min. Pokud by byl analyzátor plynů zcela vypnutý, je nutné čekat alespoň 2 hodiny po zapnutí, než začneme měřit. Proto není vhodné přístroj úplně vypínat.

Jestliže máme v provozu analyzátor plynu, *spustíme vodu* pro chlazení radiometru a zařízení pro měření optické hustoty kouře a *zahájíme ofukování* okének vysílače a detektoru.

Dále *zapneme ústřednu optické hustoty kouře, ústřednu ALMENO a panel pro ovládání váhy*. Pomocí ovládacího panelu *váhu vynulujeme*. To provedeme tlačítkem táry i s předměty použitými na odclonění váhy a miskami na umístění vzorku a podpalovací kapaliny. Po vynulování *připravíme zkušební vzorek* a vyskládáme z něj hranici o požadované hmotnosti. Ve spodní části hranice necháme místo pro zasunutí kelímku s podpalovačem.

Nyní provedeme *vyčištění optiky* na vysílači a detektoru a *seřídíme* zařízení pomocí zrcátka, abychom dosáhli co nejlepší *souosost* a tím i co nejvyšší počáteční intenzitu.

*Spustíme počítač* a na ploše *zapneme příslušné programy* pro zápis naměřených hodnot. Jedná se o programy: „Měření optické hustoty kouře“, „AMR Control“ a „Evidence vážních dat“. U programu „Měření optické hustoty kouře“ si musíme dávat pozor, aby se nám nezastavil přenos hodnot mezi počítačem a ústřednou.

Před zahájením měření je nutné provést v programu „Evidence vážních dat“ a v programu „Měření optické hustoty kouře“ několik přednastavení. Ty jsou popsány v postupech měření pro jednotlivé přístroje, které jsou uvedeny v příloze D.

Jestliže máme vše nenachystáno, provedeme *nulování popř. i kalibrování analyzátoru plynu*. Postup pro nulování a kalibraci je uveden v Návodu pro ovládání analyzačního systému uloženém v příloze D.

Nyní *nasajeme podpalovač* v podobě lihu do injekční stříkačky a to v množství 7 ml a ten *aplikujeme do keramické misky*. Keramickou *misku* i s lihem *zasuneme pod hranici*.

### 4.2.2 Činnost při průběhu měření

V momentě, kdy je podpalovač zasunutý pod zkušební vzorek (vyskládané hranoly dřeva do hranice), provedeme zapálení. To je uskutečňováno pomocí křbového podpalovače. V okamžiku zapálení je spuštěn zápis hodnot pomocí 3 programů, o kterých bylo zmiňováno



již dříve. Jedná se o: „Měření optické hustoty kouře“, „AMR Control“ a „Evidence vážných dat“.

V současné době bohužel nelze odstartovat zápis všech programů naráz. Proto se při zapálení spouští přednostně *Start na ústředně ALMENO*, kde je zaznamenáno nejvíce naměřených hodnot. Po stisknutí tlačítka Start by se měly začít zapisovat hodnoty (zapiše se první řádek) ve zvoleném časovém intervalu. Pokud se tak nestane, je tato problematika podrobněji řešena v „Postupu při měření pomocí ústředny ALMENO 5690“ uvedené v příloze D. U ostatních programů je zápis proveden několik vteřin před ALMENEM.

Návod na ukládání hodnot v programu „Evidence vážných dat“ a v programu „Měření optické hustoty kouře“ je příloze v D.

V průběhu zkoušky sledujeme rozvoj požáru přes pozorovací okénko. Je vhodné zapisovat výšku plamene v čase, dosažení fáze plně rozvinutého požáru, okamžik, kdy nastane fáze žhnutí a její jednotlivé fáze a čas, kdy již nejsou pozorovatelné žádné uhlíky.

Také je nutné provádět vizuální kontrolu toho, zda funguje propojení mezi ústřednami a počítačem a jsou zapisovány výsledky měření.

### **4.2.3 Činnost po ukončení měření**

V okamžiku, kdy v komoře již nejsou pozorovatelné uhlíky, je ukončeno měření a tím také zápis hodnot měření. U programů „AMR Control“ a „Měření optické hustoty kouře“ ukončení provedeme stisknutím tlačítka Stop. U programu „Evidence vážných dat“ zmačkneme ikonku hodin.

Data naměřená pomocí ústředny ALMENO zůstanou zobrazená v tabulce, ale nejsou nikde uložena. Proto je musíme uložit do programu Microsoft Office Excel. Před dalším měřením si musíme tabulku vyčistit. U zbylých programů jsou hodnoty automaticky ukládány do příslušných složek. Podrobněji můžete způsob ukládání nastudovat u příslušných návodů v příloze D.

Po ukončení měření čekáme přibližně 20 až 30 minut na ustálení podmínek uvnitř komory. To znamená na okamžik, kdy se koncentrace plynů vrátí na původní hodnoty a částečně poklesnou teploty. Po uplynutí této doby si zapíšeme aktuální hmotnost na váze, vstoupíme do komory a provedeme odebrání zbytku zkušebního vzorku po průběhu zkoušky. Odebraný zbytek pak znovu zvážíme a ověříme, zda hodnota zobrazená na váze je správná, a pokud ne, zjistíme odchylku od skutečnosti. Na závěr provedeme odvětrání komory pomocí ventilátoru a to minimálně po dobu 30 minut.



### 4.3 Průběh měření

Když jsou nachystané veškeré přístroje, připravena hranice se zkušebním materiálem a v misce podpalovač, provede se zapálení pomocí krbového podpalovače a spustí se měření na měřicích přístrojích.

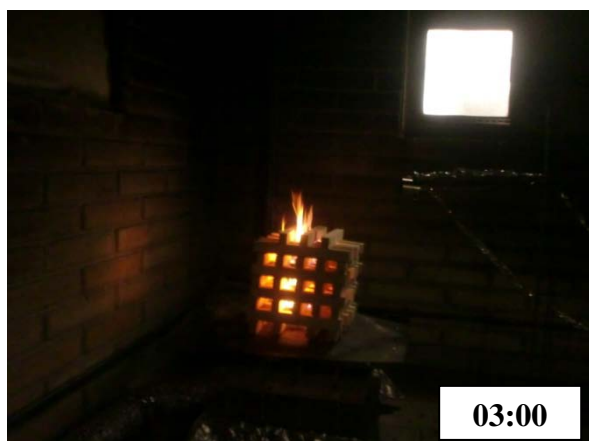
Každý průběh požáru je jiný, a proto byla odlišná i jednotlivá měření. Průběhy jednotlivých zkoušek lze však zobecnit a jednotně popsat. Nejprve bude charakterizována změna výšky plamene a poloměru požárem zasažené části dřevěné hranice a na to naváže část, kdy budou popsány změny jednotlivých veličin v čase i s grafickým zobrazením.

#### 4.3.1 Změna výšky plamene a poloměru požáru v čase

Při rozvoji byla sledována výška plamene a odhadován poloměr, jaký požár dosahoval v daném čase. Výška byla určována podle šamotových cihel, které jsou od sebe odděleny spárami z šamotové malty. Slovní popis rozvoje je doplněn obrázkem, na němž je v pravém spodním rohu uveden také čas v min:s.



V čase 1 min a 30 s od zapálení začaly ze středu hranice vylétávat jiskry a objevovaly se záblesky ze vznikajících plamenů. V čase 2 min a 30 s se požár dostal nad hranici a plameny dosahovaly výšky 5 cm. Požár se postupně rozvíjel.



Ve 3. minutě plameny měly výšku přibližně 10 cm a poloměr požáru, který zasahoval hranici, byl kolem 2 cm. Ve 4. minutě se velikost zvýšila na 20 cm a poloměr hoření byl 3 cm.



V čase 4 min a 30 s byla velikost plamenů kolem 30 cm a poloměr se zvýšil na 3 cm. V 5. minutě začaly z hranice vystřelovat kousky dřevěných uhlíků. Plameny dosahovaly výšky 40 cm a poloměr se rozšířil na 4 cm. V čase 5 min 30 s sahaly plameny do výšky 50 cm a poloměr se rozšířil na 5 cm. V 6. minutě se plameny zvětšily na 60 cm.



V 7. minutě měly plameny výšku okolo 80 cm a poloměr hoření byl přibližně 8 cm. Požár byl stále doprovázen zvukovými efekty a to především praskáním. Z hranice vystřelovaly dřevěné uhlíky. Hoření probíhalo především ve středu hranice a to proto, že miska s lihem byla umístěna ve středu spodní části hranice. V 9. minutě dosahovaly plameny výšky 90 cm a poloměr se zvýšil na 13 cm. Požárem bylo zasaženo přibližně 70 % hranice. Hoření probíhalo spíše ve vnitřní části. Kraje hranolů v čele a na pravé straně hranice z pohledu od dveří nebyly téměř zasaženy.



V 11. minutě sahaly plameny do výšky okolo 110 cm. Poloměr hoření se zvětšil na 14 cm. Požár zasahoval asi 75 % hranice. Plameny se postupně rozšiřovaly i na dřívě nezasážené kraje. Ve 13. minutě byly plameny vysoké kolem 130 cm. Poloměr požáru dosahoval maximální hodnoty, které byla 15 cm. Hranoly v posledním patře hranice byly zcela zasaženy plameny. V této fázi začal požár dosahovat maximálních rozměrů.



V 15. minutě požár dospěl do fáze plně rozvinutého požáru a plameny měly výšku přibližně 140 cm. V tento okamžik bylo zasaženo asi 90 % hranice. Na krajích hranice se oheň prohořival z nejvyššího patra postupně směrem dolů. Od tohoto okamžiku se výška plamene začala postupně snižovat v důsledku docházejícího paliva. V 16. minutě poklesla výška plamenů na 130 cm.



V 17. minutě měly plameny výšku kolem 100 cm. Hoření zasahovalo 95 % hranice. Nezasaženy byly pouze části hranolů ve spodní řadě a část hranolů na hranách. V 18. minutě se velikost zasažení hranice zvýšila na 97 %. Velikost plamenů se snížila na 90 cm. Nezasažená část se zmenšila téměř o polovinu. Z hranice byly stále vystřelovány kousky uhlíku za doprovodu praskání.



V 19. minutě bylo požárem zasaženo 98 % hranice. Plameny měly výšku kolem 70 cm. Bylo již pouze několika centimetrová část dřeva, které nehořela. Ve 20. minutě hořela celá hranice. Výška plamenů byla pouze 60 cm. Požár se postupně přesouval ke krajům a ve zbylé části hranice docházelo k intenzivnímu žhnutí.



Ve 24. minutě poklesla výška plamenů na 20 cm. Stále se ozývalo lehké praskání. Uvnitř hranice probíhalo intenzivní žhnutí a plameny byly spíše na kraji. Ve 25. minutě se plameny objevovaly spíše po pravé straně (z pohledu od dveří). Výška plamenů dosahovala maximálně 10 cm. Z hranice začínaly do misky odpadat kousky žhnoucího dřeva.



Ve 26. minutě došlo k pádu hranice. Ta se sesypala do misky. V jedné části zkušební materiál dosud hořel plamenem o velikosti 10 cm. Ve zbylé části docházelo k intenzivnímu

žhnutí. Ve 27. minutě vzorek v jednom místě zkušební materiál dohořival plamínkem o velikosti 3 cm, ve zbylé části ještě probíhalo intenzivní žhnutí.



Ve 28. minutě již nebyly pozorovatelné plameny a ve zbytku docházelo pouze intenzivní žhnutí. To se postupně snižovalo a přibližně ve 30. minutě se změnilo na fázi středně intenzivního žhnutí.



Komora se pozvolna ochlazovala a tím také chladl zbytek materiálu. Fáze středně intenzivního hoření se měnila na zbytkové žhnutí. To nastalo přibližně ve 38. minutě a mohli jsme pozorovat pouze ojedinělé uhlíky. Okolo 54. minuty nebyly z pozorovacího místa již uhlíky vidět, a proto v 55. minutě bylo měření ukončeno.

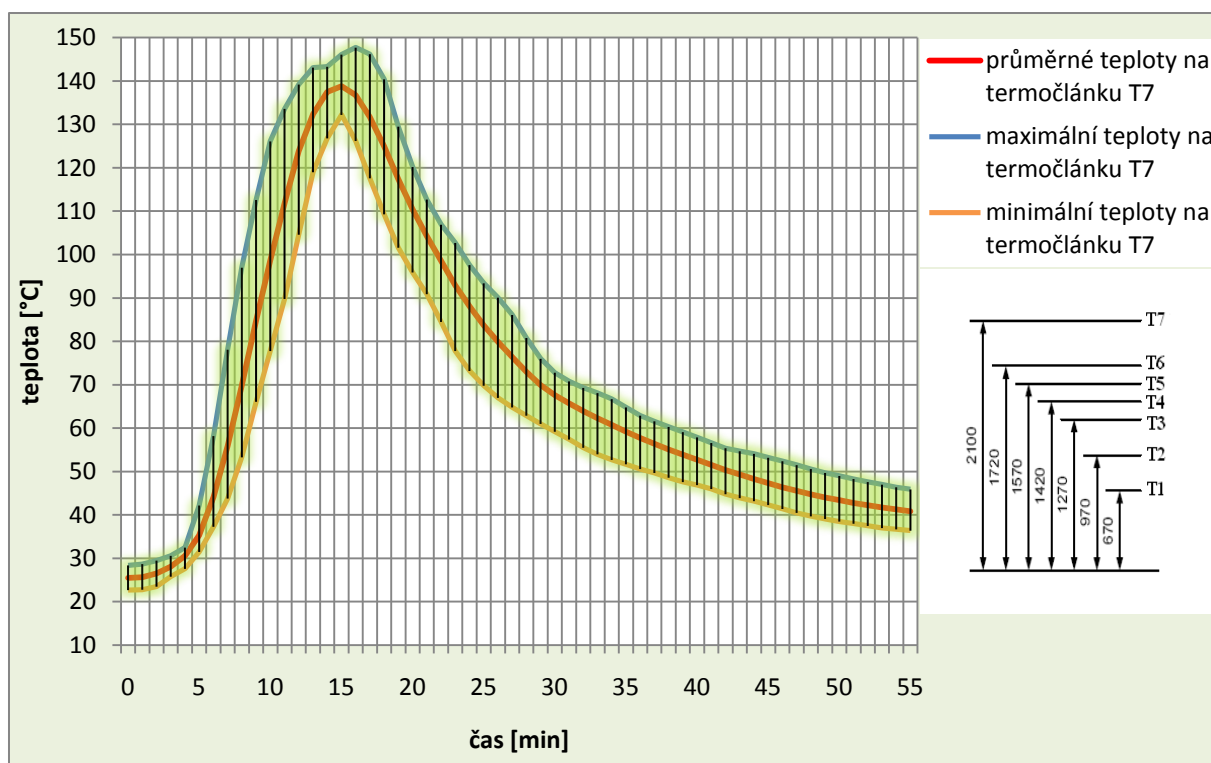


### 4.3.2 Změna fyzikálních veličin při požáru

Pro vyhodnocení změny fyzikálních veličin v čase bylo použito grafické znázornění. Do grafů byly použité výsledky 10 měření. Z těchto výsledků byly vypočítány průměrné hodnoty v čase. V grafech reprezentují tyto hodnoty prostřední křivky. Horní křivka znázorňuje maximální hodnoty v daném čase a spodní křivka jsou minimální hodnoty v daném čase.

#### Změna teploty v čase

Jak již bylo zmíněno dříve, byla změna teploty měřena v sedmi výškových úrovních na stěně a v pěti místech na stropě. V grafu teplotní závislosti na termočláncích na stěně v čase, zobrazeném níže na obr. 4-7, byly vybrány pouze hodnoty teploty na termočlánek T7. Tento termočlánek byl umístěn na stěně nejvýše. Na obrázku je vidět, že k strmějšímu nárůstu teplot začíná docházet přibližně v 5. minutě. Od tohoto okamžiku je také větší rozdíl mezi minimálními, průměrnými a maximálními hodnotami. Rozdíl mezi průměrnými a maximálními teplotami je větší než mezi průměrnými a minimálními teplotami. Nárůst hodnot probíhá u křivky průměrných a minimálních teplot přibližně do 15. minuty a u maximálních teplot do 16. minuty. Nejvyšší hodnota na křivce maximálních teplot byla teplota 148 °C, nejvyšší hodnota na křivce průměrných teplot byla teplota 139 °C a nejvyšší hodnota na křivce minimálních teplot byla teplota 132 °C. Po dosažení maxima začínají křivky opět klesat, ale pozvolněji než byl jejich nárůst. Při poklesu je větší rozdíl mezi průměrnou a minimální teplotou.

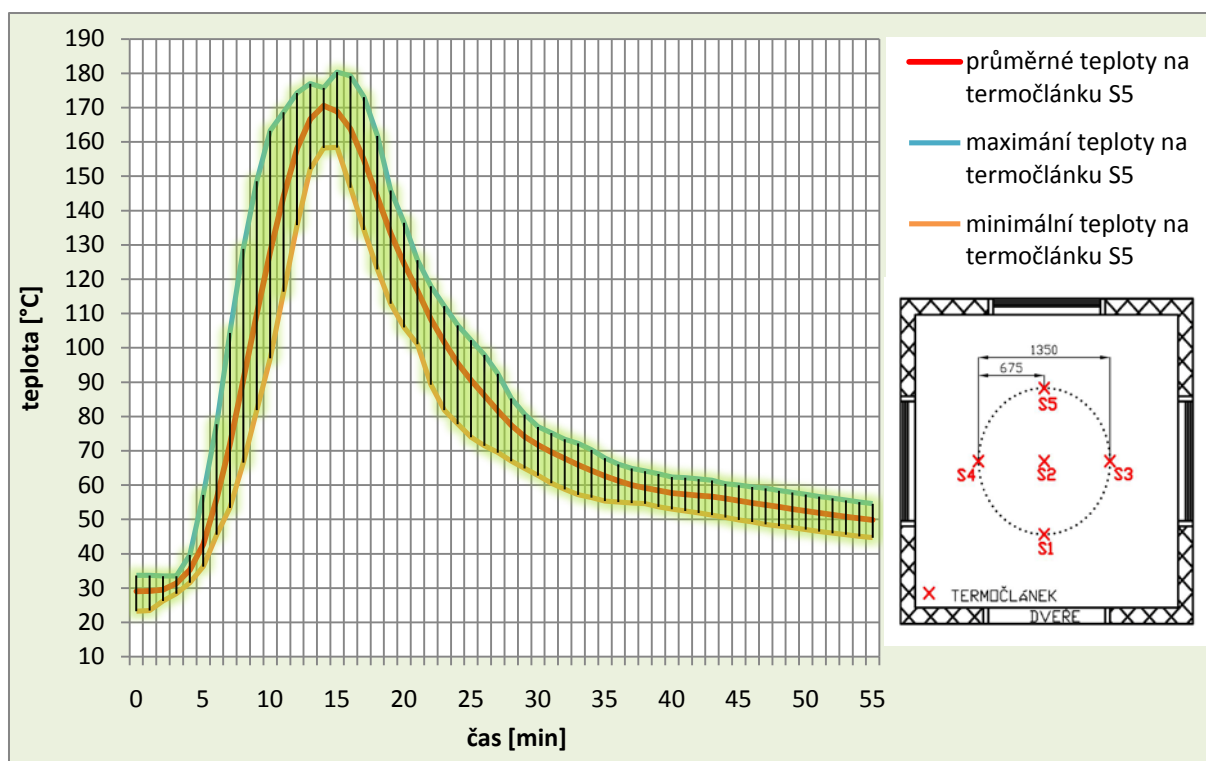


Obr. 4-7: Teplotní závislost na termočlátku T7 v čase

V grafu teplotní závislosti termočládků umístěných na stropě, který je na obr. 4-8, byly vybrány pouze hodnoty na termočlátku S5. Tento termočlánek byl umístěn nejbližší k hořící hranici. Do 5. minuty probíhal pozvolný nárůst teplot. K prudkému nárůstu dochází od 5. minuty. Nejstrměji stoupají hodnoty maximálních teplot, a proto je také větší rozdíl mezi maximálními a průměrnými hodnotami oproti rozdílu průměrných a minimálních hodnot. Hodnoty křivky maximální teploty dosahují nejvyšší hodnoty v 15. minutě. Teplota v tento okamžik je 180 °C. O něco méně strmě stoupají křivky průměrných a minimálních teplot. Ty dosahují maximálních hodnot ve 14. minutě. Nejvyšší teplota pro křivku průměrných teplot je 171 °C a pro křivku minimálních hodnot je to teplota 158 °C. Při poklesu křivek je o něco málo větší rozdíl mezi průměrnými a minimálními teplotami.

Počáteční a konečné teploty na termočlátku S5 jsou vyšší než teploty na termočlátku T7. To je způsobeno tím, že čím blíže stropu je termočlánek umístěn, tím jsou na něm vyšší teploty (v důsledku vztakového účinku).





Obr. 4-8: Teplotní závislost na termočláncu S5 v čase

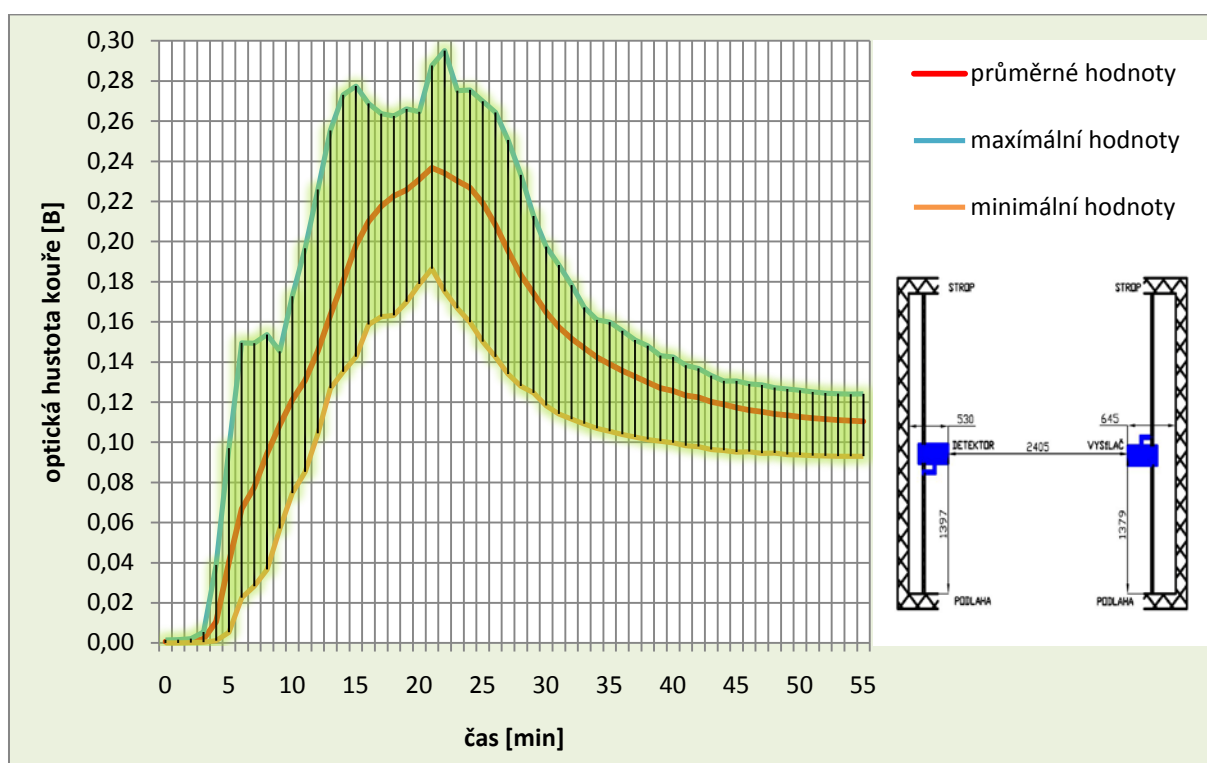
### Změna optické hustoty kouře v čase

Změna optické hustoty kouře v čase je závislá na mnoha faktorech. Nejdůležitějším je schopnost zkušebního materiálu vytvářet kouř. Při měřeních bylo jako pokusný materiál používáno dřevo. U dřeva tvorbu kouře ovlivňuje především podíl pryskyřic a vlhkost dřeva. Čím více jí dřevo obsahuje, tím více se vytváří kouř. Dále nám vytváření kouře ovlivňuje průběh spalování. Pokud dochází k dobrému spalování při dostatečném množství paliva a oxidačního prostředí vytváří se méně kouře, než v okamžiku, kdy je požár ovlivněn nedostatkem paliva nebo oxidačního prostředí. Jako zkušební dřevo bylo používáno dřevo smrkové. Tento druh dřeva neobsahuje velké množství pryskyřic jako např. borovice, a proto ani hodnoty optické hustoty nejsou příliš vysoké.

Výsledky naměřených hodnot jsou znázorněny na obr. 4-9. Jsou zde uvedeny maximální, průměrné a minimální hodnoty optické hustoty kouře. Na obrázku je patrné, že především u maximálních hodnot jsou veliké výkyvy. Tyto výkyvy jsou způsobené tím, že nikdy u dřeva nedosáhneme úplně shodných vlastností. To znamená, že jeden hranolek může kouřit víc, než hranolek jiný a to i pocházející ze stejné várky dřeva. Také hoření neprobíhá nikdy shodně a každé měření se do určité míry liší. Dále je zde patrný rozdíl mezi průměrnými hodnotami a dosaženými minimy a maximy. K většímu nárůstu optické hustoty

dochází od 4. minuty. Strmý nárůst je především u maximálních hodnot. U hodnot průměrných a minimálních je nárůst pozvolnější. U průměrných a minimálních hodnot bylo maximální hodnoty dosaženo ve 21. minutě. Hodnota optické hustoty kouře byla v tento okamžik 0,24 B a 0,19 B. U křivky maximálních hodnot bylo maxima dosaženo ve 22. minutě. V tento časový okamžik byla hodnota optické hustoty 0,3 B. Při poklesu křivek byl mnohem větší rozdíl mezi hodnotami průměrnými a minimálními než mezi maximálními a průměrnými.

Od 53. minuty se hodnoty optické hustoty příliš nelišily. To bylo způsobeno tím, že i přes vybavení přístroje ofukováním okének se na optice detektoru a vysíláče nalepily nečistoty. Tyto nečistoty lze odstranit pouze vyčištěním optiky vlhkým hadrem. Proto jsou výsledky měření tímto jevem do značné míry ovlivněny.



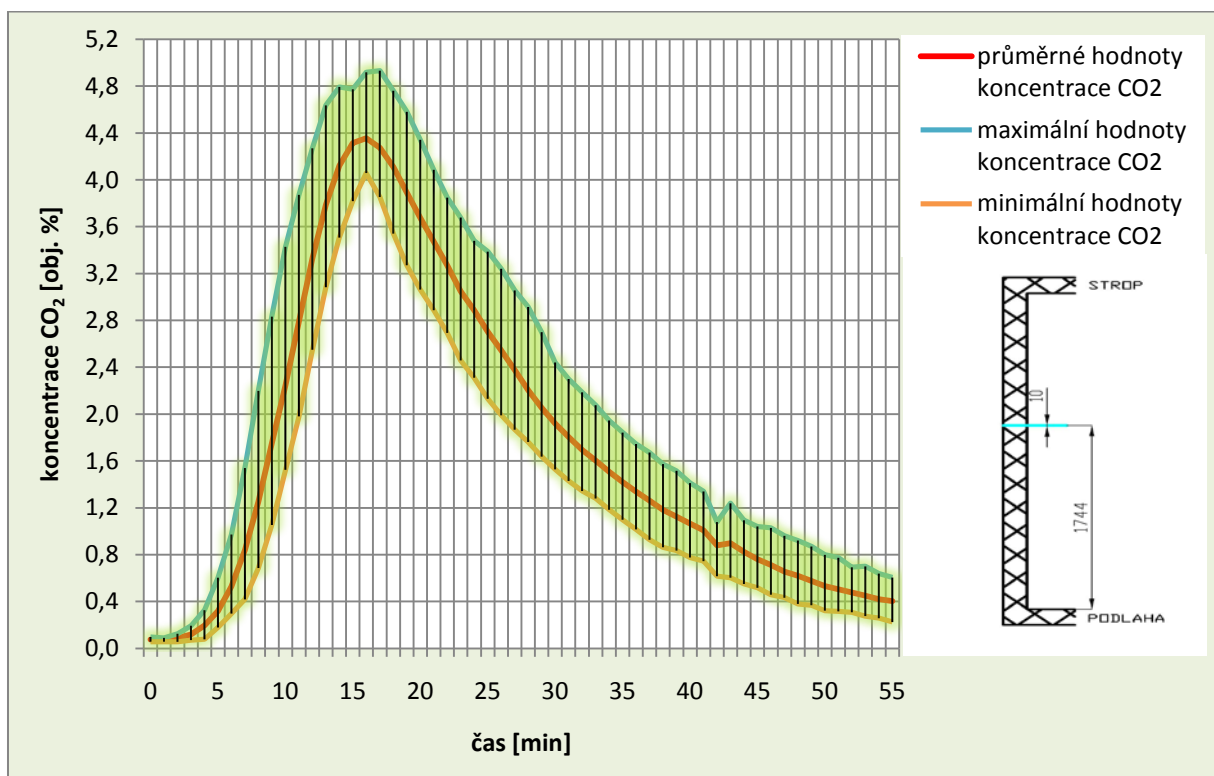
Obr. 4-9: Změna optické hustoty kouře v čase

### Změna koncentrace plynů v čase

Vlivem hoření dochází k uvolňování různých druhů plynů. Při měření jsme sledovali změnu koncentrace u  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  a  $\text{O}_2$ . Koncentrace těchto plynů je uváděna v obj. %. Dosažené výsledky byly ovlivňovány především průběhem požáru.

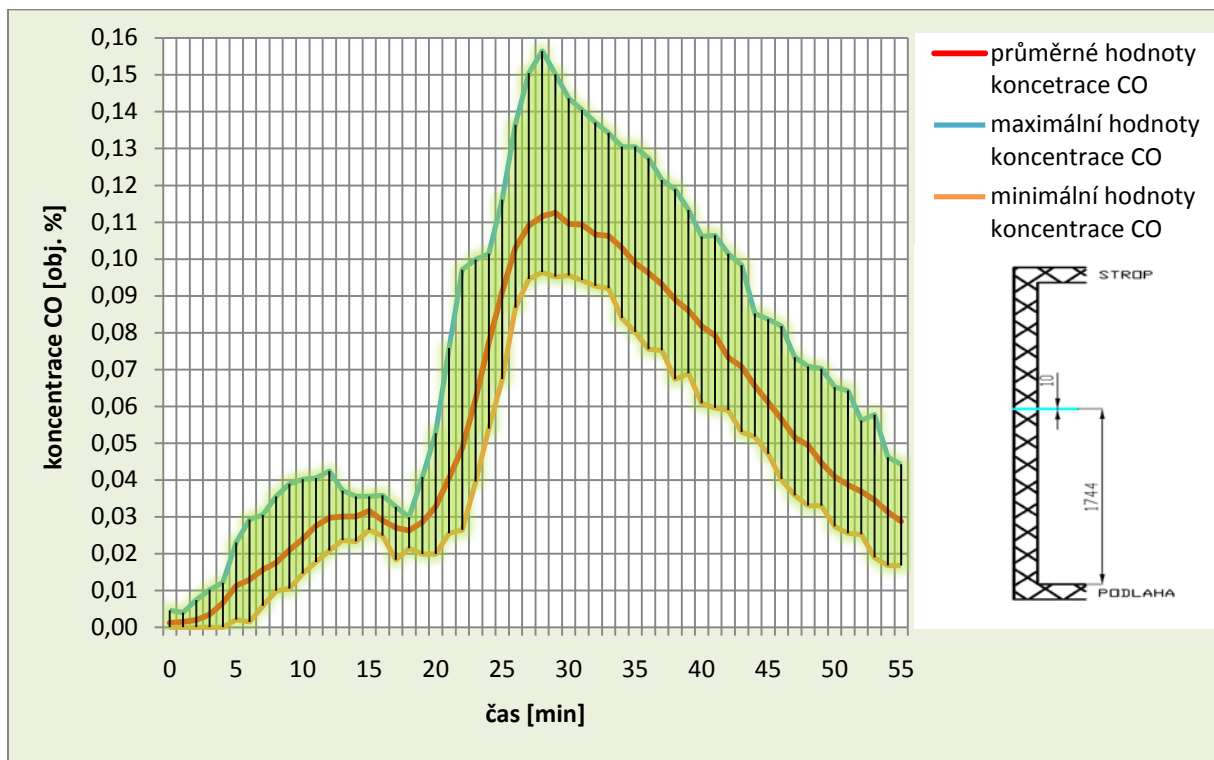
Ke vzniku  $\text{CO}_2$  dochází především v důsledku průběhu požáru za dostatečného množství paliva a oxidačního prostředku. V okamžiku, kdy požár dosáhne svého maxima, dosáhne maximálních hodnot také vzniklé množství  $\text{CO}_2$ . Od tohoto okamžiku jeho množství opět klesá. Nárůst koncentrace  $\text{CO}_2$  je doprovázen poklesem  $\text{O}_2$ . V okamžiku, kdy koncentrace  $\text{CO}_2$  dosáhne maxima, dosáhne zároveň koncentrace  $\text{O}_2$  nejnižší hodnoty. U hodnot koncentrací  $\text{CO}$  je to o něco složitější. Do doby, než oheň dosáhne maxima, tyto koncentrace narůstají pozvolna. Po dosažení maxima se zvyšuje množství materiálu, které žhne a díky tomu se začne vytvářet velké množství  $\text{CO}$ .

Na obr. 4-10 je znázorněn průběh změny koncentrace  $\text{CO}_2$  v čase. Jak již bylo popsáno výše, dochází k nárůstu hodnot v důsledku spalování při dostatečném množství paliva a oxidačního prostředku. Takže maximálních hodnot koncentrace bylo dosaženo v době, kdy také požár dosáhl svého maxima. Maximálních hodnot koncentrací bylo dosaženo v 16. minutě. Nejnižší dosažená hodnota byla v tento okamžik 4,06 obj. %, průměrná hodnota byla 4,36 obj. % a nejvyšší dosažená koncentrace v tento okamžik byla 4,92 obj. %. Po dosažení maximální hodnoty koncentrace pozvolna klesala. V době ukončení měření ještě nedosahovala počátečních hodnot.



Obr. 4-10: Změna koncentrace  $\text{CO}_2$  v čase

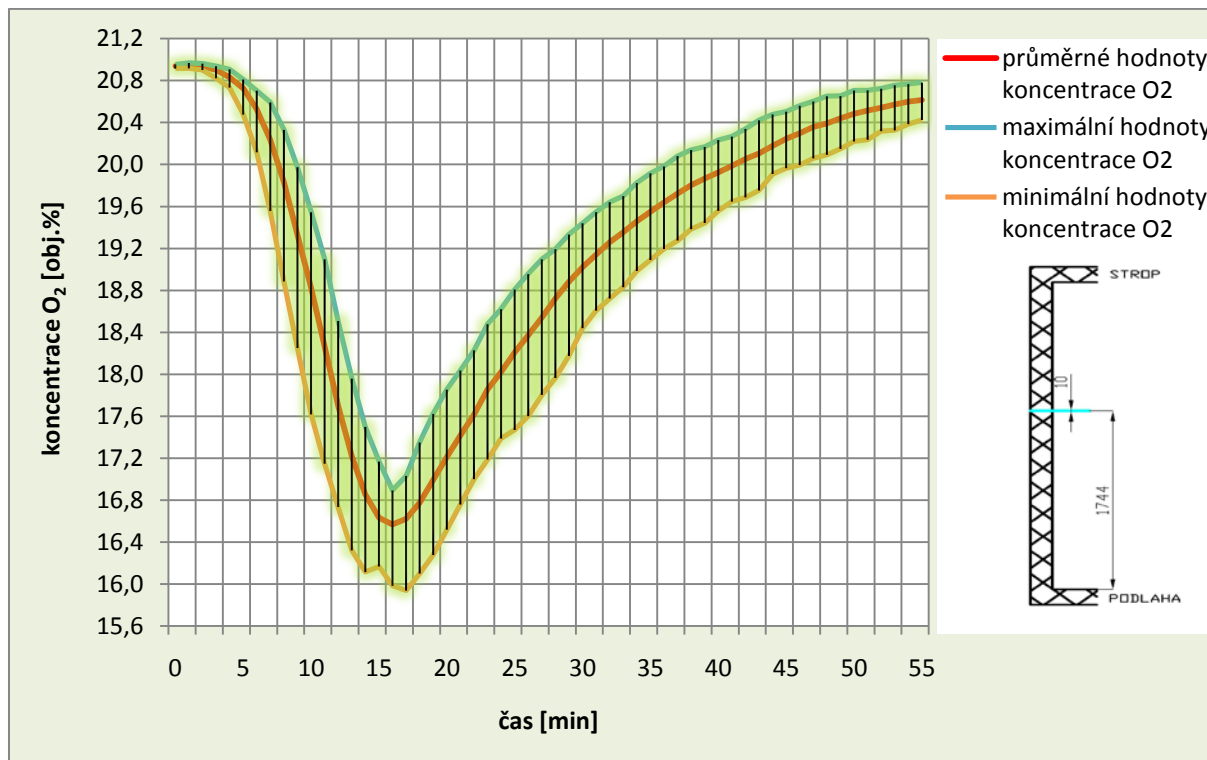
Na obr. 4-11 je zobrazena změna koncentrace CO v čase. Od 4. minuty do 15. minuty docházelo k pozvolnému nárůstu hodnot koncentrací. Od 15. do 20. minuty koncentrace mírně klesla a od 20. minuty probíhal prudký nárůst koncentrací. To je okamžik, kdy výška plamene nedosahuje příliš vysokých rozměrů a veškerý hořlavý materiál je zachvácen požárem. Požár začíná pozvolna přecházet do fáze intenzivního žhnutí. Maximálních hodnot dosahují koncentrace CO ve 28. minutě. Hodnota koncentrace na křivce maximálních hodnot je 0,156 obj. %, na křivce průměrných hodnot je 0,112 obj. % a na křivce minimálních hodnot je 0,096 obj. %. V této době dochází pouze k intenzivnímu žhnutí a neobjevují se již žádné plameny. Velká výchylka mezi maximálními a průměrnými hodnotami koncentrace je způsobená především tím, že každé měření probíhá jinak a koncentrace se pohybuje v nízkých hodnotách obj. %, takže výchylka v setinách způsobí velký výsledný rozdíl.



Obr. 4-11: Změna koncentrace CO v čase

Na obr. 4-12 je vykreslena změna koncentrace O<sub>2</sub> v čase. Pokles koncentrace kyslíku je, jak je uvedeno výše, závislý na jednotlivých fázích požáru. K jeho poklesu dochází do doby, než požár dosáhne svého maximálního rozvoje. Pak se koncentrace vrací pozvolna zpět na počáteční hodnotu. Pokles hodnot je mnohem rychlejší než návrat na původní hodnoty koncentrace. Při měřeních bylo minimálních hodnot dosaženo v 16. minutě, tedy v době, kdy měla maximální hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub>. Tyto dva plyny jsou tedy na sobě závislé.

V 16. minutě je nejnižší hodnota na křivce maximální koncentrace 16,89 obj. %, na křivce průměrné koncentrace 16,57 obj. % a na křivce minimální koncentrace 15,98 obj. %. U tohoto grafu je větší rozdíl mezi průměrnými a minimálními hodnotami a to v celém časovém průběhu.



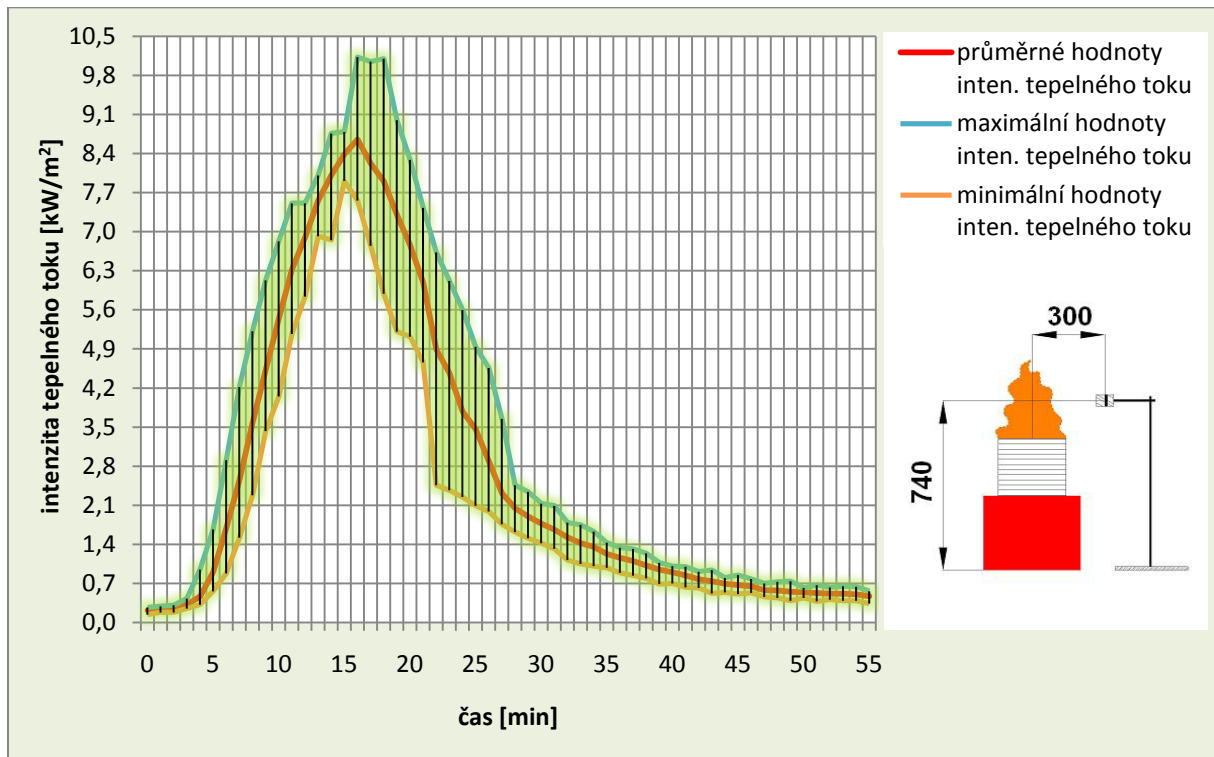
Obr. 4-12: Změna koncentrace O<sub>2</sub> v čase

### Změna intenzity tepelného toku v čase

Výsledné hodnoty intenzity tepelného toku jsou ovlivněny mnoha faktory. Prvním z nich je, že záleží, jaký radiometr je na měření použitý (jeho rozsah). Pokud je použit radiometr s velkým rozsahem na požár o malém výkonu, vzniká nám obrovská chyba. Je doporučeno, aby byly radiometry používány na měření tepelných toků vyšších, než je 50 % z jejich rozsahu. Druhým faktorem je, že záleží do jaké vzdálenosti a výšky od požáru je umístěn. Čím dál je od zdroje, tím klesá intenzita tepelného toku. Vzdálenost a výšku umístění radiometru od požáru můžete vidět buď na obrázku vedle grafu, nebo v příloze C na obr. C-2. Třetím faktorem, který nám ovlivňuje naměřené výsledky je, že radiometr není citlivý pouze na tepelné záření, ale i na proudění.

Na obr. 4-13 je grafické znázornění naměřených výsledků intenzity tepelného toku v časové závislosti. U tohoto grafu dochází od 4. minuty k poměrně prudkému nárůstu

hodnot. Tento nárůst probíhá do 16. minuty, kdy jsou dosaženy maximální hodnoty. Pouze u křivky minimálních hodnot je nejvyšší hodnoty dosaženo o minutu dříve. U maximálních hodnot je nejvyšší dosažená intenzita  $10,13 \text{ kW/m}^2$ , u průměrných hodnot je nejvyšší intenzita  $8,65 \text{ kW/m}^2$  a u minimálních hodnot je nejvyšší intenzita  $7,91 \text{ kW/m}^2$ . Především v oblasti maxima je velký rozdíl mezi maximálními a průměrnými hodnotami. Tento rozdíl byl způsoben odlišným průběhem požáru při měření.

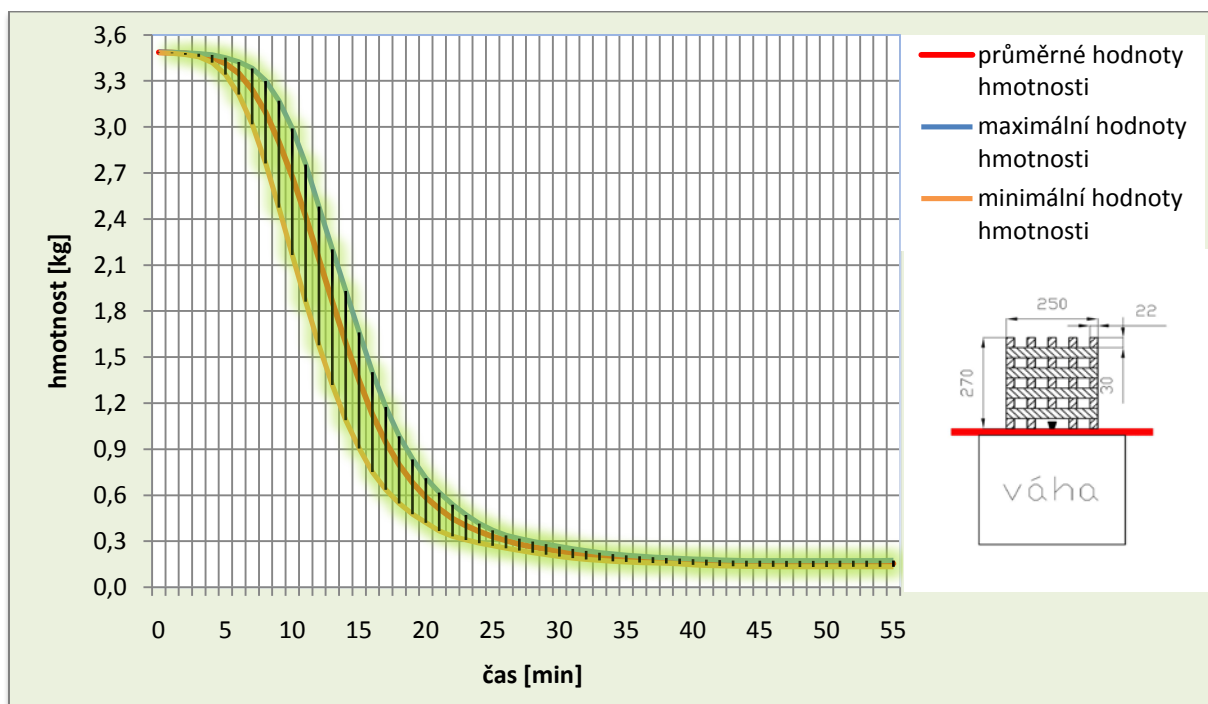


Obr. 4-13: Změna velikosti intenzity tepelného toku v čase

### Změna hmotnosti v čase

Z měření úbytku hmotnosti v čase můžeme dále určit rychlost hoření materiálu. Při samotném měření to však nebylo účelem. Změna hmotnosti v čase je na obr. 4-14. K úbytku většímu než 100 g za minutu docházelo od 6. do 20. minuty. V tento časový interval byla tedy dosažena největší rychlost odhořívání. K největšímu úbytku hmotnosti došlo u maximálních a průměrných hodnot mezi 12. a 13. minutou u minimálních hodnot to bylo mezi 10. a 11. minutou. U maximálních hodnot šlo o pokles o 279 g, u průměrných hodnot o pokles o 280 g a u minimálních hodnot o pokles o 304 g. Od 30. minuty byl pokles u všech křivek nižší než 16 g za minutu. V tomto čase probíhalo ve zbytku vzorku pouze středně intenzivní žhnutí, a proto je tento pokles malý. Od 33. minuty byl již pokles u všech křivek nižší než

10 g za minutu a ve 38. minutě byl již nižší než 5 g za minutu. Nastala tedy fáze zbytkového žhnutí.



Obr. 4-14: Změna hmotnosti v čase

## 5 Vyhodnocení měření

Zpracování výsledků měření je obvykle velmi složitý proces. Je založen na mnoha teoretických a praktických základech, které zasahují do řady oborů. Je to tvůrčí proces, proto nelze vymyslet podrobný návod měření a pouze dosadit výsledky do vzorců. Každé měření musí být řešeno individuálně a tedy jej řešit pro každý případ zvlášť, i když u konkrétních měření často používáme základních vhodně přizpůsobených metod.

Při zpracování výsledků měření se setkáváme s velkým množstvím problémů. Při výpočtech provádíme zpravidla mnoho chyb, a když provádíme opakování výpočtů, můžeme získat značně odlišné výsledky. Pak je velmi obtížné stanovit přesnost pro výpočet.

### 5.1 Chyby měření

V praxi neexistují žádná měření, měřicí přístroje ani měřicí metody, které by byly absolutně přesné. Během měření se můžeme setkávat s různými chybami. Ty můžeme dělit podle působení chyby na systematické, náhodné a hrubé. Podle zdroje chyby se dělí na chyby přístroje, chyby metody, chyby pozorování a chyby vyhodnocování. V této kapitole jsem čerpala ze zdroje [29].

*Systematické chyby* vznikají, pokud jsou použity nevhodné nebo méně vhodné měřicí metody, nepřesným měřidlem nebo měřicím přístrojem, případně osobou pozorovatele. Pokud jsou měření prováděna za stejných podmínek, jsou měřené veličiny zkraslovány pořád stejně (zvětšují nebo zmenšují) a to nezávisle na počtu opakování. Obvykle je odhalíme při porovnání výsledků z jiného přístroje. Pro jejich odstranění je potřeba buď použít přesnější přístroje, nebo zavést korekce. Tento požadavek nelze vždy splnit, proto musíme provést odhad systematických chyb. Systematická chyba musí být vždy větší nebo nejvýše rovna chybě. Tyto chyby ovlivňují správnost výsledku. Pro její stanovení se používá rovnice 5.2.

*Náhodné chyby* se vyskytují při každém měření a nemůžeme je nijak ovlivnit. Pouze na okolnostech měření záleží, jak blízko budeme skutečné hodnotě. Tyto chyby ovlivňují přesnost výsledků. Náhodné chyby se řídí matematickými zákony počtu pravděpodobností. Lze je stanovit statickými metodami z opakovaných měření. Výsledkem je aritmetický průměr naměřených hodnot

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.1)$$



Výsledkem měření je také hodnota veličiny  $x_i$ , která se od skutečné veličiny  $x_0$  liší. Jejich rozdíl je chyba měření  $\varepsilon_i$ . Tento vztah je popsán rovnicí

$$\varepsilon_i = x_i - x_0 \quad (5.2)$$

Chyba určená jako rozdíl naměřené hodnoty a skutečné hodnoty veličiny se nazývá *absolutní chyba*. *Relativní chyba* je stanovena rovnicí

$$\varepsilon_{r,i} = \frac{\varepsilon_i}{x_0} \quad (5.3)$$

*Hrubé chyby* vznikají ojedinělými příčinami, nesprávným zapsáním výsledků, při selhání měřicího přístroje, nebo při špatném nastavení podmínek pokusu. To, že se jedná o hrubou chybu, zjistíme při opakovaném pokusu, kdy se hodnota značně liší od ostatních hodnot.

*Chyby přístroje* jsou vyjádřeny třídou přesností. U analogových měřicích přístrojů určuje třída přesnosti největší přípustnou chybu, se kterou přístroj měří. Tato chyba představuje absolutní chybu hodnoty změřené při daném rozsahu a je udávána v procentech rozsahu celé stupnice. U digitálních přístrojů je maximální chyba určena výrobcem ze dvou složek. Jedna je závislá na velikosti měřené hodnoty a je stanovena v % měřené hodnoty. Druhá závisí buď na použitém rozsahu, nebo je vyjádřena počtem jednotek nejnižšího místa číslicového displeje na zvoleném rozsahu.

*Chyby metody* jsou určeny nedokonalostí či zjednodušením použité měřicí metody (např. jestliže zanedbáme některé členy měřicího obvodu).

*Chyby pozorovací* jsou osobními chybami pozorovatele. Jsou určeny jeho nepozorností nebo nedokonalostí jeho smyslu.

*Chyby výpočtové* vznikají při používání zjednodušených vztahů při zpracování měření a také použitím linearizace, interpolace, extrapolace, zaokrouhlováním a nedostatečným vyčíslováním konstant.

## 5.2 Nejistoty měření

Nejistota měření je parametr přiřazený k výsledku měření, který udává interval hodnot měřené veličiny kolem výsledku měření obsahující skutečnou hodnotu  $x_0$  měřené veličiny. Obecně zahrnuje mnoho složek. Některé z nich lze stanovit na základě statistického rozložení výsledků série měření a charakterizovat výběrovou směrodatnou odchylkou. Nejistota se

nevztahuje pouze na výsledky měření, ale i na měřidla, použité konstanty, korekce, atd. V této kapitole jsem čerpala ze zdroje [29].

Směrodatná odchylka udávané veličiny je mírou nejistoty. Tato nejistota se označuje jako *standardní nejistota*  $u$  a udává rozsah hodnot  $\langle -u, +u \rangle$  okolo naměřené hodnoty, ve které se s danou pravděpodobností nachází skutečná hodnota.

Podle zdroje, ze kterého standardní nejistota vznikla, se dělí na standardní nejistotu typu A a standardní nejistotu typu B.

*Standardní nejistota typu A* ( $u_A$ ) je způsobena náhodnými vlivy, jejichž příčiny nejsou známy. Jsou určovány z opakovaných měření při stále stejných podmínkách na základě statistického přístupu. Její hodnota se zmenšuje se zvyšujícím počtem opakovaných měření. Tato nejistota je rovna výběrové směrodatné odchylce  $\bar{s}$  aritmetického průměru

$$u_A = \bar{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (5.4)$$

Pokud by byl počet opakovaných měření menší než 10, nelze stanovit kvalifikovaný odhad na základě zkušeností, lze ji pouze přibližně stanovit ze vztahu

$$u_A = k_s \bar{s} \quad (5.5)$$

kde  $k_s$  je koeficient, jehož velikost závisí na počtu měření. Čím nižší je počet měření, tím vyšší je hodnota  $k_s$ .

*Standardní nejistota typu B* ( $u_B$ ) se vyvíjejí ze známých a odhadnutelných příčin. Jejich původ může být z různých zdrojů. Jedná se o nedokonalosti způsobené použitými měřicími přístroji a měřicí technikou, použitými měřicími metodami, použitými konstantami, podmínkami, za kterých měření probíhá, nedostatečnými teoretickými znalostmi nebo nedostatečnými praktickými zkušenostmi.

Jsou určovány z odhadu systematických chyb neměřených hodnot. Tato nejistota je stanovena odmocninou ze součtu kvadrátů nejistot od jednotlivých zdrojů. Hodnoty této nejistoty nezávisí na počtu opakovaných měření.

Pokud odhadujeme standardní nejistotu typu B  $u_{Bz}$  ze zdroje Z nejprve odhadneme maximální rozsah odchylek  $\pm \Delta_{Z_{\max}}$  od hodnoty veličiny příslušející zdroji tak, aby překročení

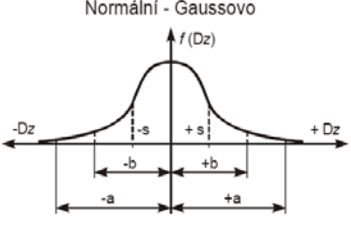
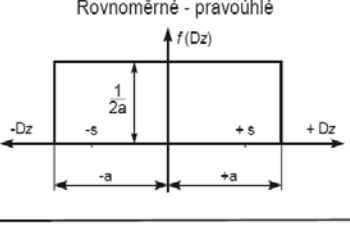
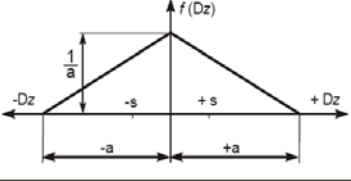
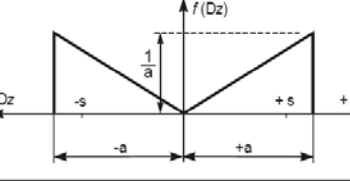
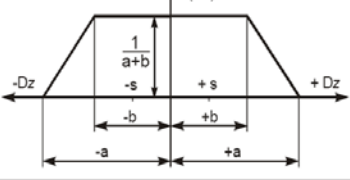
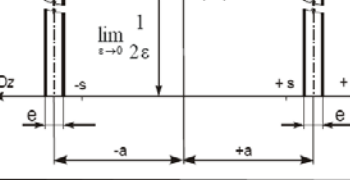
$\Delta z_{\max}$  bylo málo pravděpodobné. Tyto nejistoty se určí jako výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru zdroje

$$u_{Bz_j} = \frac{\Delta z_{j \max}}{\Theta} \quad (5.6)$$

$\Delta z_{j \max}$  - je max. dovolená chyba zdroje

$\Theta$  - parametr, který má hodnotu podle zvoleného pravděpodobnostního rozdělení z tab. 2

**Tab. 2: Rozdělení pravděpodobnosti** [29]

Rozdělení	$z_{\max}$	Q	Rozdělení	$z_{\max}$	Q
Normální - Gaussovo 	a	3	Rovnoměrné - pravoúhlé 	a	$\sqrt{3}$ $\sim 1,73$
	b	2			
Trojúhelníkové-Simpsonovo 	a	$\sqrt{6}$ $\sim 2,45$	Bimodální (trojúhelníkové) 	a	$\sqrt{2}$ $\sim 1,41$
Lichoběžníkové 	a při b=a/3	$\sim 2,32$	Bimodální (Diracovo) 	a	1
	a při b=a/2	$\sim 2,19$			
	a při b=2a/3	$\sim 2,04$			

V tabulce 2 vybereme rozdělení pravděpodobnosti, které nejlépe vystihuje výskyt hodnot  $\Delta z$  v intervalu  $\pm \Delta z_{\max}$ . Pokud pravděpodobnost odchylek s jejich rostoucí hodnotou klesá a největší pravděpodobnost mají odchylky malé, je vhodnou aproximací *normální – Gaussovo rozdělení* nebo *trojúhelníkové – Simpsonovo rozdělení*. V opačném případě použijeme některé rozdělení *bimodální*. *Rovnoměrné rozdělení* použijeme v případě, kdy pravděpodobnost malých i velkých odchylek v intervalu  $\langle -\Delta z_{\max}, +\Delta z_{\max} \rangle$  je přibližně stejná.

Odhadnuté nejistoty jednotlivých zdrojů  $Z_j$  se promítají přes funkční závislost  $X = f(Z_1, \dots, Z_j, \dots, Z_m)$  do nejistoty hodnoty měřené veličiny  $X$  a tvoří její složky  $u_{x,z_j}$ , které se vypočtou ze vztahu

$$u_{x,zj} = A_{x,zj} \cdot u_{z,j} \quad (5.7)$$

kde  $u_{z,j}$  je standardní nejistota odhadu vlivu zdroje  $Z_j$  a  $A_{x,zj}$  je koeficient citlivosti.

Výpočet nejistoty typu B lze provést podle Gaussova zákona rozdělení nejistot

$$u_{Bx} = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{x,zj}^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^m A_{x,zj}^2 \cdot u_{zj}^2} \quad (5.8)$$

### 5.3 Chyby přístrojů udávané výrobcí

Z hlediska chyb, které mohou vzniknout při měření, jsou řešeny pouze chyby přístrojů využívaných pro měření veličin. Ostatní chyby nebyly v práci vyhodnocovány. Chyby přístrojů uváděné výrobcí jsou sepsány v tab. 3.

**Tab. 3: Chyby přístrojů použitých v požární komoře udávané výrobcí**

Druh přístroje	měřící rozsah	přesnost/chyba
Termočlánek typu K	- 200 až 1250 °C	2,2 °C nebo 0,75 %
Snímač atmosférického tlaku	700 až 1050 mbar	± 0,5 %
Fotometr 2008 COOL	5 dekadických řádů	2 % z rozsahu
Analyzační systém pro měření CO <sub>2</sub> , CO a O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>   0 až 20 obj. %	± 1 % z rozsahu
	CO   0 až 5 obj. %	
	O <sub>2</sub>   0 až 25 obj. %	
Snímač tepelného toku SBG 01	150 % z rozsahu (z 50 kW/m <sup>2</sup> až 75 kW/m <sup>2</sup> )	± 3 % ± 2 % + 5 %
Univerzální váha TSC	20 g až 30 kg	± 2 %

## 5.4 Stanovení nejistot měření

Vznik nejistot měření je ovlivněn řadou faktorů. Jedním z nich je, že požár je jev se značně odlišným průběhem. Průběh požáru je závislý na velikosti a způsobu uspořádání prostoru ve kterém probíhá, na přítomnosti otvorů, jejich umístění a velikosti a na druhu a množství paliva a iniciačního zdroje. Dále záleží na tom, jaké veličina je měřena a kde je v komoře umístěn přístroj, který ji vyhodnocuje. Např. u naměřených teplot byl velký rozdíl a to i v desítkách stupňů. Ten se projevuje i na vysokých hodnotách nejistot, kdežto u optické hustoty kouře je maximální rozdíl v desetinách Bellů a proto jsou nejistoty nižší. Těchto faktorů může být mnohem více. Výše byl proveden pouze nástin možného ovlivnění jejich výsledné velikosti.

Po provedení výpočtu jednotlivých standardních nejistot měření se jednotlivé vypočítané nejistoty v každém časovém okamžiku liší. Rozsah těchto nejistot pro jednotlivé naměřené veličiny je uveden níže v tabulce 4.

Tab. 4: Rozsah nejistot naměřených veličin

Měřená veličina	rozsah standardních nejistot měření
Teplota na termočlátku T7	1,02 až 10,21
Teplota na termočlátku S5	1,23 až 13,85
Optická hustota kouře	$0,31 \cdot 10^{-3}$ až $0,25 \cdot 10^{-1}$
Koncentrace CO <sub>2</sub>	$0,62 \cdot 10^{-2}$ až 0,40
Koncentrace CO	$0,94 \cdot 10^{-3}$ až $0,13 \cdot 10^{-1}$
Koncentrace O <sub>2</sub>	$0,78 \cdot 10^{-2}$ až 0,40
Intenzita tepelného toku	$0,23 \cdot 10^{-1}$ až 0,88
Úbytek hmotnosti	$0,67 \cdot 10^{-3}$ až 0,19

Příklady výpočtů standardních nejistot jednotlivých naměřených veličin v 25. minutě po 5 minutách je uveden v příloze F.

## 6 Shrnutí výsledků

Před samotným měřením bylo provedeno kolem 50 pokusných měření. Během nich byla zjištěna řada nedostatků, jež mohou ovlivňovat přesnost měření a jeho výsledky. Proto se v této části budu snažit tyto nedostatky shrnout a navrhnout možná vybavení a opatření, která by mohla být v komoře použita. V budoucnu se díky těmto opatřením mohou zpřesnit naměřené výsledky a další nedostatky mohou být odhaleny příštím intenzivním měřením. Čím více jich bude realizováno, tím spíše mohou být zjištěny.

### 6.1 Zjištěné nedostatky a doporučení možných opatření pro další měření

- Během měření došlo vždy ke zkroucení misky se zkušební vzorkem vlivem působení vysokých teplot. Do komory je proto nutné navrhnout vhodnější misku pod zkušební vzorek a to jak pro vzorek v pevném, tak v kapalném skupenství.
- Rozměry misky pod zkušební vzorek zároveň omezují maximální možnou velikost a výšku zkušebního materiálu (jinak hrozí pád vzorku mimo misku v průběhu měření). Proto musí být provedena pokusná měření, abychom věděli, kolik vzorku je možné použít.
- Váha je ovlivňována vysokými teplotami a hrozí její zničení a ovlivnění naměřených výsledků. Proto je nutné používat navržené odclonění. Do laboratoře jsou určeny dvě váhy. V budoucnu by bylo vhodné vyzkoušet druhou váhu a vyhodnotit, která z nich je do komory vhodnější.
- Na optice detektoru a analyzátoru se usazují drobné částičky prachu, které jdou odstranit vlhkým hadrem. Tento problém je nutné vyřešit. Jedním z možných řešení je pokusit se zvýšit tlak na ofukování okének. Tuto problematiku je však nutné konzultovat s výrobcem.
- Při protnutí paprsku mezi vysílačem a detektorem občas dochází k přerušení spojení mezi ústřednou přístroje pro měření optické hustoty kouře a počítačem. Před měřením je tak nutné zkontrolovat zda k tomuto přerušení nedošlo.
- Pokud se zvýší umístění vysílače a detektoru bude obtížnější manipulace a údržba (čištění a seřizování souososti). Zároveň se ve vyšších úrovních dosahuje vyšších teplot. Přístroj je omezen do prostředí s teplotou 150 °C. Pak by muselo dojít buď

k omezení množství zkušebního vzorku (u něj jsou vlastnosti odlišné a proto je použité množství různé), nebo k umístění přístroje mimo komoru.

- Měření optické hustoty kouře je v současné době prováděno pouze v jedné výškové úrovni. V budoucnu by bylo vhodné provést měření pro různé výšky. Ještě lepší by bylo provádět měření alespoň ve dvou výškových úrovních naráz. Pro tyto účely by se musel zakoupit ještě jeden přístroj.
- V komoře se používá radiometr s velkým měřicím rozsahem. Měření požárů o malém tepelném výkonu je pak poznamenáno velkou chybou. Vhodné by bylo pořídit minimálně 2 radiometry o měřicím rozsahu do 10 nebo do 20 kW/m<sup>2</sup>. Díky nižšímu měřicímu rozsahu by došlo k zpřesnění naměřených výsledků (měřicí rozsah radiometru může být překročen o 50 %). Druhý radiometr by sloužil pro porovnání hodnot (použití minimálně dvou radiometrů je také doporučováno výrobcem).
- Pokud je překročen určitý tlak vody napojené na chlazení radiometru, dochází k odpojování silikonových hadiček. Při zapínání a vypínání vody pro chlazení přístrojů je třeba dodržovat stejné otevření kohoutků.
- V komoře chybí výšková stupnice pro lepší odhad výšky plamene. Na stěny komory by proto bylo dobré umístit dvě výškové stupnice pro přesnější určování výšky plamenů.
- Odběr vzorku pro analyzátor plynů je prováděn pouze v jedné výškové úrovni. Bylo by vhodné provést konstrukční opatření pro možnost změny výšky odběru a ještě vhodnější by bylo provádět analýzu alespoň na dvou místech zároveň.
- Analýza koncentrací spalin je omezena pouze na koncentrace CO<sub>2</sub>, CO a O<sub>2</sub>. V budoucnu by bylo dobré opatřit laboratoř analyzátozem i jiných plynů např. NO<sub>x</sub>.
- Výsledné hodnoty z analyzátoru plynů zaznamenávají pomocí ústředny ALMENO jsou poznamenány chybou z časového prodlení. S tímto prodlením je nutné počítat při vyhodnocování výsledků měření. Bylo by také vhodné konzultovat s dodavatelem možné přímé propojení analyzátoru s počítačem.
- Není možné spustit všechna měření v jeden časový okamžik. Proto by bylo vhodné vymyslet technické řešení, které by to umožnilo.

- V současné době je nevhodně provedena konstrukce přívodního a odvodního potrubí vzduchu pro umístění Prandtlových trubic. Toto řešení neumožňuje správné umístění a použití trubic (dle požadavků výrobce pro jejich správnou funkci).
- Také jsou špatně navrženy výplně a velikosti oken osazených ve stěnách komory. Při provedení prvních pokusů okna popraskala v rozích, a proto byla provizorně zastíněna pomocí sádrokartonu. Vlivem vysokých teplot se ze sádrokartonu uvolňují plynné složky, které nám mohou ovlivňovat výsledky měření. Přes drátěné sklo nejdou provádět dobré snímky průběhu zkoušky. V budoucnu by bylo vhodné současné výplně odstranit a nahradit menšími průzory např. z křemenného skla.
- Při vstupu do komory je třeba si dávat pozor na to, jestli jsou desky na stropě zasunuté. Zřejmě vlivem velké změny teplot se desky posouvají. Proto doporučuji, aby každý předtím než vstoupí do komory, zkontroloval pohledem strop.

V budoucnu by bylo dobré zakoupit generátor kouře pro zkoušení optické hustoty kouře. Ten umožní provádění zkoušek bez zatížení vysokými teplotami a potřeby zkušební vzorku. Množství vytvořeného kouře bude vždy stejné a tak bude možné provést měření v různých výškových úrovních. Naměřené výsledky by bylo také vhodné porovnat s výsledky simulací provedenými počítačovými programy. Například s výsledky z programu Fire dynamics simulator.



## Závěr

Tato diplomová práce byla experimentální prací. Zaměřovala se především na sledování změny veličin v požární komoře. Vzhledem k tomu, že se jednalo o první měření realizované pouze v rámci fakulty za použití přístrojového vybavení, bylo prvotním cílem vytvořit zjednodušené návody na ovládání těchto přístrojů pro budoucí měření. Vzhledem k tomu, že se jednalo o první měření, nemohla jím být řešena a obsažena veškerá problematika, pro kterou je komora určena a vybavena.

Prvním úkolem bylo seznámit se a naučit se zacházet s přístrojovým vybavením a pokusit se stanovit co nejoptimálnější nastavení a umístění v komoře. Dále bylo řešeno určení maximálního množství zkušebního materiálu a stanovení potřebného množství podpalovací tekutiny. To bylo realizováno pokusnými měřeními. Pokusných měření bylo provedeno kolem 50 a během nich byly také odhaleny nedostatky a závady, které nám mohly ovlivňovat výsledky měření.

Hlavní část diplomové práce se věnuje popisu průběhu a vyhodnocení 10 měření požáru dřevěných hraniček v komoře za srovnatelných počátečních podmínek. Při měření se sledovala změna fyzikálních veličin v čase. Všechny naměřené výsledky pak byly vyhodnoceny a porovnány mezi sebou. Vzhledem k tomu, že náplní zkoušek bylo měření parametrů spojených s požárem, není překvapující, že se výsledky pohybují v určitém rozpětí. Každý průběh požáru je totiž individuální záležitostí, ale i tak se řídí jistými danými pravidly.

Při měření byla zjištěna řada nedostatků, které jsou spojené právě s tím, že se zde dříve neměřilo. V komoře je potřeba udělat několik stavebních a konstrukčních úprav a také by se měla dovybavit dalšími přístroji pro ještě lepší výsledky a pro provádění dalších možných zkoušek. Některé návrhy jsou sepsány ve shrnutí výsledků.

V budoucnu by bylo dobré zkoumat jednotlivé veličiny samostatně a do hloubky. Naměřené výsledky by bylo zajímavé porovnat s výsledky získanými pomocí simulace počítačovými programy. Simulace by mohla být provedena např. v programu Fire dynamics simulator. Pomocí porovnávání provedených zkoušek lze tyto programy neustále zdokonalovat, aby se jejich simulace co nejvíce přibližovala reálným průběhům. To však nebylo náplní této práce. Toto je jen nástin pro další měření a záleží pouze na uvážení a potřebě, jakým směrem se bude výzkum ubírat.

Tato práce by mohla usnadnit počáteční seznamování s přístrojovým vybavením komory, s jejich nedostatky a s problematikou spojenou s měřením. Další studenti nebo pracovníci na ni mohou navázat a inspirovat se pro další provádění pokusů.

## Použitá literatura

### Knižní publikace

- [1] BALOG, K., KVARČÁK, M.: *Dynamika požáru*. 1. vyd. Ostrava: EDICE SPBI SPEKTRUM 22, 1999, 118 s. ISBN 80-86111-44-X.
- [2] Firma MARPO s.r.o. *Projektová dokumentace*. 2005.
- [3] FOUKAL, L.: *Přístrojové vybavení požárně technické komory laboratoře požárně bezpečnostního zařízení*. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava. 2008. 40 s.
- [4] ISO 9705:1993 – *Fire test – Full – scale room test for surface products*. Ženeva. ISO 1993.
- [5] KAČÍKOVÁ, D., NETOPILOVÁ, M., OSVALD, A.: *Drevo a jeho termická degradácia*. SPBI. Ostrava 2006. ISBN 80-86634-78-7.
- [6] KARLSSON, B., QUINTIERE, J. G.: *Enclosure Fire Dynamics*. London: CRC Press LLC, 2000. ISBN 0-8493-1300-7.
- [7] KVARČÁK, M.: *Základy požární ochrany*. 1. vyd. Ostrava: EDICE SPBI SPEKTRUM 44, 2005, 134 s. ISBN 80-86634-76-0.

### Manuály k přístrojům

- [8] AHLBORN. *Měřicí ústředna ALMENO 5690-2M : Návod k použití*. [s. n.], 4. 4. 2006. 74 s.
- [9] AHLBORN. *Snímač atmosférického tlaku*. [online]. [cit. 2010-03-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.ahlborn.cz/cs/produkt/snimac-atmosferickeho-tlaku-fda612sa/>>.
- [10] Hukseflux Thermal Sensors. *Water cooled heat flux sensor according to Schmidt-Boelter : User Manual, SBG01 manual vision 0803*. [s. n.], March 2008. 33 s.
- [11] CHROMSERVIS. *Infračervený analyzátor plynů MODEL 7500 : Návod pro obsluhu*. [s. n.], 2006. 17 s.
- [12] CHROMSERVIS. *Analyzační systém pro měření CO, CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> ve spalínách : Návod pro obsluhu*. [s. n.], 2006. 7 s.
- [13] *Dynamické rychlostní sondy AIRFLOW : Návod k použití*. [online]. 2009 [cit. 2010-03-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.airflow.cz/pdf/pdfnavody/dynamicke.pdf>>.

- [14] Id LAB. *FOTOMETER 2008 – specifikace* [online]. [cit. 2010-01-05]. Dostupný z WWW: <[http://idlab.cz/doc/f8\\_datasheet\\_cz.pdf](http://idlab.cz/doc/f8_datasheet_cz.pdf)>.
- [15] Id LAB. *FOTOMETER 2008 COOL: měření optické hustoty – uživatelský manuál* [online]. [cit. 2009-12-29]. Dostupný z WWW: <[http://idlab.cz/doc/fotometer\\_cooled\\_guide\\_cz.pdf](http://idlab.cz/doc/fotometer_cooled_guide_cz.pdf)>.
- [16] Id LAB. *Komunikační protokol pro Fotometr 2008* [online]. [cit. 2010-01-05]. Dostupný z WWW: <[http://idlab.cz/doc/fotometer2008\\_protokol\\_cz.pdf](http://idlab.cz/doc/fotometer2008_protokol_cz.pdf)>.
- [17] Vahy.net. *Vyhodnocovací jednotka elektronických vah LD 5204 – 06: Návod k obsluze* [online]. [cit. 2009-12-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.vahy.net/cz/produkty/navody/000069.pdf>>.
- [18] Vahy.net. *Vyhodnocovací jednotka elektronických vah LD 5204 – 06: Leták produktu* [online]. [cit. 2009-12-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.vahy.net/cz/produkty/nahledy/000069.pdf>>.
- [19] Vahy.net. *Univerzální váha TCS: Leták produktu* [online]. [cit. 2009-12-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.vahy.net/cz/produkty/nahledy/TCSIND.pdf>>.

## Internetové zdroje

- [20] Fakulta bezpečnostního inženýrství. *Studijní materiály: Stanovení spalného tepla a výpočet výhřevnosti materiálů podle ČSN 44 1352, ČSN EN ISO 1716* [online]. 2009 [cit. 2010-02-20]. Dostupný z WWW: <[http://prometheus.vsb.cz/materialy/NM/pdf/spalne\\_teplo.pdf](http://prometheus.vsb.cz/materialy/NM/pdf/spalne_teplo.pdf)>.
- [21] Firma OMEGA. *Horní teplotní mez holých drátů v závislosti na průměru* [online]. c1995-2009 [cit. 2010-03-17]. Dostupný z WWW: <[http://www.omega.com/temperature/pdf/tc\\_temp\\_limits\\_range.pdf](http://www.omega.com/temperature/pdf/tc_temp_limits_range.pdf)>.
- [22] Firma OMEGA. *Měření teploty* [online]. c1995-2009 [cit. 2009-12-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/prodinfo/temperaturemeasurement.html>>.
- [23] Firma OMEGA. *Termočlánky* [online]. c1995-2009 [cit. 2009-12-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/prodinfo/thermocouples.html>>.
- [24] Firma OMEGA. *Termočlánkové dráty* [online]. c1995-2009 [cit. 2009-12-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/prodinfo/ThermocoupleWire.html>>.

- [25] Lesnická a dřevařská fakulta. Ústav nauky o dřevě. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva: Tepelné vlastnosti dřeva* [online]. [cit. 2010-02-20]. Dostupný z WWW: <<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/49>>.
- [26] Průtoky.cz. *Proudění, rychlost a průtok plynů: Prandtlovy trubice* [online]. [cit. 2009-12-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.prutoky.cz/plyny/prandtlovy-trubice/>>.
- [27] Průtoky.cz. *Příklady měřících metod průtoku* [online]. [cit. 2009-12-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.prutoky.cz/kapaliny/teorie/prilady-mericich-metod/#kpm-ppt>>.
- [28] Severochema Liberec. *Bezpečnostní list – Líh technický*. [online]. [cit. 2010-02-15]. Dostupný z WWW: <[http://www.severochema.cz/res/product\\_file/539\\_218.pdf](http://www.severochema.cz/res/product_file/539_218.pdf)>.
- [29] VŠCHT Praha: Ústav fyziky a měřící techniky. *Nejistoty měření a zpracování výsledků*. [online]. 2001 [cit. 2010-03-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/uhrovah/skripta/kapitolaIV.pdf>>.
- [30] Výzkumný a vývojový ústav dřevařský Praha. *Ochrana dřeva 2005: Sborník přednášek: Dřevo, fyzikální a mechanické vlastnosti, vady dřeva, vlhkost a sušení dřeva* [online]. Březnice 2005 [cit. 2010-01-09]. Dostupný z WWW: <[http://drevari.humlak.cz/data\\_web/Data\\_skola/HUdrevva/2](http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdrevva/2)>.
- [31] Výzkumný a vývojový ústav dřevařský Praha. *Ochrana dřeva 2005: Sborník přednášek: Hoření dřeva a jeho ochrana proti ohni* [online]. Březnice 2005 [cit. 2010-01-09]. Dostupný z WWW: <[http://drevari.humlak.cz/data\\_web/Data\\_skola/HUdrevva/12](http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdrevva/12)>.
- [32] Wikipedie. *Celulóza* [online]. 25. 9. 2009. [cit. 2010-01-04]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Celul%C3%B3za>>.
- [33] Wikipedie. *Hemicelulóza* [online]. 8. 1. 2010. [cit. 2010-01-10]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Hemicelul%C3%B3za>>.

## Seznam obrázků

Obr. 1-1: Průběh požáru .....	6
Obr. 3-1: Kalorimetr IKA C 200 .....	24
Obr. 3-2: Zařízení na stanovení vlhkosti materiálů .....	25
Obr. 3-3: Hoření dřeva <sup>[31]</sup> .....	26
Obr. 4-1: Zkušební materiál a provedení umístění a odclonění váhy .....	28
Obr. 4-2: Způsob vyskládání vzorku (rozměry v mm) .....	29
Obr. 4-3: Ústředna, vysílač a detektor přístroje pro měření optické hustoty kouře .....	30
Obr. 4-4: Odběrná trubička, zařízení pro úpravu vzorku a analyzační jednotka.....	30
Obr. 4-5: Radiometr a jeho umístění během měření .....	31
Obr. 4-6: Zjednodušené schéma metodiky měření .....	32
Obr. 4-7: Teplotní závislost na termočlátku T7 v čase .....	42
Obr. 4-8: Teplotní závislost na termočlátku S5 v čase.....	43
Obr. 4-9: Změna optické hustoty kouře v čase .....	44
Obr. 4-10: Změna koncentrace CO <sub>2</sub> v čase.....	45
Obr. 4-11: Změna koncentrace CO v čase .....	46
Obr. 4-12: Změna koncentrace O <sub>2</sub> v čase.....	47
Obr. 4-13: Změna velikosti intenzity tepelného toku v čase.....	48
Obr. 4-14: Změna hmotnosti v čase .....	49

## Seznam tabulek

<b>Tab. 1: Základní fyzikální charakteristiky technického lihu <sup>[27]</sup></b> .....	<b>27</b>
<b>Tab. 2: Rozdělení pravděpodobnosti <sup>[28]</sup></b> .....	<b>53</b>
<b>Tab. 3: Chyby přístrojů použitých v požární komoře udávané výrobcí.....</b>	<b>54</b>
<b>Tab. 4: Rozsah nejistot měřených veličin.....</b>	<b>55</b>

## **Seznam příloh**

**Příloha A: Zjednodušené výkresy komory**

**Příloha B: Vliv na horní teplotní mez, teplotní rozsah a přesnost u termočlánků**

**Příloha C: Rozmístění přístrojů v požární komoře**

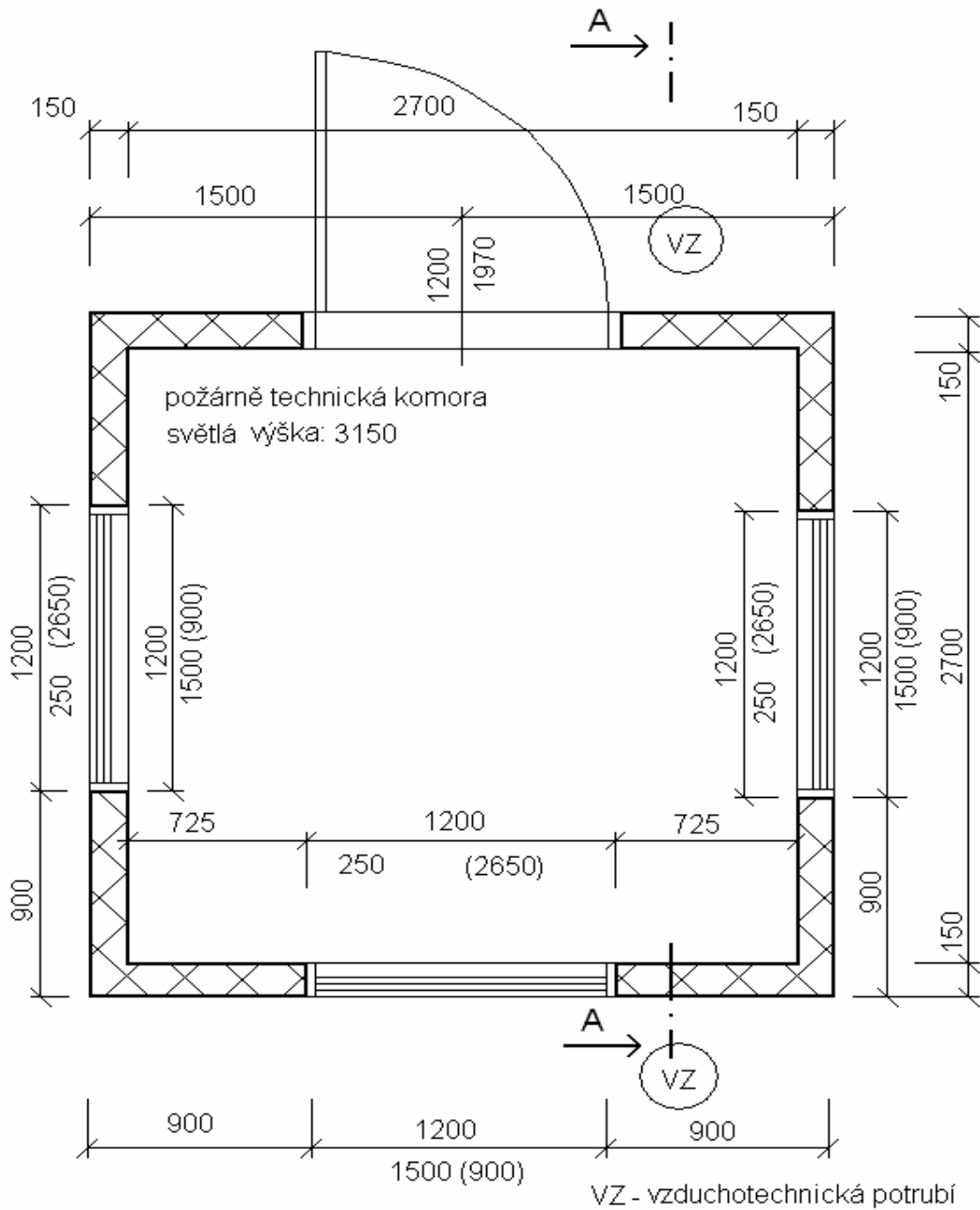
**Příloha D: Postupy měření**

**Příloha E: Grafy naměřených hodnot**

**Příloha F: Příklad výpočtů standardních nejistot**

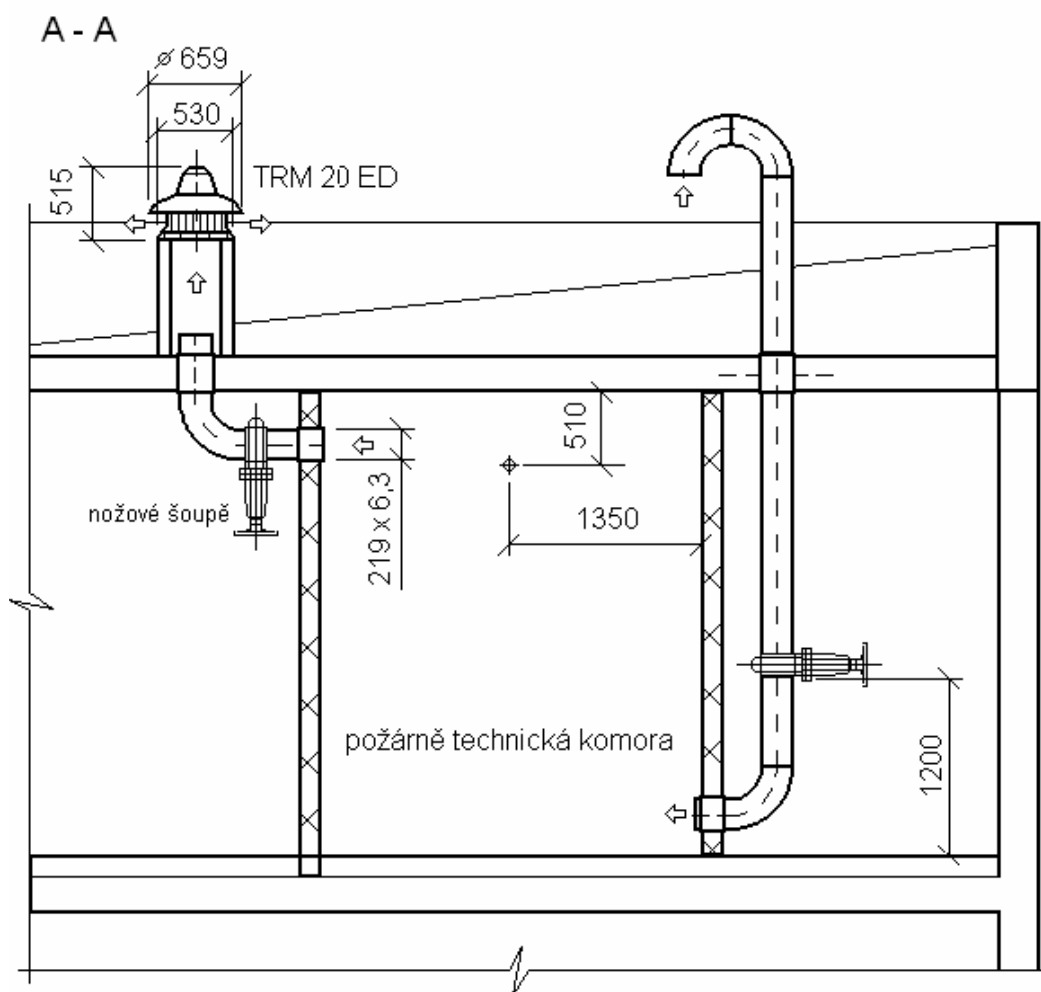
## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

## Příloha A: Zjednodušené výkresy komory

Obr. A - 1: Půdorys komory (rozměry v milimetrech)<sup>[3]</sup>



## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

Obr. A - 2: Řez A-A (rozměry v milimetrech)<sup>[3]</sup>

## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

## Příloha B: Vliv na horní teplotní mez, teplotní rozsah a přesnost u termočlánků

Tab. B-1: Horní teplotní mez ve °C (°F) holých drátů v závislosti na průměru drátu <sup>[21]</sup>

T/C Type	Velikost drátu						
	8 AWG 0.128"	14 AWG 0.064"	20 AWG 0.032"	24 AWG 0.020"	28 AWG 0.013"	30 AWG 0.010"	36 AWG 0.005"
<b>J</b>	760 (1400)	590 (1100)	480 (900)	370 (700)	370 (700)	320 (600)	315 (590)
<b>K</b>	1260 (2300)	1090 (2000)	980 (1800)	870 (1600)	870 (1600)	760 (1400)	590 (1100)
<b>E</b>	870 (1600)	650 (1200)	540 (1000)	430 (800)	430 (800)	370 (700)	320 (600)
<b>T</b>	370 (700)	370 (700)	260 (500)	200 (400)	200 (400)	150 (300)	
<b>RX/SX</b>	200 (400)	200 (400)	200 (400)	200 (400)	200 (400)	150 (300)	
<b>N</b>	1260 (2300)	1090 (2000)	980 (1800)	980 (1800)	980 (1800)	870 (1600)	
<b>CX</b>	472 (800)	472 (800)	472 (800)	472 (800)	472 (800)	400 (752)	

Tab. B-2: Horní teplotní mez OMEGACLAD ve °C (°F) v závislosti na průměru opláštění <sup>[21]</sup>

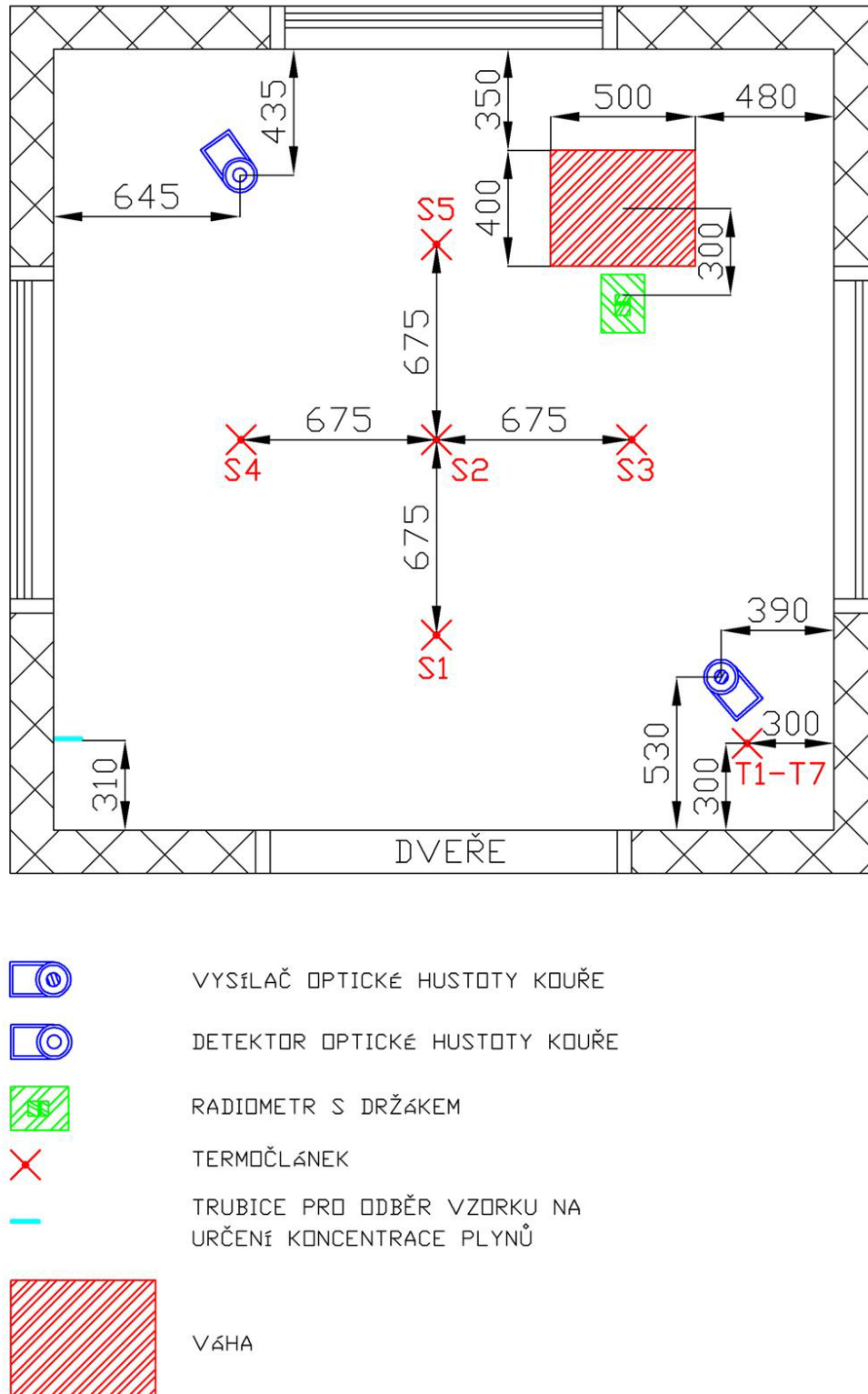
OPLÁŠTĚNÍ T/C Dia.	0.020" 0.5 mm	0.032" 0.8 mm	0.040" 1.0 mm	0.062" 1.6 mm	0.093" 2.4 mm	0.125" 3.2 mm	0.188" 4.8 mm	0.250" 6.3 mm
<b>J</b>	260 (500)	260 (500)	260 (500)	440 (825)	480 (900)	520 (970)	620 (1150)	720 (1300)
<b>K &amp; N</b>	700 (1290)	700 (1290)	700 (1290)	920 (1690)	1000 (1830)	1070 (1960)	1150 (2100)	1150 (2100)
<b>E</b>	300 (570)	300 (570)	300 (570)	510 (950)	580 (1075)	650 (1200)	730 (1350)	820 (1510)
<b>T</b>	260 (500)	260 (500)	260 (500)	260 (500)	260 (500)	315 (600)	370 (700)	370 (700)

Tab. B-3: Teplotní rozsah a přesnost běžných termočlánků <sup>[23]</sup>

Teplotní rozsahy běžných termočlánků			
Kalibrace	Teplotní rozsah	Standardní přesn.	Výběrová přesn.
<b>J</b>	0°C až 750°C (32°F až 1382°F)	Více než 2.2°C nebo 0.75%	Více než 1.1°C nebo 0.4%
<b>K</b>	-200°C až 1250°C (-328°F až 2282°F)	Více než 2.2°C nebo 0.75%	Více než 1.1°C nebo 0.4%
<b>E</b>	-200°C až 900°C (-328°F až 1652°F)	Více než 1.7°C nebo 0.5%	Více než 1.0°C nebo 0.4%
<b>T</b>	-250°C až 350°C (-328°F až 662°F)	Více než 1.0°C nebo 0.75%	Více než 0.5°C nebo 0.4%

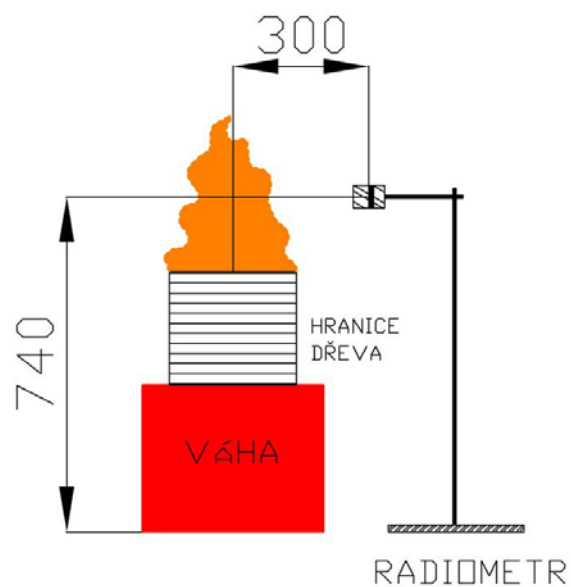
## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

## Příloha C: Rozmístění přístrojů v požární komoře

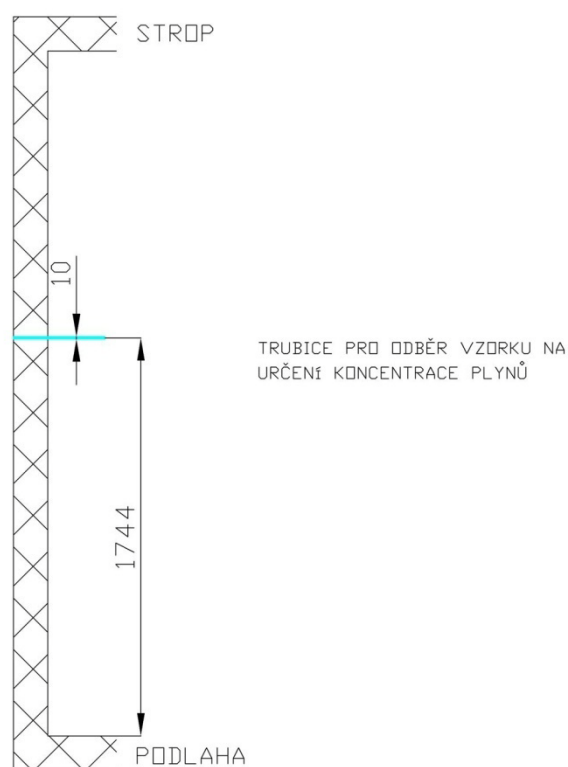


Obr. C - 1: Rozmístění přístrojů v požární komoře (rozměry v mm)

## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

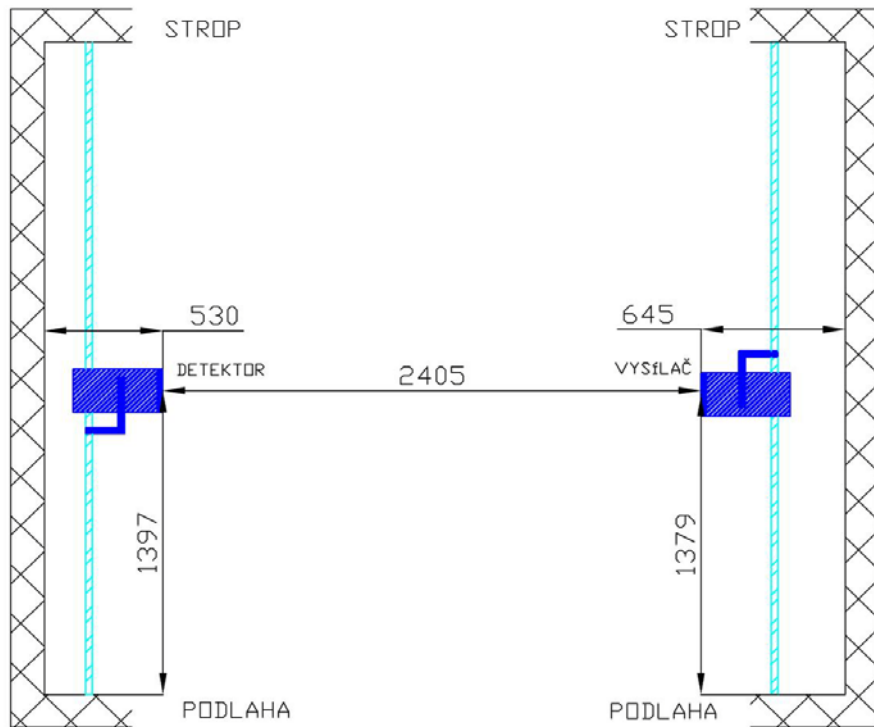


Obr. C - 2: Umístění radiometru od hranice (rozměry v mm)

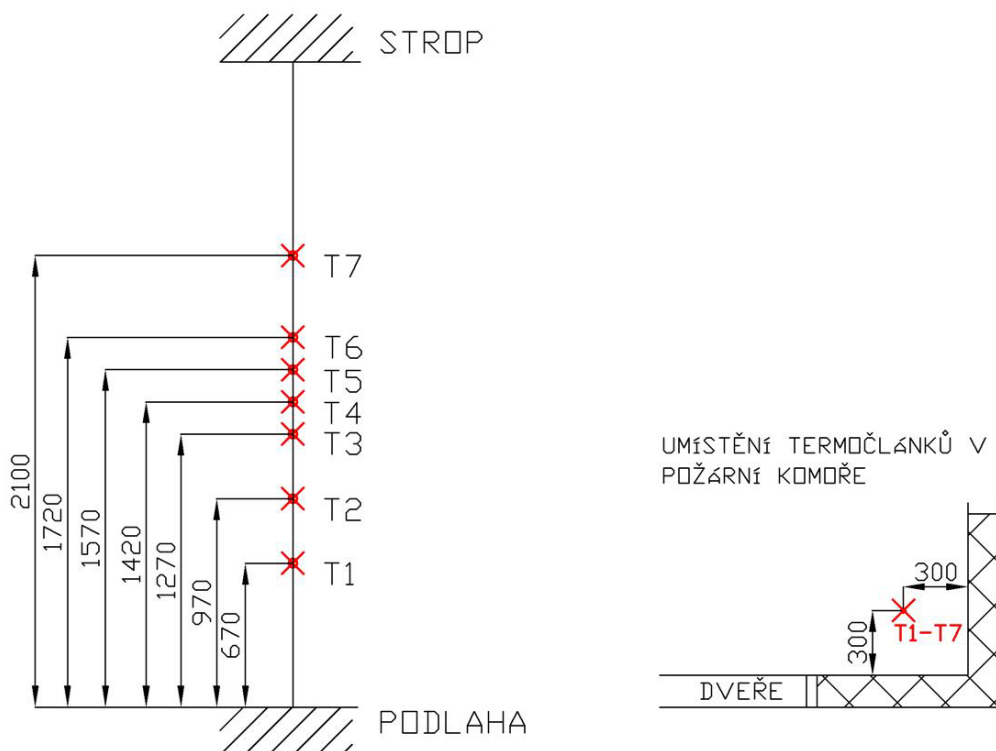


Obr. C - 3: Výškové umístění trubice pro odběr vzorku na určení koncentrace plynů (rozměry v mm)

## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

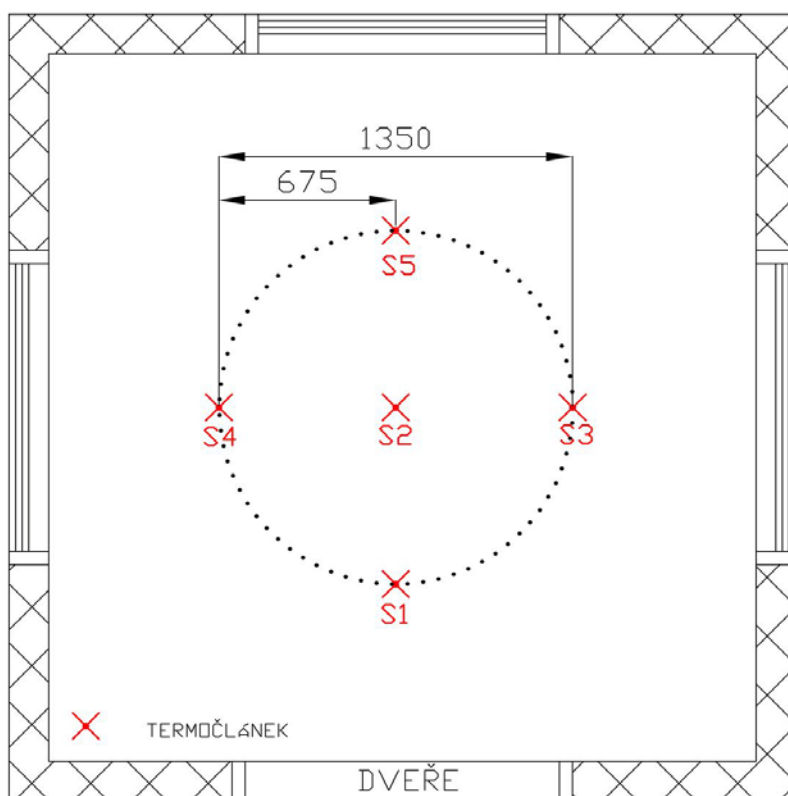


Obr. C - 4: Umístění vysílače a detektoru přístroje optické hustoty kouře (rozměry v mm)



Obr. C - 5: Výškové rozmístění termočlánků v požární komoře na stěně (rozměry v mm)

## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře



Obr. C - 6: Rozmístění termočlánků v požární komoře na stropě (rozměry v mm)

## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

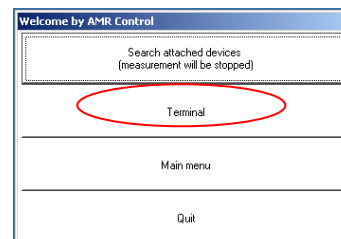
## Příloha D: Postupy měření

## Postup při měření pomocí ústředny ALMENO 5690-2



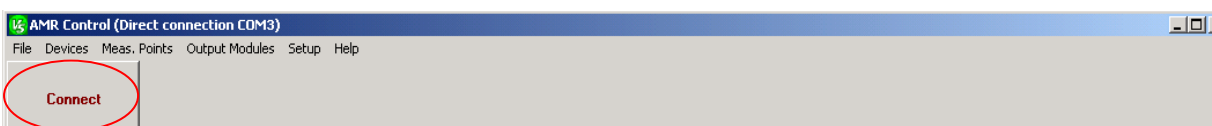
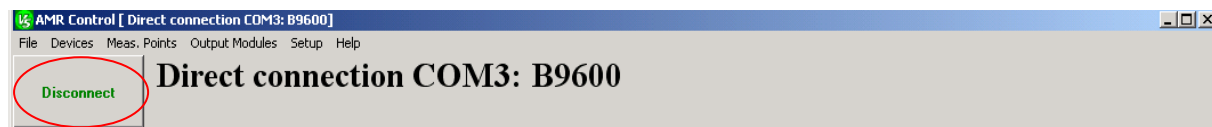
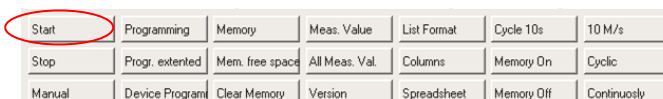
Na ploše si spusťte ikonu AMR Control 5.13

Po spuštění této ikonky se objeví tabulka o 4 polích. Z nich zvolte druhou položku *Terminal*. Otevře se nám další tabulka pro ovládání ústředny počítačem. Na ústředně je nastavený interval odečtu naměřených hodnot na 10 s. Tento interval se dá libovolně měnit.



Pro změnu intervalu si na ústředně zvolte *PROGRAMMIER-Menüs =>Zeiten, Zyklen =>* šipku doprava => zmáčkneme ON PROG a tmavě se nám označí některá položka => pomocí šipek najed'te na pole *Zyklus* (tmavě se nám označí) znovu zmáčkněte ON PROG a pomocí šipek si nastavte požadovaný interval odečtu hodnot. Zvolenou hodnotu potvrdíte opět pomocí ON PROG. Tímto způsobem lze měnit i např. aktuální čas, datum, atd. Aby se hodnoty do počítače zapisovaly, musí být v menu *Zeiten, Zyklus* zatrhnuto: *Cont* a *Speichern*. Pokud tomu tak není a je zde -, musíte to u příslušné položky změnit pomocí ON PROG.

Pro spuštění měření stiskněte tlačítko *Start*. V tom okamžiku by se měly začít zapisovat hodnoty ve zvoleném časovém intervalu a na ústředně se rozsvítí kontrolky *START* a *COM* a bliká kontrolka *REC*. Pokud se tak nestalo, zkuste v následující tabulce zmáčknout tlačítko *Disconnect* a znovu *Connect*.



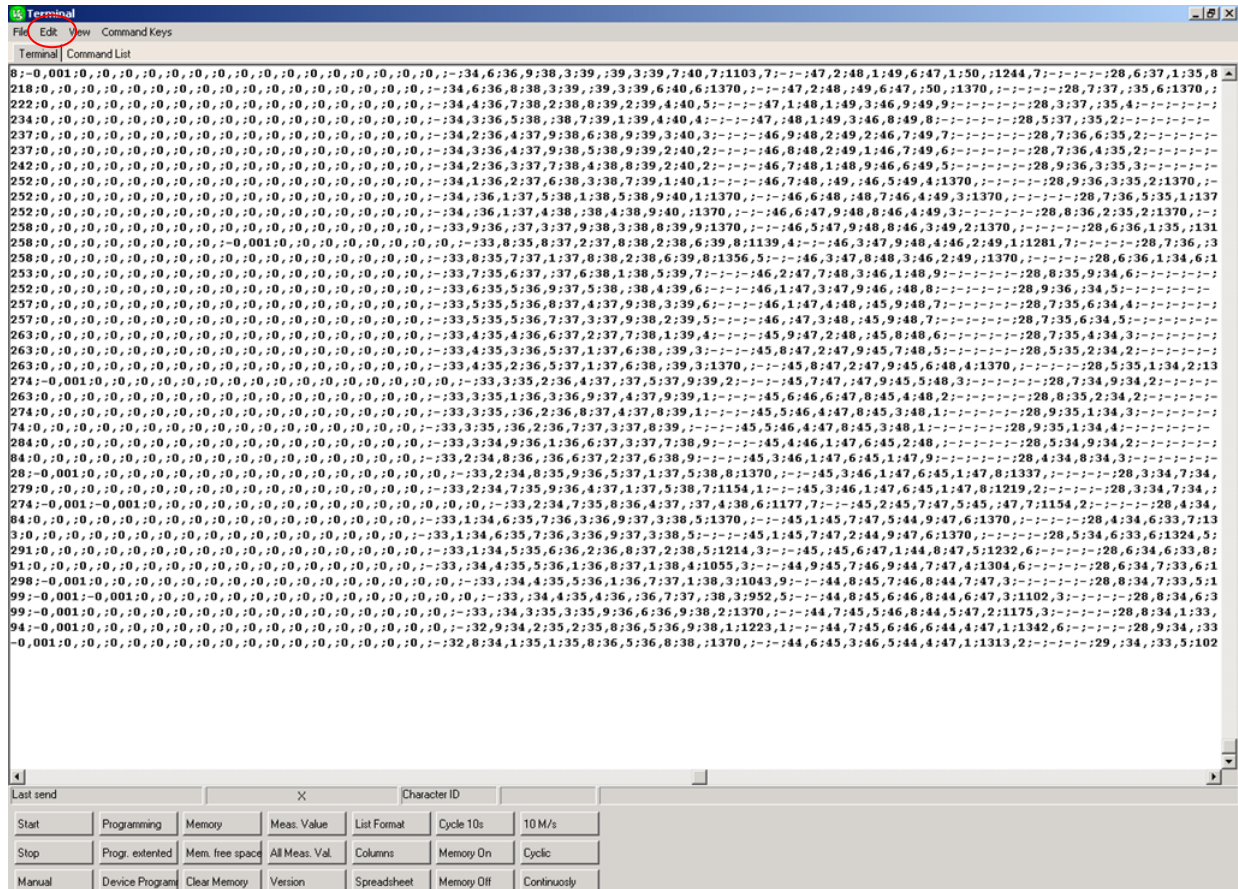
Pokud i to nepomůže, zkontrolujte nastavení na ústředně.

Pro zastavení měření stiskněte tlačítko *Stop*. V tom okamžiku přestanou kontrolky na ústředně *START* a *COM* svítit a *REC* blikat.

Naměřená data zůstanou zobrazená v tabulce. Pro jejich uložení zvolte záložku *Edit => Copy All =>* a uložte naměřené hodnoty do programu Microsoft Office Excel. Všechny hodnoty se uloží do jednoho sloupce. Pro jejich rozřídění označte sloupec s hodnotami a použijte záložku *Data => zvolte Text do sloupců => Typ zdrojových dat - Oddělovač => Oddělovače - středník a tabulátor => Dokončit*.

Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

Pro další měření si musíme tabulku vyčistit. Zvolíme opět záložku Edit => Clear.



Pokud chcete získat větší znalosti pro ovládní ústředny ALMENO 5690-2, je nutné si nastudovat návod k použití.



## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

## Postup při měření optické hustoty kouře



Na ploše spusťte ikonu *Měření optické hustoty kouře*.

Po startu tohoto programu se zobrazí tabulka s měřeními údaji. V ní je zobrazena intenzita světla, zvolený rozsah, optická hustota a teploty uvnitř detektoru a zdroje světla. Aby se optická hustota začala vypočítávat, musíte zmáčknout tlačítko *Resetovat* (tím nastavíte referenci pro výpočet optické hustoty). Tlačítko *Resetovat* zmáčkněte v okamžiku, kdy je vyčištěna optika na přístroji a paprsek je správně nastaven pomocí zrcátka. Zaškrtnutím pole *Tepl. komp.* se zapne teplotní kompenzace intenzity podle kalibračních dat.

Před zahájení ukládání dat je vhodné si vyplnit parametry měření pro pozdější lepší orientaci. Pak si zvolíme *interval odečtu*. Tento interval volíme tak, aby byl shodný s časovými intervaly ostatních měřících zařízení (ústředna Almeno a Evidence vážných dat).

Pro zahájení ukládání dat měření se stiskne tlačítko *Start*. Pokud necháme zaškrtnuté *generovat název automaticky*, vytvoří se název podle aktuálního data a času počátku měření. Soubor je pak uložen do složky *Temp* na disku *C*. Pokud chceme název souboru zadat sami, můžeme jej zapsat do textového pole. Pro ukončení ukládání dat měření stačí stisknout tlačítko *Stop*.

Během měření lze bez přerušení měnit interval odečtu, ukládat poznámky např. pro slovní popis dějů a zobrazovat naměřená data. Poznámku vložíme, když vyplníme textové políčko (pod *Vložit poznámku*) a stiskneme tlačítko *Vložit*. Tato vložená poznámka je pak připsána do datového souboru a také zobrazena v grafu jako svislá čára s popiskou. Naměřená data lze během měření zobrazovat do grafů nebo tabulky. Pro zobrazení dat do tabulky stiskněte tlačítko *Tabulka*. V tabulce jsou zobrazena ve sloupcích čas odečtu, intenzita světla, optická hustota, teplota detektoru a zdroje světla a korekční koeficient teplotní kompenzace. Aby se nám data vykreslila do grafů, musíme zmáčknout tlačítko *Graf INT* (intenzity světla) nebo *Graf OD* (optické hustoty). Pro viditelnost všech naměřených dat je nutné přizpůsobit měřítko. To uděláme stisknutím tlačítka *Přizpůsobit měřítko*. Pokud zaškrtneme pole *Automatické měřítko*, přizpůsobuje program

Čas	INT	OD	T DET	T SRC	T COMP	INT RAW
00:55:10	52122.90	0.136	14.390	72.680	1.000	52125.000
00:55:00	52079.90	0.137	14.400	72.720	1.000	52082.000
00:54:50	52072.90	0.137	14.420	72.710	1.000	52075.000
00:54:40	52072.90	0.137	14.420	72.710	1.000	52075.000
00:54:30	52072.90	0.137	14.420	72.720	1.000	52075.000
00:54:20	52054.90	0.137	14.440	72.740	1.000	52057.000
00:54:10	52067.90	0.137	14.460	72.740	1.000	52070.000
00:54:00	52038.90	0.137	14.460	72.750	1.000	52041.000
00:53:50	52036.90	0.137	14.470	72.770	1.000	52039.000
00:53:40	52024.90	0.137	14.480	72.790	1.000	52027.000
00:53:30	52041.90	0.137	14.480	72.810	1.000	52044.000
00:53:20	52028.90	0.137	14.490	72.850	1.000	52031.000
00:53:10	52004.90	0.137	14.510	72.860	1.000	52007.000

## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

měřítka grafu automaticky tak, aby byla stále všechna data viditelná. Časová osa grafů se také může měnit výběrem a označením hodnoty pod údajem *Časové měřítko grafů*.

Kalibrování zařízení provedete v záložce *Kalibrace*, kde postupujete podle předepsaných pokynů. Ke kalibraci musíte nastavit vysílač a detektor tak, aby jste dosáhli co nejvyšší intenzity a dále potřebujete filtry, které se umísťují na detektor zařízení a to podle přesně předepsaných pokynů.

Měření Kalibrace	
Intenzita	56298
Rozsah	100 000
Optická hustota	0.1027
<input type="button" value="Resetovat"/>	
Teplota [degC]	
Zdroj	71.18
Detektor	12.26
<input type="checkbox"/> Tepl. komp.	

Pokud chcete získat větší znalosti pro ovládání ústředny optické hustoty kouře, je nutné si nastudovat návod k použití.

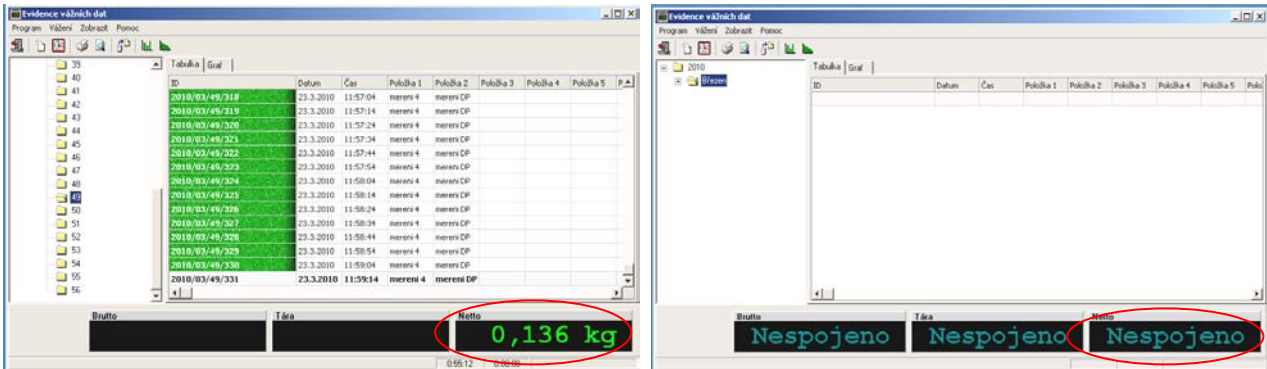
## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

## Postup při měření úbytku hmotnosti v čase

Na ploše si spusťte ikonku Evidence vážních dat.



Po spuštění se objeví tabulka Evidence vážních dat. Je-li váha propojená s počítačem, zobrazí se ve spodní části tabulky aktuální hmotnost, která odpovídá údajům zobrazeným na displeji panelu. V případě, kdy váha propojená není, zobrazí se *Nespojeno*.

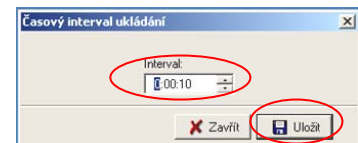


Pokud je váha ustálená. Je zobrazený údaj hmotnosti zelený, pokud ne, pak je červený.



Pro spuštění měření klikněte na ikonku s hodinami. Otevře se tabulka, pomocí které se nastaví časový interval ukládání. Časový interval volte takový, aby byl shodný s intervaly

nastavenými na ústředně Almeno a programu pro zaznamenávání optické hustoty. Po vyplnění časového intervalu dejte *Uložit* a objeví se Karta vážení. Pro lepší přehled je dobré vyplnit např. do Položky 1 název měření, pro zpětné dohledání.



Pro spuštění měření stiskněte tlačítko *Uložit*. Od okamžiku stisknutí tlačítka začíná záznam hodnot a ikonka hodin *zezelená*. Pro zastavení měření opět stiskněte ikonku hodin (opět *zšedne*).

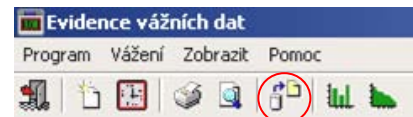



Hodnoty jsou při spuštění záznamu hodnot automaticky ukládány do složky. Ta má číselné označení a je uložena do složky aktuálního roku a měsíce.


Naměřené hodnoty můžeme sledovat a zobrazovat buď v tabulkové formě, nebo ve formě grafu. V průběhu záznamu hodnot program vykresluje graf v časové závislosti.


## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

Hodnoty uložené ve složce lze exportovat do úpravy csv. Všechny hodnoty se uloží do jednoho sloupce. Pro jejich rozřídění označte sloupec s hodnotami a použijte záložku *Data* => zvolte *Text do sloupců* => Typ zdrojových dat - *Oddělovač* => Oddělovače - čárka a tabulátor => *Dokončit*. Pro lepší použitelnost dat pro vykreslování grafu, je vhodné ještě rozdělit sloupec s hmotností. Pro oddělení pak použijte mezeru a tabulátor. V jednom sloupci budete mít číselné hodnoty a v dalším sloupci kg.

**Základní prvky pro ovládání vyhodnocovací jednotky vah**

*Spuštění a vypínání* vyhodnocovací jednotky vah provedete následujícím tlačítkem.  Pokud chcete vyhodnocovací jednotku vypnout, musí být tlačítko stisknuto po dobu min. 3s.

Pokud se nám při zapnutí váhy *objeví error*, smažeme jej pomocí tohoto tlačítka.  Tímto tlačítkem můžete dále *nastavovat ruční nulu* a zároveň funguje jako *ESC*. Ruční nulu lze nastavit, pokud je váha ustálena a je v rozsahu  $\pm 2\%$  z maximálního rozsahu.

Na panelu lze *nastavit Táru*. Tlačítko na nastavení Táry je následující.  Při nastavení Táry se nám aktuální hmotnost, která je na váze nastaví jako 0. Pokud na váhu přidáme další zatížení, zobrazí se přesná hmotnost vloženého zatížení. V počítači je hmotnost zobrazena v políčku Netto a na vyhodnocovací jednotce svítí kontrolka NET.

Při stisknutí následujícího tlačítka se na krátkou dobu ukáže aktuální hodnota Táry. 

Pro získání větších znalostí k ovládání vyhodnocovací jednotky váhy, je nutné si nastudovat návod k obsluze.

## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

**Návod pro ovládání analyzačního systému pro měření CO, CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> ve spalínách**

Nejdříve zapněte jistič v malé rozvodnici, který je umístěn vedle vyhřívaného filtru 32 C. Jeho sepnutím dojde k zapnutí vyhřívání filtru, spuštění chlazení vymrazovací jednotky a spuštění peristaltiky. Po přibližně 3 minutách se rozsvítí zelená kontrolka „READY“ a po dalších 3 minutách je dosaženo požadované teploty 5 °C.

Presvědčte se, že jsou odvodní hadice peristaltického čerpadla svedené do odpadní nádoby a že není zaslepen vstup do trubice pro odběr vzorku umístěné v komoře. Dále zkontrolujte, že je trojcestný ventil v analyzační skříni v poloze „VZOREK“ a jehlový ventil „REGULACE ODBĚRU“ je uzavřen.

Pokud by byl analyzátor zcela vypnutý, nebo by došlo k výpadku elektrické energie, je nutné jej nechat 2 hodiny stabilizovat. Teprve potom je možné měřit.

Nyní můžete zapnout čerpadlo v analyzační skříni (zelený vypínač). Ověřte, že je nastaven průtok 1 l/min. Pokud tomu tak není, nastavte požadovaný průtok pomocí „REGULACE BYPASSU“.

Nulování analyzátoru doporučuji provádět před každým měřením. Kalibrování je vhodné provádět v okamžiku, kdy se na přístroji ukazují nesmyslné hodnoty, nebo po uplynutí předepsané doby od poslední kalibrace. Doporučený interval kalibrace od výrobce je jednou za jeden až dva týdny. Obecně však platí, že čím častěji je kalibrace prováděna, tím jsou výsledky přesnější. Při intenzivním měření v komoře je pak lepší provádět kalibraci častěji.

Jako nulovací plyn je používán N<sub>2</sub> (přibližně 99,99 %) a kalibrační plyn je směs plynů CO 4,56 obj. %, O<sub>2</sub> 4,63 obj. %, CO<sub>2</sub> 17,96 obj. % a N<sub>2</sub> 72,85 obj. %.

**Postup při nulování**

- Vypněte čerpadlo vzorku (zelený vypínač).
- Přepněte trojcestný ventil na panelu analyzační skříně do polohy „KALIBRACE“.
- Otevřete tlakovou láhev s nulovacím plynem a na regulátoru lahve nastavte tlak 0,5 až 1 bar.
- Přepněte ventil „NULOVACÍ PLYN“ do pozice „1“ a příslušným tlakovým regulátorem na panelu nastavte průtok analyzátozem 1 l/min. Průtok nastavujte pouze příslušným regulátorem pro nulovací plyn, který je umístěn ve spodní části analyzační skříně. Ventil u průtokoměru nechte v nastavené poloze. Nebudete pak muset znovu seřizovat průtok vzorku.
- Stiskněte tlačítko „ZERO“. Tím se dostanete do režimu manuální kalibrace. Kanál, u kterého se bude provádět nulování, je označen ztmaveným kurzorem. U nulování je nastaveno, že se provádí naráz pro všechny komponenty.
- Stiskněte tlačítko „ENT“ a vyčkejte stabilizace hodnot na displeji analyzátoru. Kurzor se přesune doprava k číselným hodnotám, které budou vynulovány. Po krátké stabilizaci zmačkněte ještě jednou „ENT“ a všechny kanály jsou vynulovány.
- Přepněte ventil do polohy „0“ a zavřete hlavní ventil na láhvi s nulovacím plynem.

## Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

- Pokud nebudete kalibrovat, přepněte trojcestný ventil do polohy „VZOREK“ a zapněte čerpadlo.

**Postup při kalibrování**

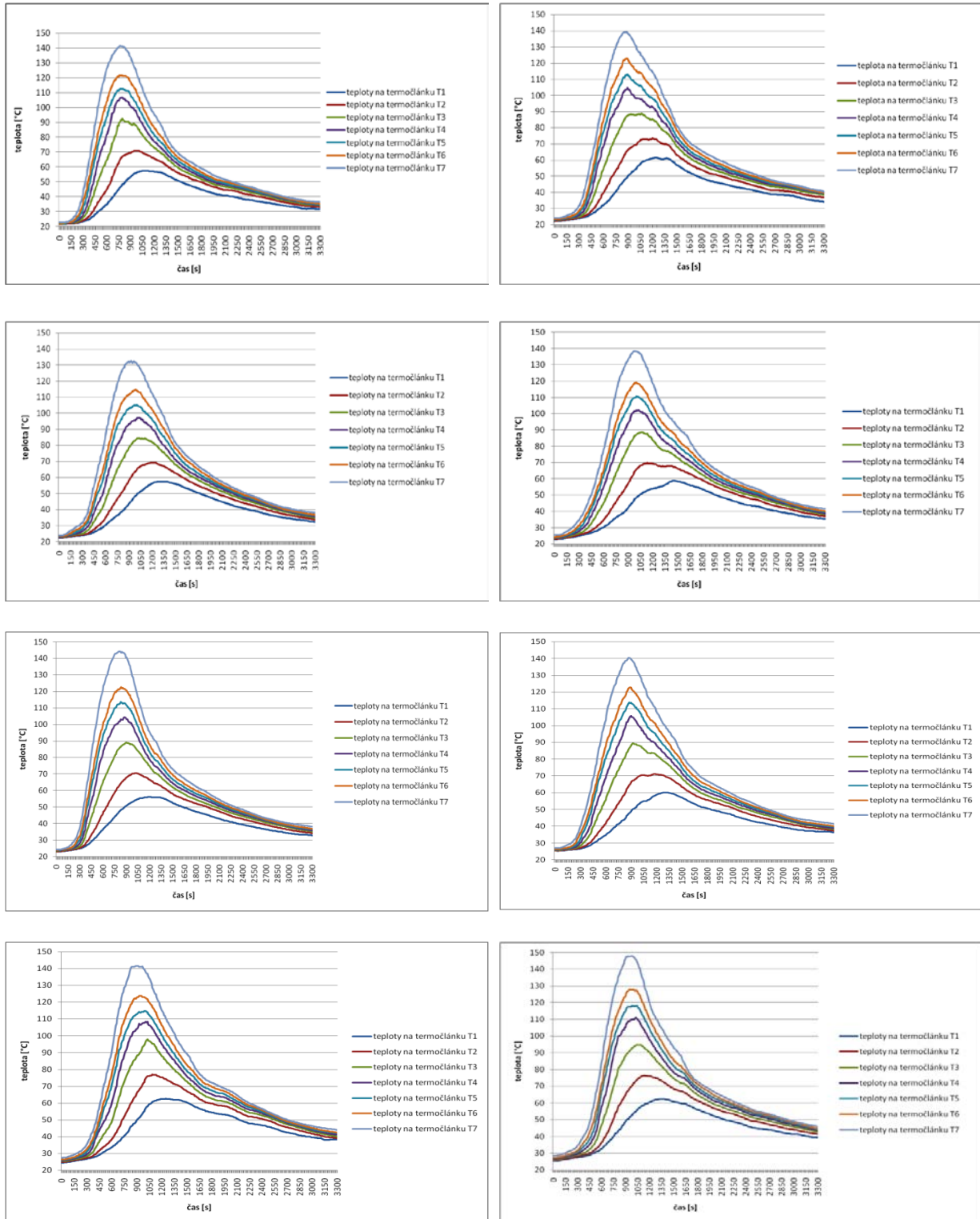
- Čerpadlo musí být vypnuto a trojcestný ventil na panelu analyzační skříně je v poloze „KALIBRACE“.
- U kanálu O<sub>2</sub> je nutné změnit měřicí rozsah. Pro změnu stiskněte tlačítko „MODE“. Tím vstoupíte do uživatelského režimu. Kurzor musíte mít na pozici „Changeover of Range“ (změna rozsahu) a stiskněte „ENT“. Objeví se obrazovka „Channel Selection“ (výběr kanálu). Vyberte kanál číslo 3 pro O<sub>2</sub> a potvrďte volbu tlačítkem „ENT“. Kurzor se přemístí doprava a pomocí šipek nahoru nebo dolů vyberete rozsah 0-10 vol % a opět potvrďte tlačítkem „ENT“. Nyní můžete u tohoto kanálu provést kalibraci.
- Otevřete tlakovou láhev s kalibračním plynem a na regulátoru lahve nastavte tlak 0,5 až 1 bar.
- Přepněte ventil „KALIBRAČNÍ PLYN“ do pozice „1“ a příslušným tlakovým regulátorem na panelu nastavte průtok analyzátořem 1 l/min. Průtok nastavujte pouze příslušným regulátorem pro nulovací plyn, který je umístěn ve spodní části analyzační skříně. Ventil u průtokoměru nechte v nastavené poloze. Nebudete pak muset znovu seřizovat průtok vzorku.
- Stiskněte tlačítko „SPAM“. Tím se dostanete do režimu manuální kalibrace. Kanál, u kterého se bude provádět nulování, je označen ztmaveným kurzorem. Kalibrování se provádí pro každý kanál samostatně.
- Postupně pro jednotlivé kanály stiskněte tlačítko „ENT“ a vyčkejte stabilizace hodnoty na displeji analyzátořu. Kurzor se přemístí doprava k příslušné číselné hodnotě. Po krátké stabilizace zmačkněte ještě jednou „ENT“ a kanál je kalibrován na hodnotu z kalibračního plynu.
- Po nakalibrování všech kanálů přepněte ventil do polohy „0“ a zavřete hlavní ventil na láhvi s kalibračním plynem.
- Přepněte trojcestný ventil zpět do polohy „VZOREK“.
- U kanálu O<sub>2</sub> je nutné opět změnit měřicí rozsah. Pro změnu stiskněte tlačítko „MODE“. Kurzor musíte mít na pozici „Changeover of Range“ (změna rozsahu) a stiskněte „ENT“. Objeví se obrazovka „Channel Selection“ (výběr kanálu). Vyberte kanál číslo 3 pro O<sub>2</sub> a potvrďte volbu tlačítkem „ENT“. Kurzor se přemístí doprava a pomocí šipek nahoru nebo dolů vyberete rozsah 0-25 vol % a opět potvrďte tlačítkem „ENT“.
- Zapněte čerpadlo (zelený vypínač).
- Pro kyslík je ještě nutné provést kalibraci vzduchem. Při ní necháváte zapnuté čerpadlo. Stiskněte tlačítko „SPAM“ a vyberete si kanál číslo 3 pro O<sub>2</sub>. Dále stiskněte tlačítko „ENT“ a kurzor se přesune doprava. Volbu potvrďte opět tlačítkem „ENT“ a hodnota O<sub>2</sub> se upraví na 20,94 obj. %.
- Nyní je analyzátoř nakalibrován.

Pokud chcete získat větší znalosti pro ovládání analyzačního systému, je nutné si nastudovat návody pro obsluhu.

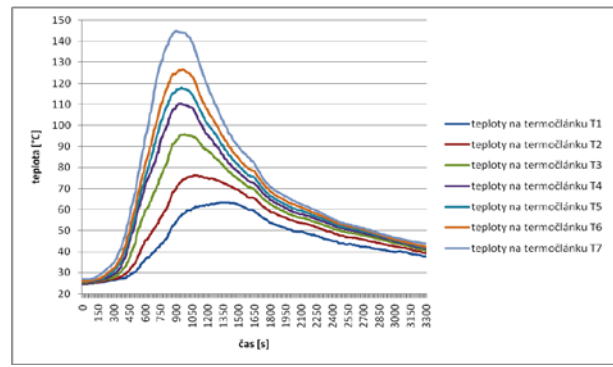
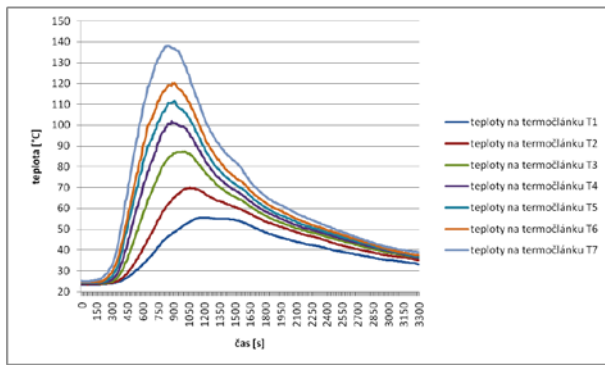


**Příloha E: Grafy naměřených hodnot**

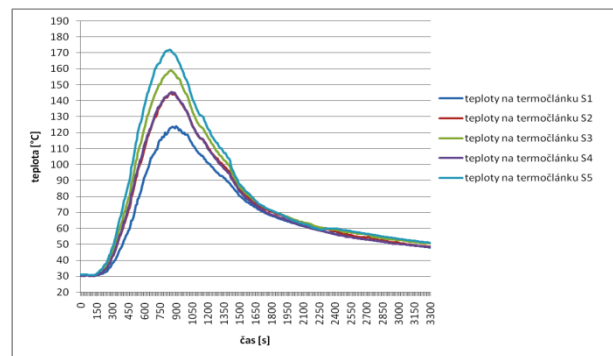
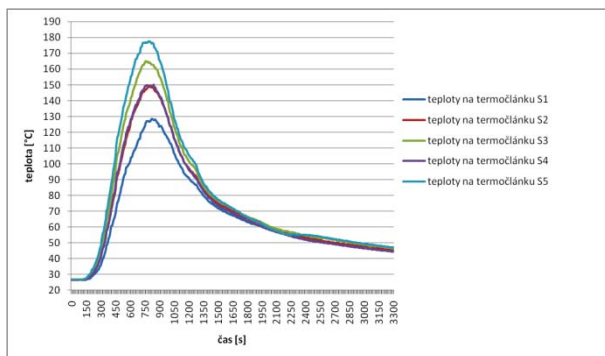
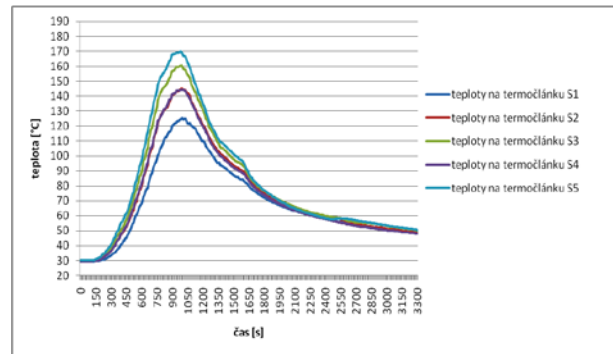
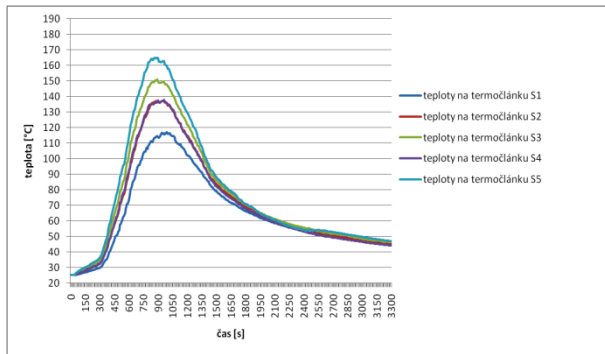
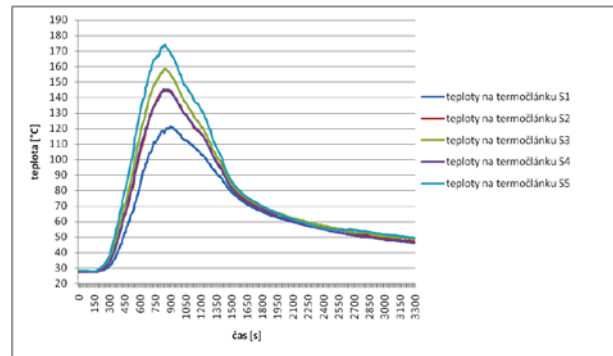
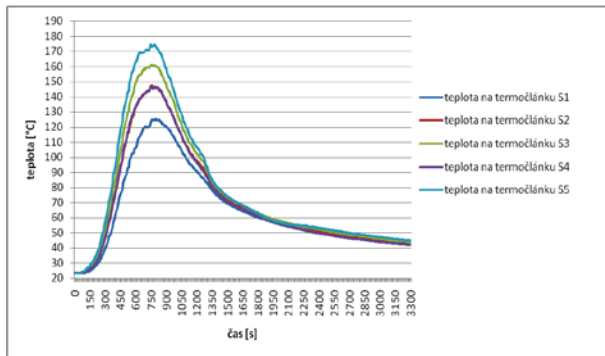
**Změna teplot na termočláncích umístěných na stěně**



Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

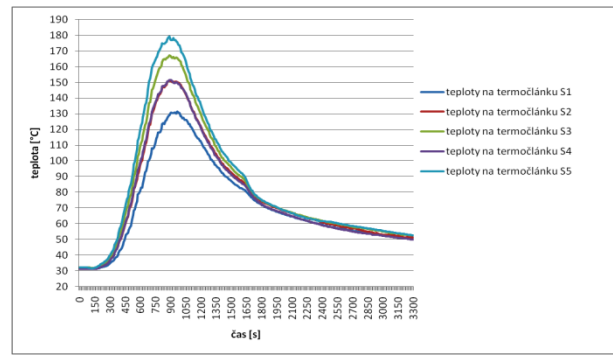
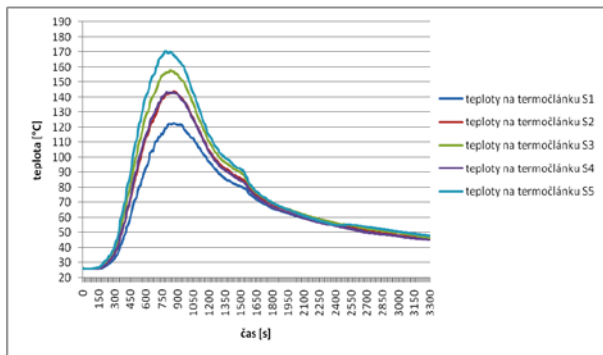
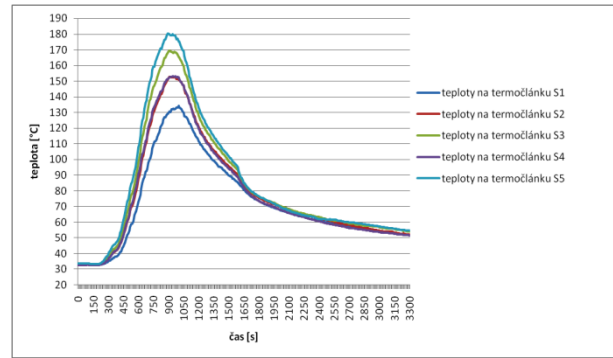
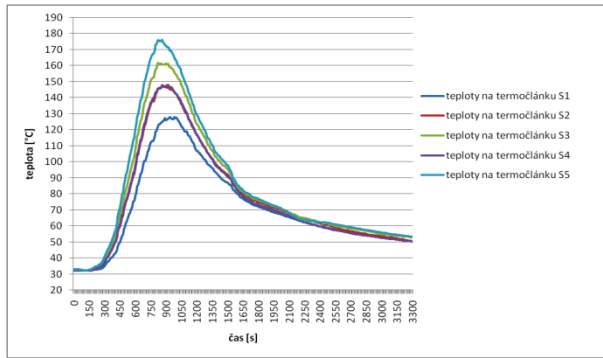


Změna teplot na termočláncích umístěných na stropě

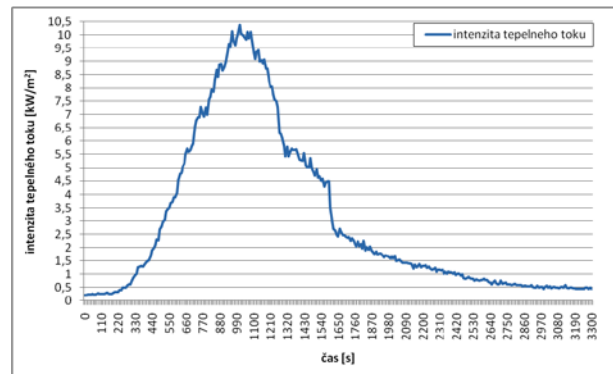
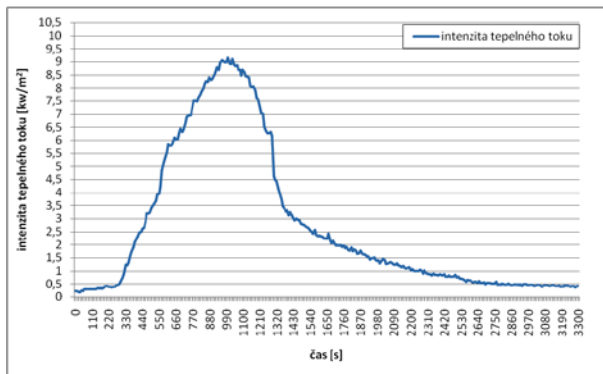
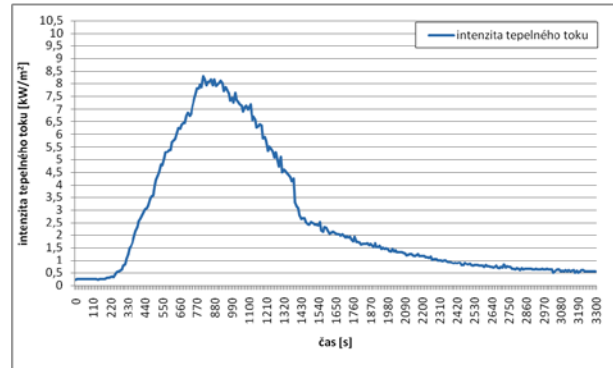
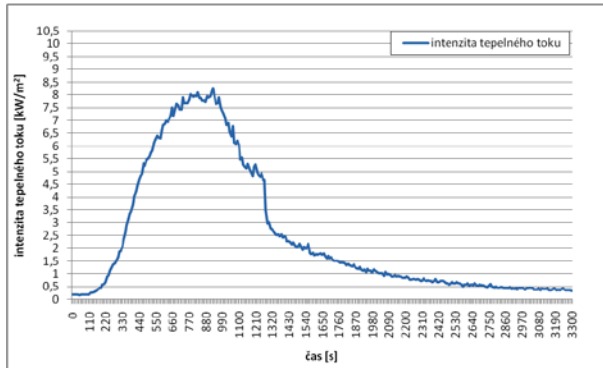




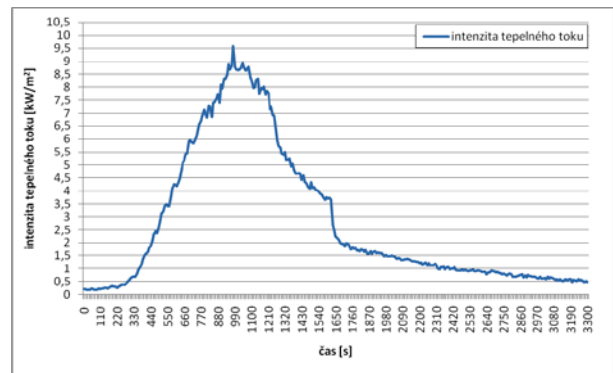
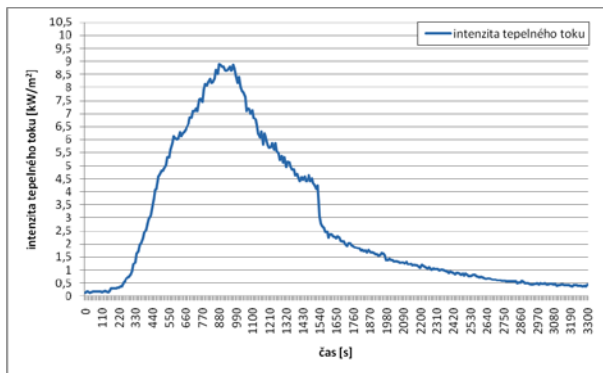
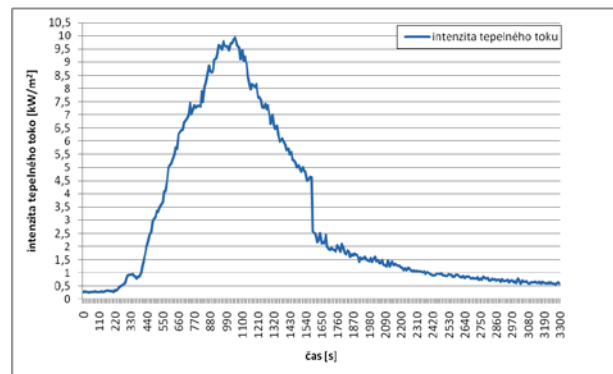
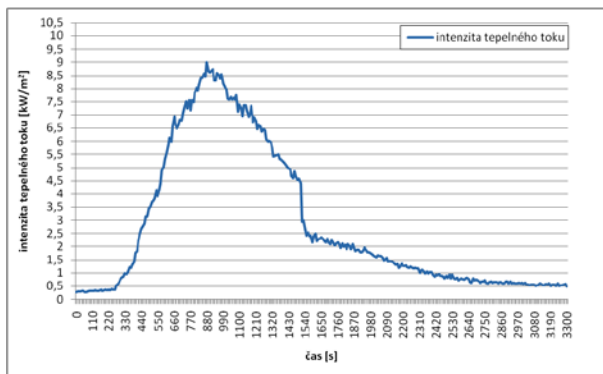
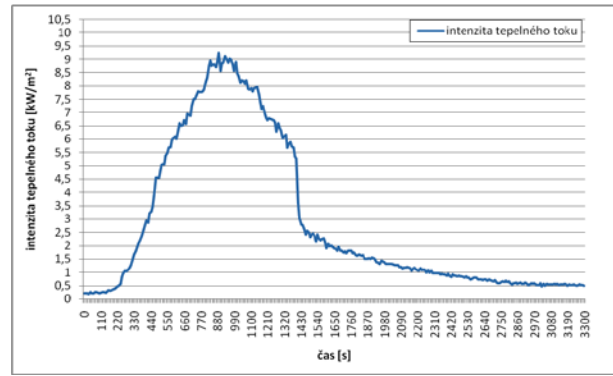
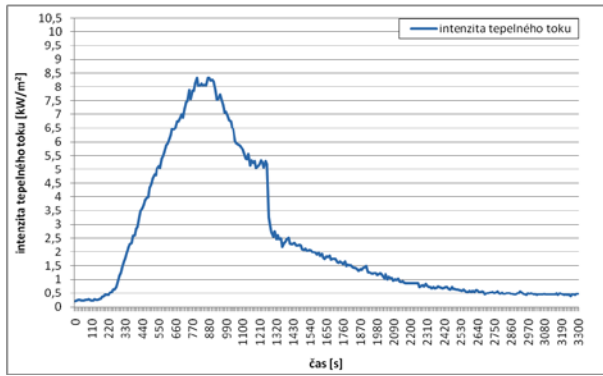
Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře



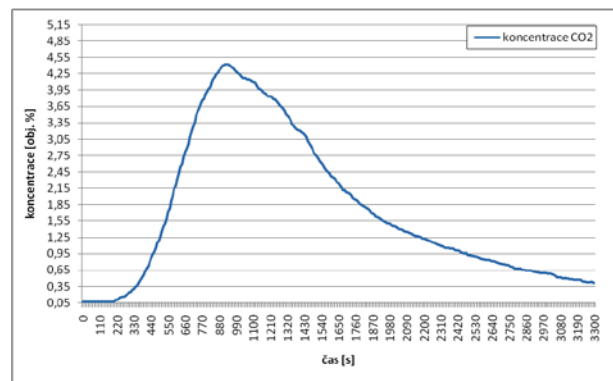
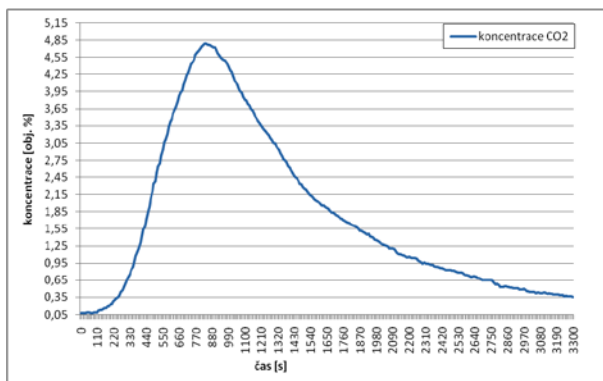
Změna intenzity tepelného toku v čase



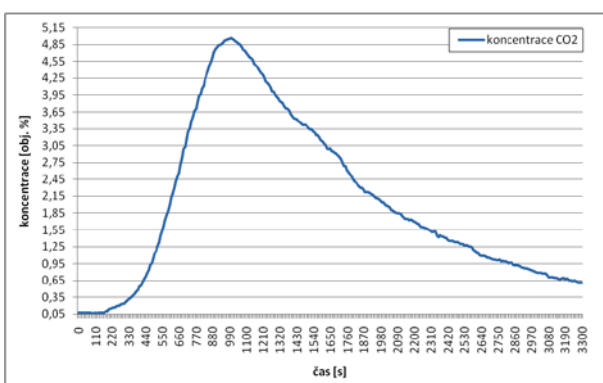
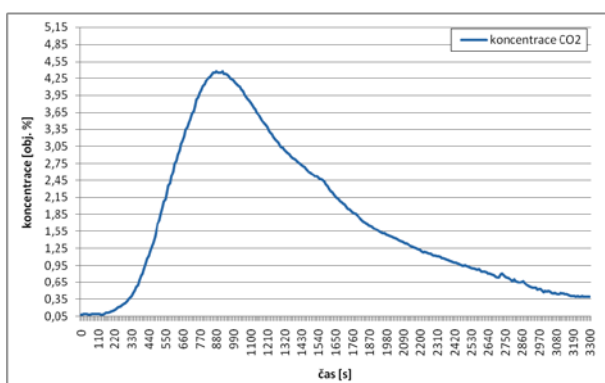
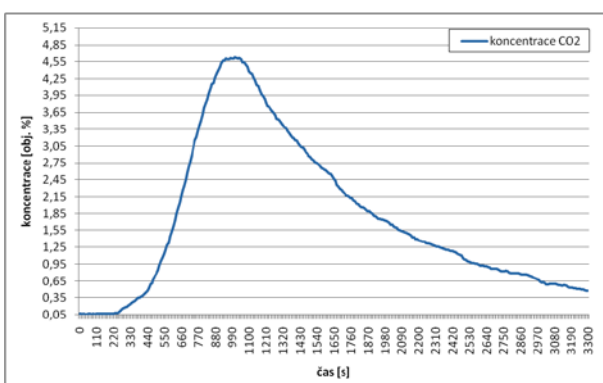
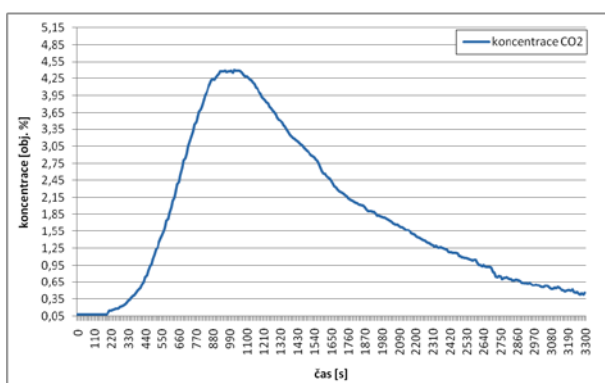
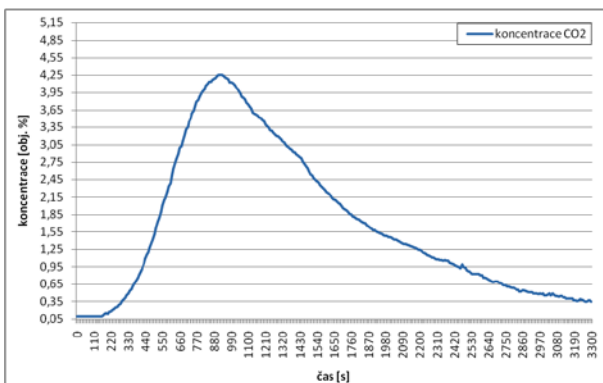
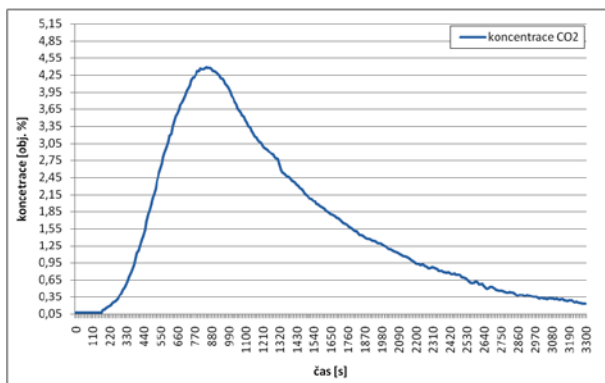
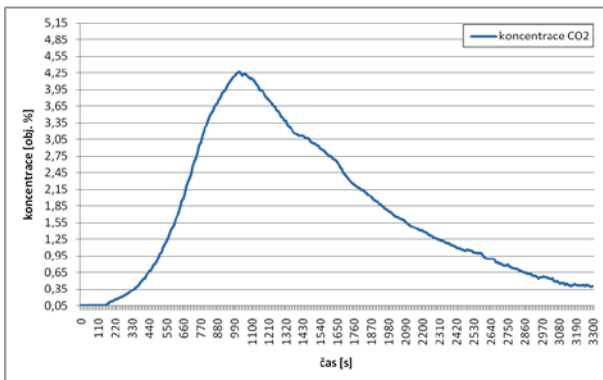
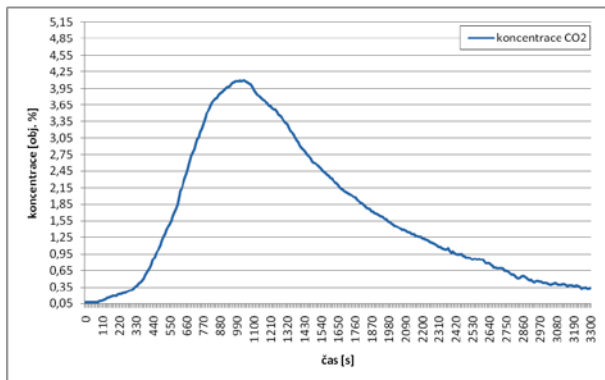
Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře



Změna koncentrace CO<sub>2</sub> v čase

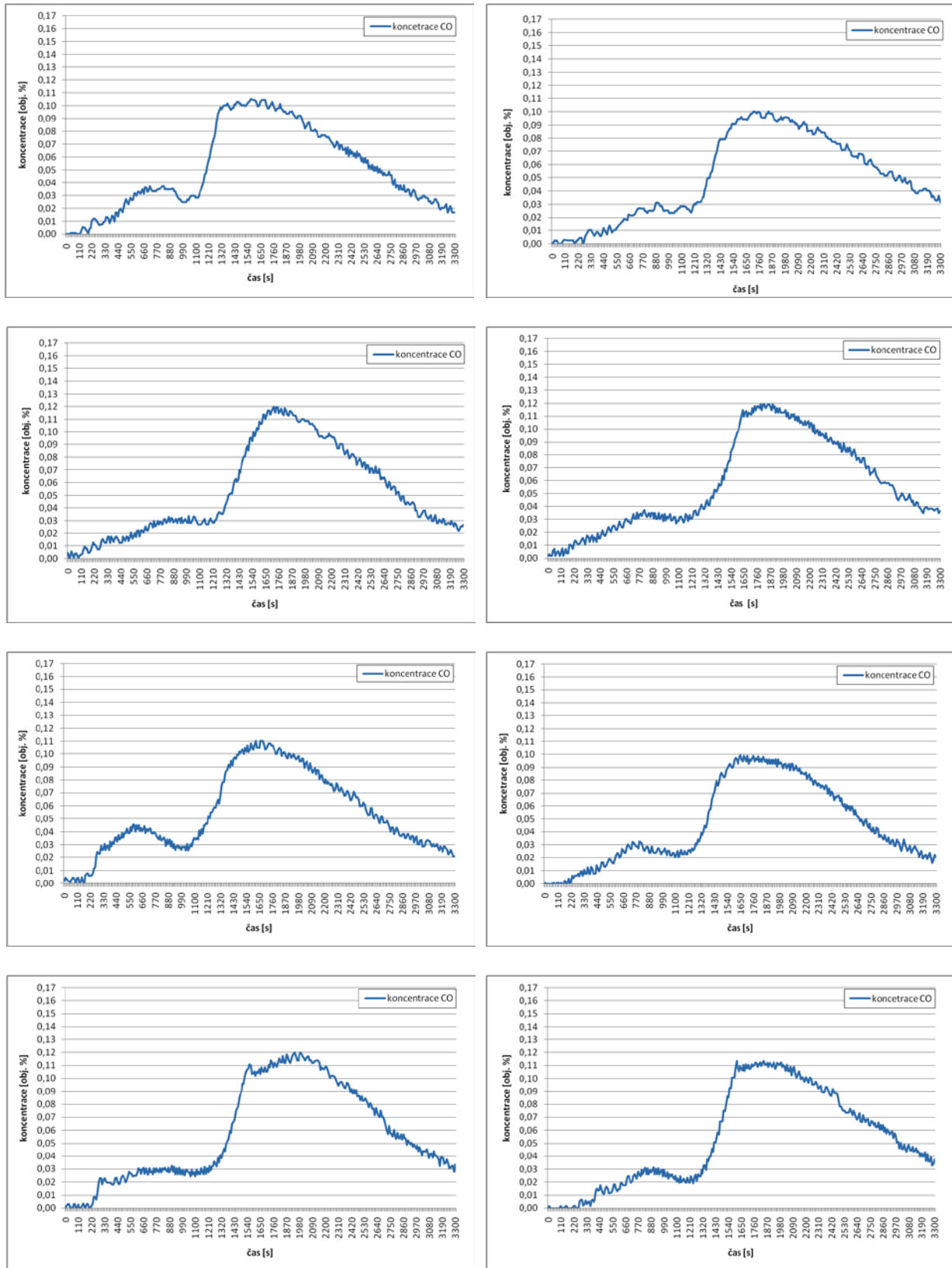


Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

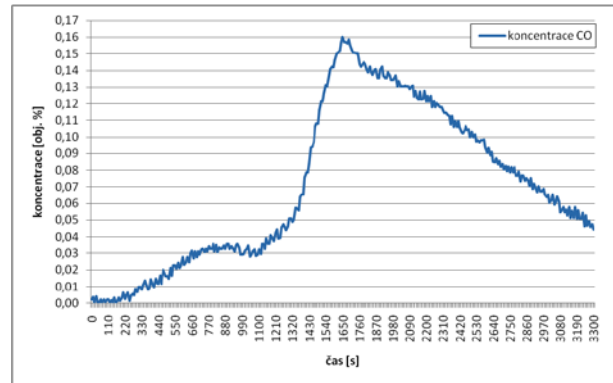
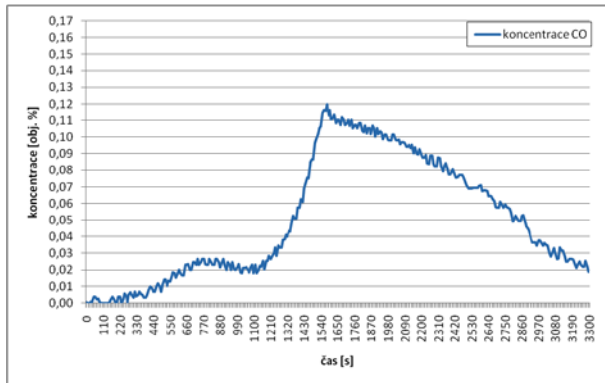


Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

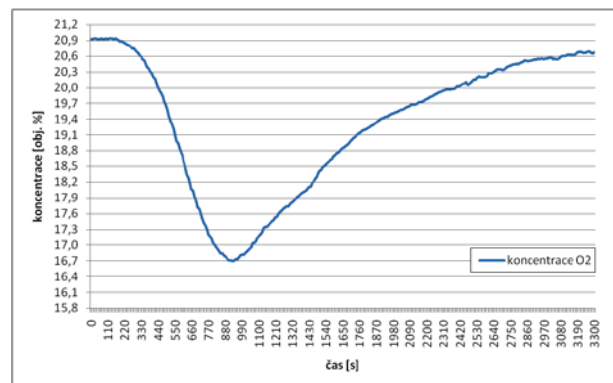
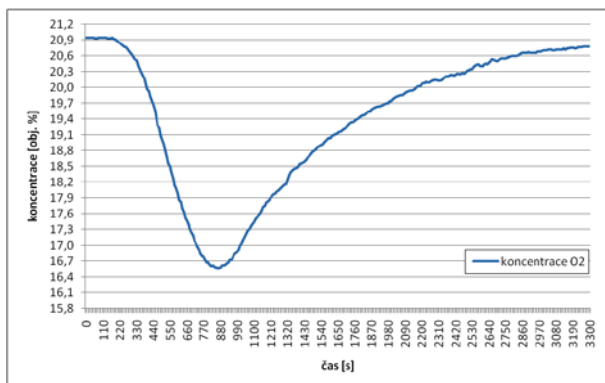
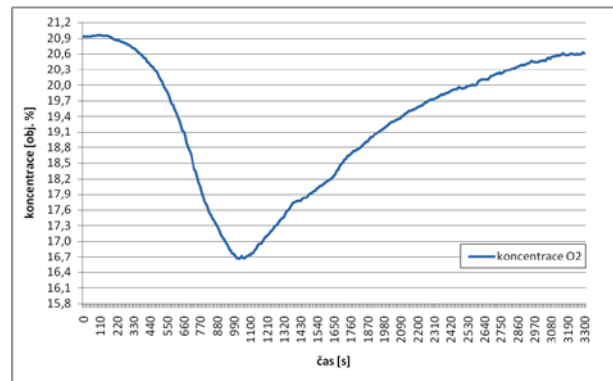
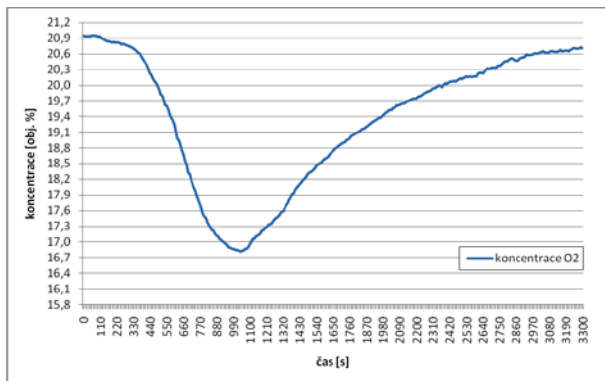
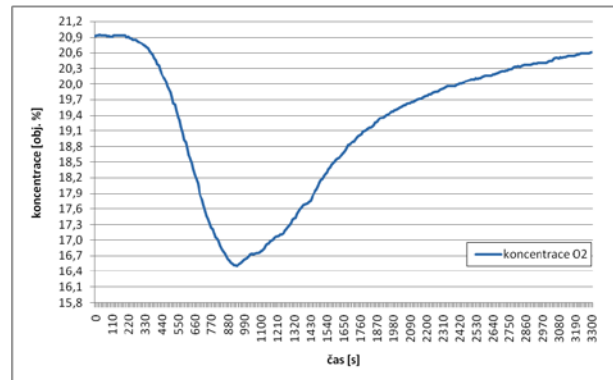
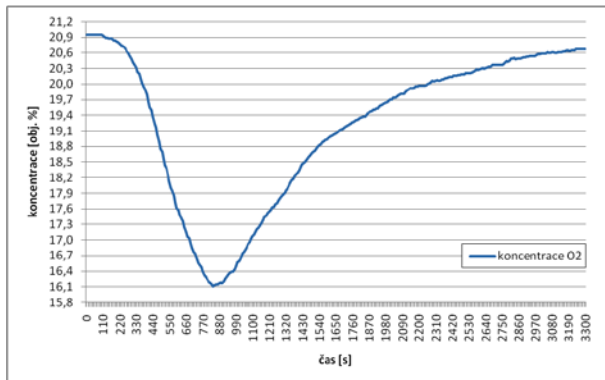
Změna koncentrace CO v čase



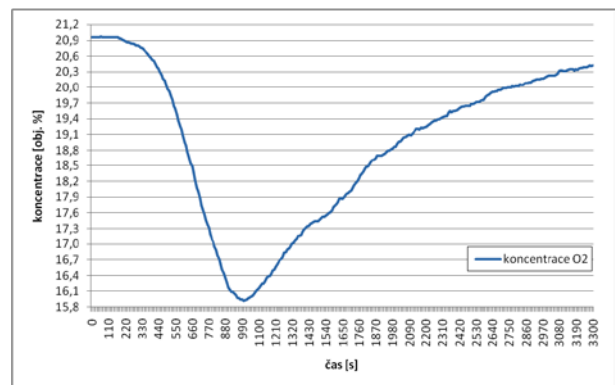
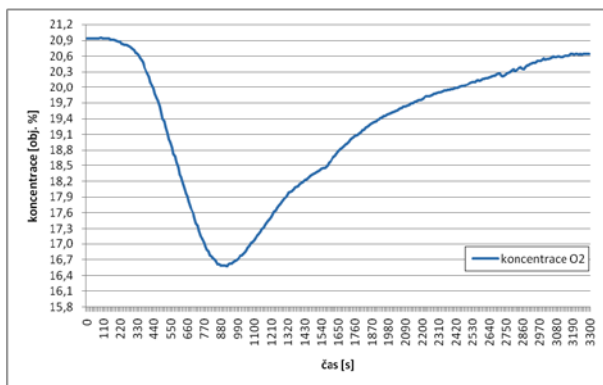
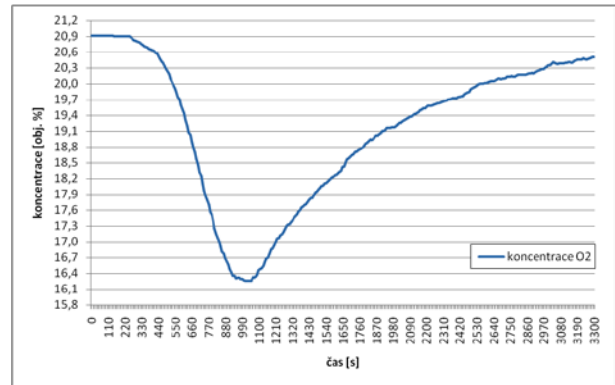
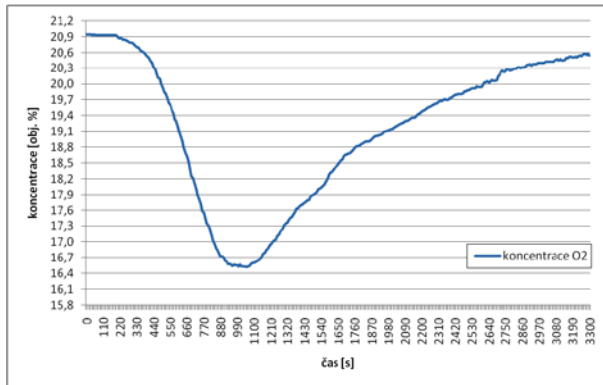
Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře



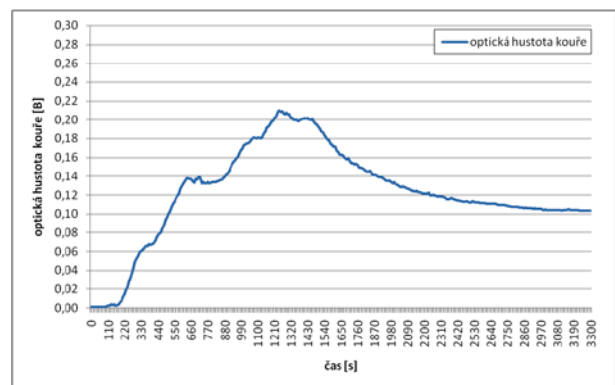
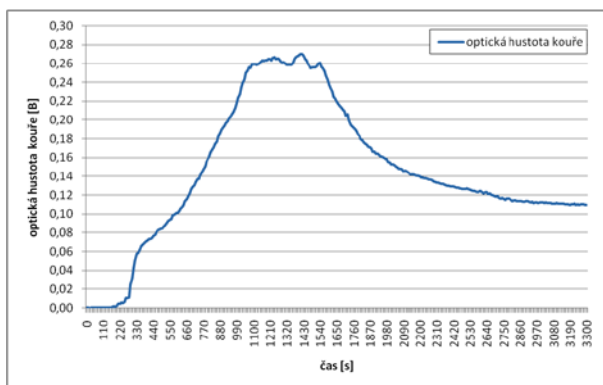
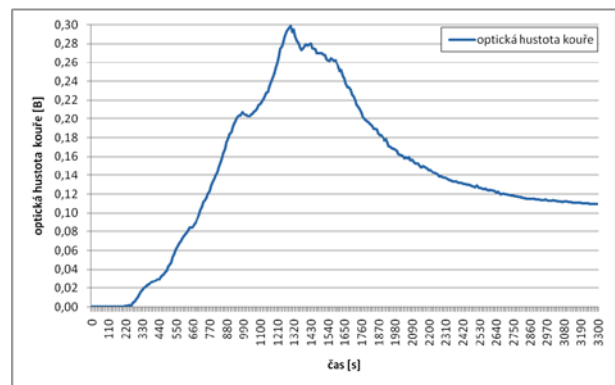
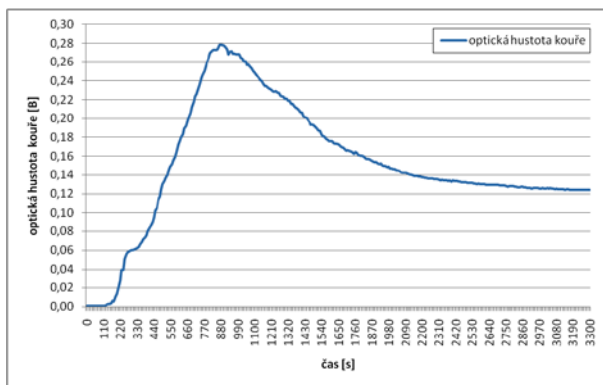
Změna koncentrace O<sub>2</sub> v čase



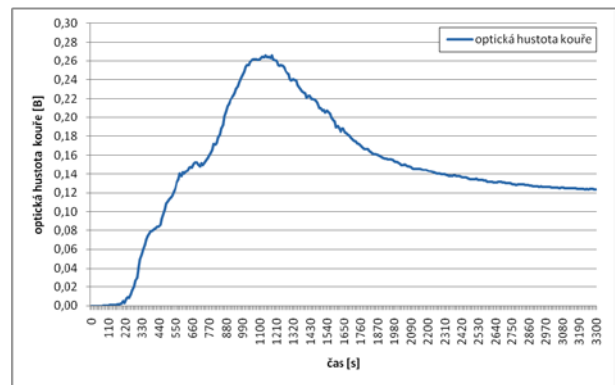
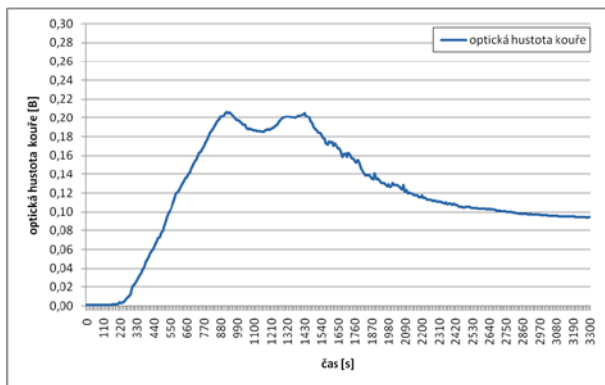
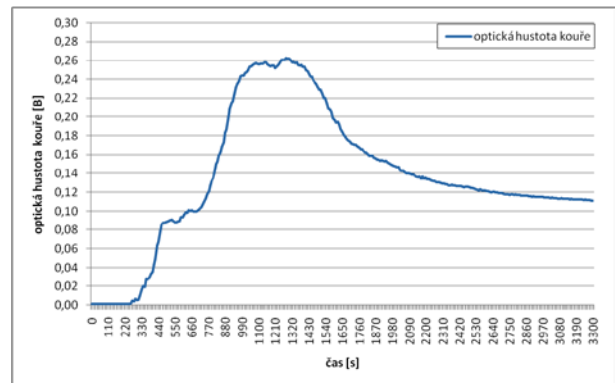
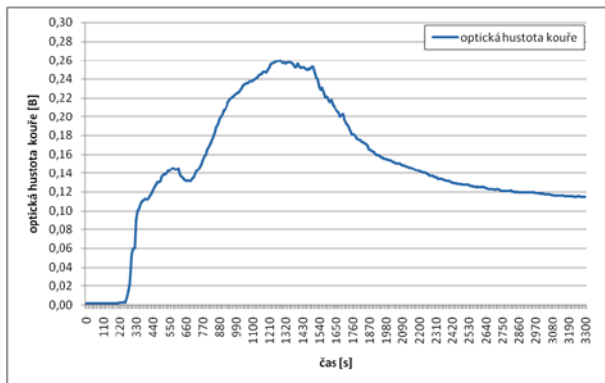
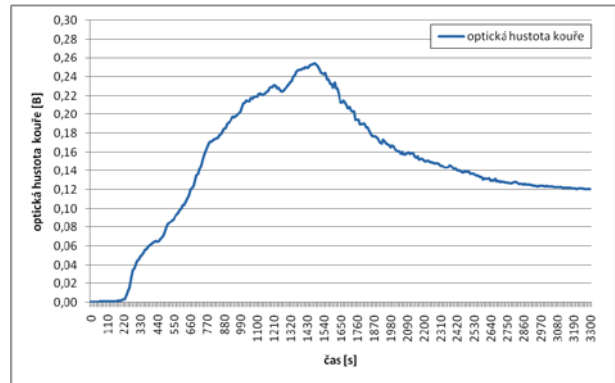
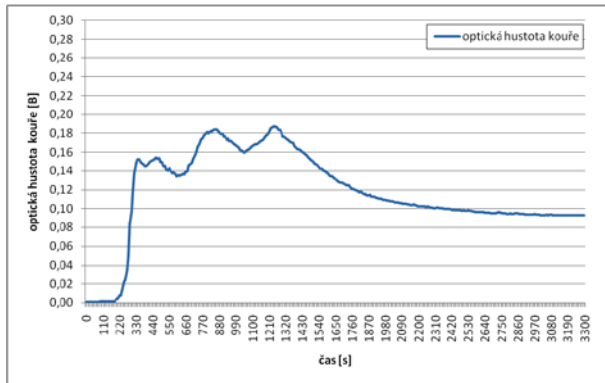
Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře



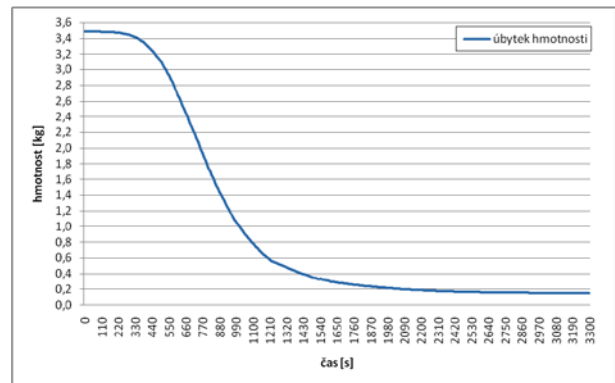
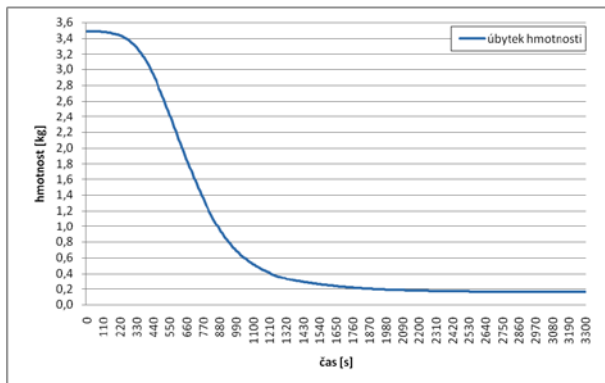
Změna optické hustoty kouře v čase



Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

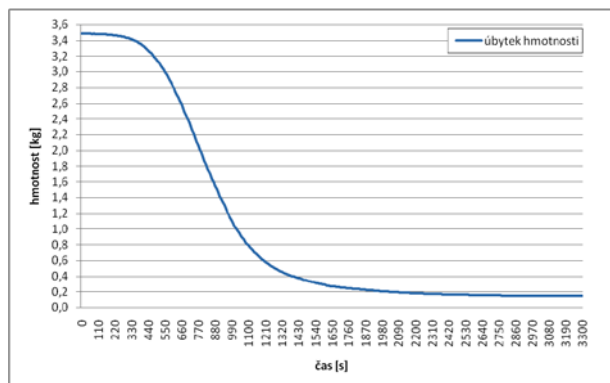
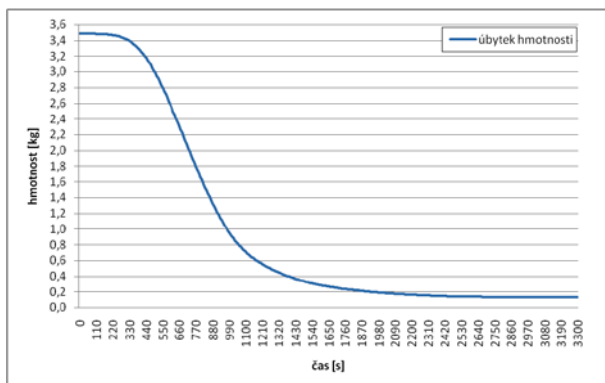
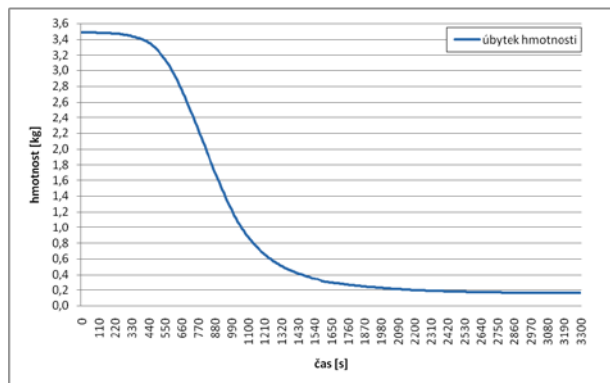
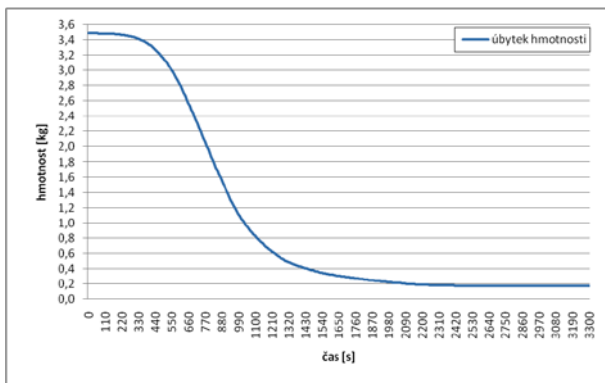
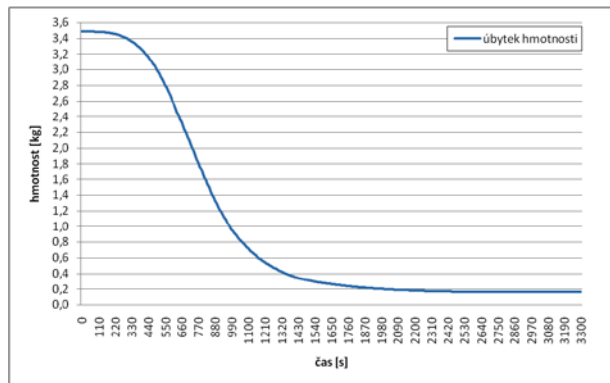
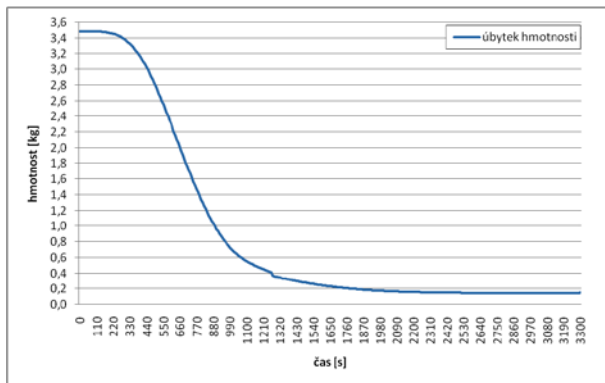
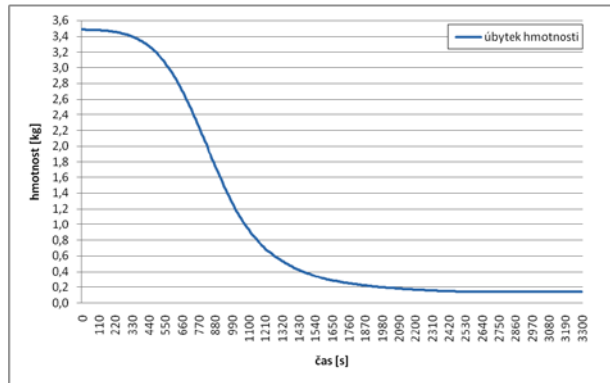
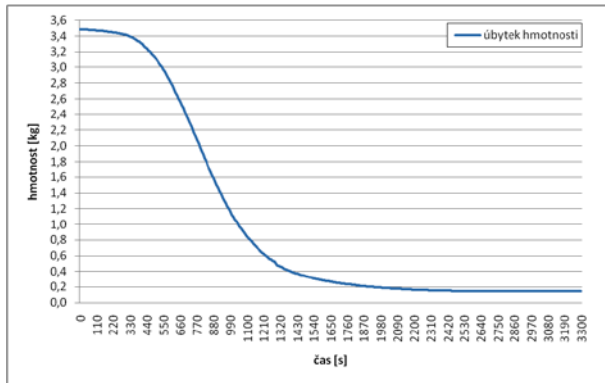


Změna hmotnosti v čase





Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře





Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

### Příloha F: Příklad výpočtů standardních nejistot

#### Příklad výpočtu standardní nejistoty typu A na termočlátku T7 ve 25. minutě

Směrodatnou odchylku vypočteme ze vztahu:

$$\begin{aligned}
 u_A = \bar{s} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{(69 - 83,66)^2 + (81,3 - 83,66)^2 + (81,9 - 83,66)^2 + (92,2 - 83,66)^2 + (73 - 83,66)^2 + \\
 &\quad + (82,8 - 83,66)^2 + (89,6 - 83,66)^2 + (93,4 - 83,66)^2 + (82,7 - 83,66)^2 + (89,9 - 83,66)^2}{10 \cdot (10 - 1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{214,92 + 5,57 + 3,1 + 72,93 + 113,64 + 0,74 + 35,28 + 94,87 + 0,92 + 38,94}{90}} = \sqrt{\frac{580,91}{90}} = 2,4902
 \end{aligned}$$

Jednotlivé nejistoty pro časové intervaly 5 minut jsou uvedeny v tabulce níže:

<b>čas (minuty)</b>	0	5	10	15	20	25
<b>standardní nejistota typu A</b>	0,5858	1,0936	5,0105	1,4779	2,8936	2,4902

<b>čas (minuty)</b>	30	35	40	45	50	55
<b>standardní nejistota typu A</b>	1,4479	1,3459	1,1415	0,5858	1,0936	5,0105

Standardní nejistota udává interval, ve kterém leží pravá hodnota měřené veličiny s poměrně malou pravděpodobností (asi 95 %). Proto se určuje tzv. rozšířená nejistota a to ze vztahu:

$$U_x = k_u \cdot u_x$$

$U_x$  ...rozšířená nejistota

Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

$u_x$  ... nejistota měření

$k_u$  ... koeficient rozšíření

Koeficient rozšíření udávají tyto hodnoty:

$k = 2$  pro rozšíření na 95 % pravděpodobnosti

$k = 3$  pro rozšíření na 99,7 % pravděpodobnosti

Pro další výpočet jsem si zvolila  $k = 2$ , pak je standardní nejistota

$$U_x = k_u \cdot u_x = 2 \cdot 2,4902 = 4,9804$$

### Příklad výpočtu standardní nejistoty typu A na termočlátku S5 ve 25. minutě

Směrodatnou odchylku vypočteme ze vztahu:

$$\begin{aligned}
 u_A = \bar{s} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{(74 - 90,64)^2 + (85,8 - 90,64)^2 + (88,4 - 90,64)^2 + (101,2 - 90,64)^2 + (77,6 - 90,64)^2 + \\
 &\quad + (87,8 - 90,64)^2 + (97,9 - 90,64)^2 + (102,3 - 90,64)^2 + (92,3 - 90,64)^2 + (99,1 - 90,64)^2}{10 \cdot (10 - 1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{276,89 + 23,43 + 5,02 + 111,51 + 170,04 + 8,07 + 52,71 + 135,96 + 2,76 + 71,57}{90}} = \sqrt{\frac{857,96}{90}} = \\
 &= 3,0876
 \end{aligned}$$

Jednotlivé nejistoty pro časové intervaly 5 minut jsou uvedeny v tabulce níže:

čas (minuty)	0	5	10	15	20	25
standardní nejistota typu A	1,1107	2,0101	6,4687	2,0195	3,6449	3,0876

Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

<b>čas (minuty)</b>	30	35	40	45	50	55
<b>standardní nejistota typu A</b>	1,5054	1,3401	1,1219	1,0475	1,0314	0,9988

Standardní odchylka se vypočte ze vztahu:

$$U_x = k_u \cdot u_x = 2 \cdot 3,0876 = 6,1752$$

**Příklad výpočtu standardní nejistoty typu A na Fotometru ve 25. minutě**

Směrodatnou odchylku vypočteme ze vztahu:

$$\begin{aligned}
 u_A = \bar{s} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{(0,191 - 0,219)^2 + (0,27 - 0,219)^2 + (0,256 - 0,219)^2 + (0,193 - 0,219)^2 + (0,150 - 0,219)^2 + \\
 &\quad + (0,251 - 0,219)^2 + (0,253 - 0,219)^2 + (0,229 - 0,219)^2 + (0,189 - 0,219)^2 + (0,21 - 0,219)^2}{10 \cdot (10 - 1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{(7,84 + 26,01 + 13,69 + 6,76 + 47,61 + 10,24 + 11,56 + 1 + 9 + 0,81) \cdot 10^{-4}}{90}} = \sqrt{\frac{134,52 \cdot 10^{-4}}{90}} = \\
 &= 0,0001495
 \end{aligned}$$

Jednotlivé nejistoty pro časové intervaly 5 minut jsou uvedeny v tabulce níže:

<b>čas (minuty)</b>	0	5	10	15	20	25
<b>standardní nejistota typu A</b>	0,000155	0,008562	0,009161	0,010744	0,010051	0,012193

<b>čas (minuty)</b>	30	35	40	45	50	55
<b>standardní nejistota typu A</b>	0,007421	0,005181	0,004323	0,003705	0,003593	0,003456

Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

Standardní odchylka se vypočte ze vztahu:

$$U_x = k_u \cdot u_x = 2 \cdot 0,0001495 = 0,000299$$

### Příklad výpočtu standardní nejistoty typu A na analyzátoru plynů ve 25. minutě u CO<sub>2</sub>

Směrodatnou odchylku vypočteme ze vztahu:

$$\begin{aligned}
 u_A = \bar{s} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{(2,25 - 2,7)^2 + (2,76 - 2,7)^2 + (2,6 - 2,7)^2 + (2,98 - 2,7)^2 + (2,13 - 2,7)^2 + (2,54 - 2,7)^2 + \\
 &\quad (2,97 - 2,7)^2 + (2,85 - 2,7)^2 + (2,57 - 2,7)^2 + (3,39 - 2,7)^2}{10 \cdot (10 - 1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{0,2025 + 0,0036 + 0,01 + 0,0784 + 0,3249 + 0,0256 + 0,0729 + 0,0225 + 0,0169 + 0,4761}{90}} = \\
 &= \sqrt{\frac{1,2334}{90}} = 0,116828
 \end{aligned}$$

Jednotlivé nejistoty pro časové intervaly 5 minut jsou uvedeny v tabulce níže:

čas (minuty)	0	5	10	15	20	25
standardní nejistota typu A	0,003769	0,039328	0,200320	0,094396	0,113957	0,116828

čas (minuty)	30	35	40	45	50	55
standardní nejistota typu A	0,083745	0,069219	0,057595	0,044405	0,041422	0,031912

Standardní odchylka se vypočte ze vztahu:

$$U_x = k_u \cdot u_x = 2 \cdot 0,116828 = 0,233656$$

Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

### Příklad výpočtu standardní nejistoty typu A na analyzátoru plynů ve 25. minutě u CO

Směrodatnou odchylku vypočteme ze vztahu:

$$\begin{aligned}
 u_A = \bar{s} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{(0,100 - 0,091)^2 + (0,086 - 0,091)^2 + (0,089 - 0,091)^2 + (0,067 - 0,091)^2 + (0,102 - 0,091)^2 + \\
 &\quad (0,084 - 0,091)^2 + (0,096 - 0,091)^2 + (0,075 - 0,091)^2 + (0,096 - 0,091)^2 + (0,116 - 0,091)^2}{10 \cdot (10 - 1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{(0,81 + 0,25 + 0,04 + 5,76 + 1,21 + 0,49 + 0,25 + 2,56 + 0,25 + 6,25) \cdot 10^{-4}}{90}} = \\
 &= \sqrt{\frac{17,87 \cdot 10^{-4}}{90}} = 0,004462
 \end{aligned}$$

Jednotlivé nejistoty pro časové intervaly 5 minut jsou uvedeny v tabulce níže:

čas (minuty)	0	5	10	15	20	25
standardní nejistota typu A	0,000469	0,002247	0,002463	0,000966	0,003222	0,004462

čas (minuty)	30	35	40	45	50	55
standardní nejistota typu A	0,004411	0,004864	0,004051	0,003837	0,003850	0,002938

Standardní odchylka se vypočte ze vztahu:

$$U_x = k_u \cdot u_x = 2 \cdot 0,004462 = 0,008924$$

Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

### Příklad výpočtu standardní nejistoty typu A na analyzátoru plynů ve 25. minutě u O<sub>2</sub>

Směrodatnou odchylku vypočteme ze vztahu:

$$\begin{aligned}
 u_A = \bar{s} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{(18,69 - 18,21)^2 + (18,15 - 18,21)^2 + (18,33 - 18,21)^2 + (17,93 - 18,21)^2 + (18,81 - 18,21)^2 + \\
 &\quad (18,40 - 18,21)^2 + (17,92 - 18,21)^2 + (18,03 - 18,21)^2 + (18,36 - 18,21)^2 + (17,47 - 18,21)^2}{10 \cdot (10 - 1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{0,2304 + 0,0036 + 0,0144 + 0,0784 + 0,36 + 0,0361 + 0,0841 + 0,0324 + 0,0225 + 0,5476}{90}} = \\
 &= \sqrt{\frac{1,4095}{90}} = 0,125233
 \end{aligned}$$

Jednotlivé nejistoty pro časové intervaly 5 minut jsou uvedeny v tabulce níže:

<b>čas (minuty)</b>	0	5	10	15	20	25
<b>standardní nejistota typu A</b>	0,003898	0,032926	0,201693	0,100644	0,121065	0,125233

<b>čas (minuty)</b>	30	35	40	45	50	55
<b>standardní nejistota typu A</b>	0,093442	0,079176	0,064340	0,048366	0,044898	0,032813

Standardní odchylka se vypočte ze vztahu:

$$U_x = k_u \cdot u_x = 2 \cdot 0,125233 = 0,250466$$

Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

### Příklad výpočtu standardní nejistoty typu A na radiometru ve 25. minutě

Směrodatnou odchylku vypočteme ze vztahu:

$$\begin{aligned}
 u_A = \bar{s} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{(2,18 - 3,465)^2 + (2,5 - 3,465)^2 + (2,77 - 3,465)^2 + (4,71 - 3,465)^2 + (2,09 - 3,465)^2 + \\
 &\quad (2,43 - 3,465)^2 + (4,58 - 3,465)^2 + (4,94 - 3,465)^2 + (4,33 - 3,465)^2 + (4,12 - 3,465)^2}{10 \cdot (10 - 1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{1,651 + 0,931 + 0,483 + 1,55 + 1,891 + 1,071 + 1,243 + 2,176 + 0,748 + 0,429}{90}} = \\
 &= \sqrt{\frac{12,173}{90}} = 0,367778
 \end{aligned}$$

Jednotlivé nejistoty pro časové intervaly 5 minut jsou uvedeny v tabulce níže:

<b>čas (minuty)</b>	0	5	10	15	20	25
<b>standardní nejistota typu A</b>	0,011566	0,110051	0,267882	0,102572	0,381007	0,367778

<b>čas (minuty)</b>	30	35	40	45	50	55
<b>standardní nejistota typu A</b>	0,071094	0,049266	0,029191	0,035196	0,023655	0,019607

Standardní odchylka se vypočte ze vztahu:

$$U_x = k_u \cdot u_x = 2 \cdot 0,367778 = 0,735556$$

Měření fyzikálního modelu požáru v požárně technické komoře

### Příklad výpočtu standardní nejistoty typu A na váze ve 25. minutě

Směrodatnou odchylku vypočteme ze vztahu:

$$\begin{aligned}
 u_A = \bar{s} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{(0,271 - 0,331)^2 + (0,346 - 0,331)^2 + (0,330 - 0,331)^2 + (0,372 - 0,331)^2 + (0,275 - 0,331)^2 + \\
 &\quad (0,311 - 0,331)^2 + (0,368 - 0,331)^2 + (0,372 - 0,331)^2 + (0,327 - 0,331)^2 + (0,338 - 0,331)^2}{10 \cdot (10 - 1)}} = \\
 &= \sqrt{\frac{(3,6 + 0,225 + 0,001 + 1,681 + 3,136 + 0,4 + 1,369 + 1,681 + 0,016 + 0,049) \cdot 10^{-3}}{90}} = \\
 &= \sqrt{\frac{12,158 \cdot 10^{-3}}{90}} = 0,011623
 \end{aligned}$$

Jednotlivé nejistoty pro časové intervaly 5 minut jsou uvedeny v tabulce níže:

čas (minuty)	0	5	10	15	20	25
<b>standardní nejistota typu A</b>	0,000333	0,010503	0,083847	0,080637	0,028771	0,011623

čas (minuty)	30	35	40	45	50	55
<b>standardní nejistota typu A</b>	0,006332	0,004258	0,004127	0,004187	0,004069	0,004070

Standardní odchylka se vypočte ze vztahu:

$$U_x = k_u \cdot u_x = 2 \cdot 0,011623 = 0,023246$$