

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva

**Příprava metodiky pro simulaci jevu Backdraft
v zařízení Flashover kontejner**

Student: Lukáš Dostál

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Zavila, Ph.D.

Studijní obor: Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

Datum zadání bakalářské práce: 28. 11. 2008

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. 4. 2009

Zadání bakalářské práce

Student:

Lukáš Dostál

Studijní program:

B3908 Požární ochrana a průmyslová bezpečnost

Studijní obor:

3908R006 Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

Téma:

Příprava metodiky pro simulaci jevu Backdraft v zařízení Flashover kontejner

Preparation of Methodic for Backdraft Phenomenon Simulation in Flashover Container

Zásady pro vypracování:

Rešeršní činnost na téma „definice, podmínky vzniku a projevy jevu Backdraft“.

Na základě provedené rešerše zpracovat přehled metodik výpočtů vztahujících se k jevu Backdraft, které by mohly napomoci přípravě praktické simulace jevu Backdraft v zařízení Flashover kontejner. Práce by měla vést k nabytí dostatečných teoretických znalostí pro tento výše zmíněný účel.

Seznam doporučené odborné literatury:

[1] Thomson Reuters. ISI Web of Knowledge [online]. 2008- [cit. 30. září 2008]. Dostupný z WWW: <<http://www.isiknowledge.com>>.

[2] Google. Scholar Gogole Beta [online]. 2008- [cit. 30. září 2008]. Dostupný z WWW: <<http://scholar.google.com>>.

[3] NIST. Building and Fire Research Laboratory [online]. 2008- [cit. 30. září 2008]. Dostupný z WWW: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/>>.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Zavila, Ph.D.**

Datum zadání: 28.11.2008

Datum odevzdání: 30.04.2009



Ing. Isabela Bradáčová, CSc.
vedoucí katedry



doc. Dr. Ing. Aleš Dudáček
děkan fakulty



„Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.“

V Ostravě, 30. dubna 2009

.....

Lukáš Dostál

Své poděkování bych chtěl věnovat Ing. Ondřeji Zavilovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultace při zpracování této práce, Ing. Petru Bitalovi za cenné rady a poskytnuté materiály k problematice jevů nelineárního rozvoje požáru, dále pak Ing. Marku Sobkovi a Ing. Ivo Jahnovi (HZS ČR Olomouckého kraje) za materiály k zařízení Flashover kontejner a simulaci jevu Backdraft provedené ve Švédsku. Na závěr bych chtěl poděkovat Ing. Františku Losovi (HZS ČR Libereckého kraje) za videozáznamy a fotografie pořízené při simulaci jevu Backdraft ve Švédsku.

Anotace

DOSTÁL, Lukáš. *Příprava metodiky pro simulaci jevu Backdraft v zařízení Flashover kontejner* : bakalářská práce. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, FBI, 2009, 55 s.

Bakalářská práce se zaměřuje na přípravu metodiky pro simulaci jevu Backdraft v zařízení Flashover kontejner. Dělí se do šesti částí. První část obsahuje literární rešerši k jevu Backdraft. Druhá část je zaměřena na problematiku hoření a požáru v uzavřeném prostoru. Ve třetí a čtvrté části je popsán jev Flashover a zařízení Flashover kontejner v Hamrech. Následující část je věnována jevu Backdraft a následnému porovnání s jevem Flashover. Poslední část obsahuje výčet možných fyzikálních i matematických přístupů k simulaci jevu Backdraft. V závěru práce je uveden subjektivní názor autora na vhodný způsob budoucí realizace simulace jevu Backdraft ve Flashover kontejneru založený na provedené rešerši.

Klíčová slova

Backdraft, Flashover, fyzikální experiment, HZS ČR, matematické modelování, požár

Annotation

DOSTAL, Lukas. *Preparation of Methodology for Backdraft Phenomenon Simulation in Flashover Container* : thesis. Ostrava : VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Safety Engineering, 2009, 55 p.

This thesis deals with the methodology of Backdraft effect simulation in Flashover Container. The work is divided into six parts. The first part deals with Backdraft literature search. The second part focuses burning and fire in enclosed space. The third and fourth parts contain a description of Flashover effect and Flashover Container in Hamry. The following part deals with Backdraft effect and its comparison with Flashover effect. The last part includes a list of practicable Backdraft effect simulation approaches, both Physical and Mathematical. In the final part the author suggests an appropriate way of future Backdraft effect simulation in Flashover Container based on literature search.

Key words

Backdraft, Fire, Fire and Rescue Service of the Czech Republic, Flashover, Mathematical Modeling, Physical Experiment

Obsah:

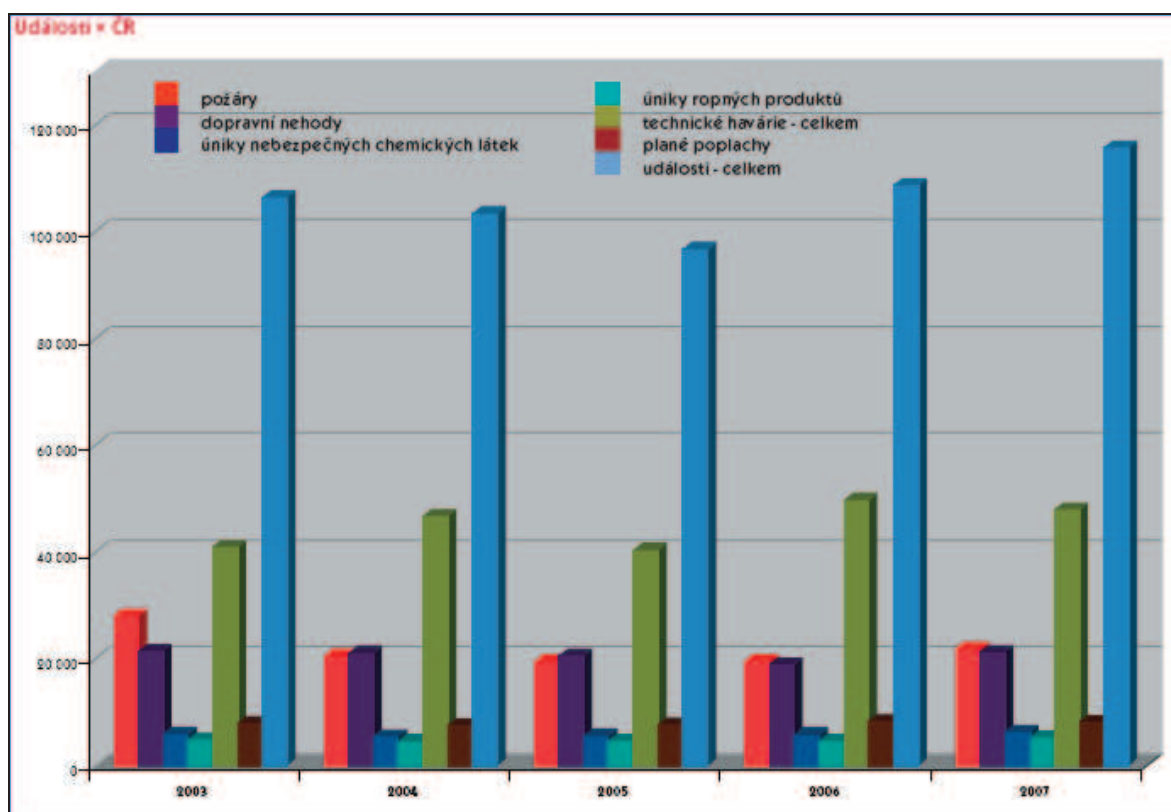
Úvod.....	1
1. Rešerše jevu Backdraft	3
2. Požár v uzavřeném prostoru	8
2.1 Základy hoření.....	8
2.2 Formy přenosu tepelné energie	9
2.3 Definice požáru	10
2.4 Rozvoj požáru v uzavřeném prostoru.....	11
3. Flashover	14
3.1 Definice Flashoveru	14
3.2 Základní charakteristiky Flashoveru	15
3.3 Vznik jevu Flashover	16
3.4 Průvodní znaky Flashoveru	18
4. Flashover kontejner	19
4.1 Funkční a dispoziční členění	20
4.2 Technický popis trenažéru	21
4.2.1 Zajištění tepelné izolace obvodových konstrukcí	21
4.2.2 Nosné konstrukce a podlaha.....	22
4.2.3 Uzávěry otvorů a odvětrání	22
4.2.4 Speciální zařízení	23
5. Backdraft.....	24
5.1 Definice jevu Backdraft	24
5.2 Základní charakteristiky Backdraftu	25
5.3 Vznik jevu Backdraft	26
5.4 Hustotní proud.....	28
5.5 Průvodní znaky Backdraftu	29
5.6 Porovnání jevu Backdraft a Flashover	30
6. Možné přístupy k simulaci jevu Backdraft.....	31
6.1 Fyzikální experimenty provedené v minulosti	32
6.1.1 Zařízení používané Fleischmannem	32
6.1.2 Zařízení používané Gojkovicem	33
6.1.3 Postup při experimentech	35

6.1.4	Výsledky experimentů.....	35
6.2	Simulace jevu Backdraft ve Švédsku	41
6.2.1	Použité zařízení	41
6.2.2	Postup při simulaci jevu Backdraft	41
6.3	Závěr z praktických simulací	44
6.4	Matematické modelování	45
6.4.1	Modely deterministické.....	45
6.4.2	Pravděpodobnostní modely	47
Závěr.....		48
Literatura.....		51
Seznam zkratek		54
Seznam příloh		55

Úvod

V současné době rozvoj vědy a techniky jde neustále vpřed. Staví se rozlehlé haly, supermarkety, sklady, byty, apod. Budovy se zateplují, vybavují se komfortním nábytkem. Stavebnictví nabízí nesčetné možnosti. Z důvodu úspory energie se provádí zateplení fasád, střech, instalují se plastová okna, hojně se používá sádrokarton at' už na vnitřní příčky, zavěšené podhledy nebo obklady. Objekty a jejich vnitřní prostory jsou tedy tepelně izolované, utěsněné a obsahují dostatek hořlavých materiálů. Z hlediska likvidace požáru jsou tyto podmínky velice nebezpečné pro zasahující hasiče.

Nejvíce zásahů je prováděno na mimořádné události jako je technická havárie (Obr. 1). Dalo by se říct, že požáry jsou někdy na druhém až třetím místě, co se týče počtu zásahů. Pokud budeme uvažovat požáry bytového fondu, pak v letech 2003 až 2007 nebyl během ani jednoho roku počet zásahů větší než 3000 [24].



Obr. 1 – Přehled mimořádných událostí v ČR [1]

Jev Backdraft, který může být spojený s nelineárním rozvojem požáru, má velmi rychlý průběh a je velmi nebezpečný, přestože se vyskytuje jen velmi zřídka. V zahraničí zemřelo a

bylo zraněno mnoho hasičů a občanů, kteří se s tímto jevem setkali. Dokládají to záznamy událostí spojených s tímto jevem. Zásah Londýnských hasičů na požár v soukromém kinoklubu v centru města, zemřelo šest lidí [3]. Backdraft usmrtil tři hasiče při požáru v New York City na 62 Watts Street [2]. Dne 1. února 1996 ve městě Blaina v Jižním Walesu (Anglie) zachvátil požár přízemí dvoupatrového domu a vzniklý Backdraft usmrtil dva hasiče. O tři dny později Backdraft nastal v supermarketu v Bristol a zasáhl jednoho hasiče [3]. Backdraft byl zaznamenán i na území ČR, naštěstí se v daném případě nikomu nic nestalo. Jednalo se o požár sauny v Olomouci [33].

Backdraft se při požárech vyskytuje velice zřídka, ale když se zasahující hasič setká s tímto jevem, zásah většinou končí tragicky. Právě proto zastávám ten názor, že odborná příprava v rámci teoretických znalostí a následná praktická simulace tohoto jevu je nezbytná pro výkon služby zasahujících hasičů. Tato odborná příprava by měla zajistit připravenost a akceschopnost zasahujících hasičů pro případ konfrontace s tímto jevem.

Tato bakalářská práce si klade za cíl vytvořit teoretický podklad pro simulaci jevu Backdraft v zařízení Flashover kontejner a též pro možnou teoretickou odbornou přípravu příslušníků HZS ČR.

Bakalářská práce je dělena do šesti částí. První část obsahuje rešerši k jevu Backdraft z dostupné české i zahraniční literatury. Druhá část práce je zaměřena na problematiku hoření a požár v uzavřeném prostoru. Ve třetí části je popsán jev Flashover, tedy jeho definice, vznik a ukazatele. Ve čtvrté části je prezentováno tréninkové zařízení Flashover kontejner v Hamrech, jeho umístění, funkční i dispoziční členění a technický popis. Následující pátá část je věnována definici, vzniku a projevům jevu Backdraft spolu s následným porovnáním jevu Flashover s jevem Backdraft. Poslední, tedy šestá část představuje komplexní nastínění možných přístupů k simulaci jevu Backdraft, možnosti provedení jak fyzikálního experimentu, tak matematického modelování jevu Backdraft například pomocí CFD kódů. Jsou zde také popsány fyzikální experimenty prováděné Gojkovicem [21], Fleischmannem [16],[20] a simulace jevu Backdraft ve Švédsku. V závěru je vyjádřen názor autora práce na možnou budoucí spolehlivou a systematickou simulaci jevu Backdraft ve Flashover kontejneru a směry dalšího postupu práce v tomto směru.

1. Rešerše jevu Backdraft

Tato kapitola skýtá přehled literatury, která obsahuje cenné informace o jevu Backdraft. Zdroje informací byly převážně z internetu a jedné tištěné publikace. Pouze jedna tištěná publikace byla pro účely této práce dostupná. Tištěné publikace byly vyhledávány na portálu:

- Moravskoslezské vědecké knihovny v Ostravě, příspěvkové organizaci;
- Ústřední knihovny Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava;
- Knihovny Fakulty bezpečnostního inženýrství (dále jen FBI).

Hledání na portálech uvedených knihoven bylo bez výsledku. Nebyla nalezena ani jedna publikace, která by mohla být hodnotným zdrojem pro tuto bakalářskou práci.

Co se týče tištěné publikace, jednalo se o:

Základy požární ochrany [5]

Tato publikace slouží jako učební text pro studenty FBI. Popisuje fyzikální a chemické podmínky vzniku požáru, jeho rozvoj, formy přenosu tepla a nelineární průběh požáru, kde se zmiňuje právě o jevech Flashover, Backdraft a Smoke Explosion. Snaží se představit čtenářům základy problematiky požární ochrany.

Nejvíce hodnotné zdroje byly nalezeny na webových stránkách:

- <http://apps.isiknowledge.com>;
- <http://scholar.google.cz>;
- <http://fire.nist.gov/>;
- <http://www.google.cz/>;
- <http://www.firetactics.com>;
- <http://vincentdunn.com/>;
- <http://dspace.vsb.cz>.

Kromě posledního uvedeného odkazu, všechny materiály o jevech Flashover a Backdraft byly v cizím (anglickém) jazyce a zmíněná poslední internetová stránka umožnila přístup k plným textům bakalářských a diplomových prací FBI v elektronické podobě.

Zdroje vyhledané na internetových stránkách:

Taktika protipožární činnosti : KOMPLEXNÍ PRŮVODCE V BOJI PROTI POŽÁRU V UZAVŘENÉM PROSTORU A TRÉNINK SE SKUTEČNÝM OHNĚM (angl. “*Tactical Firefighting : A COMPREHENSIVE GUIDE TO COMPARTMENT FIREFIGHTING & LIVE FIRE TRAINING*”) [3].

Jak z názvu vyplývá, tak tento zdroj slouží jako komplexní průvodce v protipožární činnosti. Obsahuje teoretické znalosti o vzniku požáru. Dále se věnuje nutnosti vybavení hasičů osobními ochrannými prostředky. Zabývá se taktikou rozvojem požáru, zaměřuje se na jevy Flashover a Backdraft a v závislosti na těchto jevech navrhuje taktiku hašení pomocí vodní mlhy a taktiku větrání.

Modelování jevu Backdraft : Požár na 62 Watts Street. Studie Národního institutu standardů a technologií (angl. “*Modeling a Backdraft : The Fire at 62 Watts Street. Paper of National Institute of Standards and Technology*”) [2].

28. března 1984 vznikl požár na 62 Watts Street v části města New York, Manhattan (USA). Nelineární průběh požáru provázal i jev Backdraft. V důsledku chybné taktiky vedení zásahu byli usmrceni 3 hasiči. Ve zprávě je popsán požár i způsob vedení zásahu. Modelováním tohoto požáru se zabýval Richard W. Bukowski ve spolupráci s „Národním institutem standardů a technologií“ (angl. “*National Institute of Standards and Technology – NIST*”). Pro modelování byl použit model CFAST.

Prezentace ze světové konference o bezpečnosti pod Asociací národní ochrany : Dosavadní znalosti a trénink vztahující se k jevu Backdraft, Flashover a dalším jevům spojeným s prudkým rozvojem požáru (angl. “*Presentation at the National Protection Association World Safety Conference : The Current Knowledge & Training Regarding Backdraft, Flashover, and Other Rapid Fire Progression Phenomen*”) [11].

Tento dokument bych označil jako jeden z nejlepších zdrojů informací. Na základě rešerše literatury rozděluje jevy prudkého rozvoje požáru na Flashover, Backdraft a Flameover (Rollover), uvádí jejich definice, ukazatele (projevy fyzikálního děje) a charakteristické okolnosti, které mají na vznik a průběh těchto jevů vliv. V další části dokumentu je uvedeno zhodnocení normy NFPA 1001. V podstatě tato norma představuje přehled potřebných znalostí a dovedností, kterými by měl hasič disponovat, aby byl kvalifikován jako hasič. Na závěr je rozebrána úroveň dosavadních knih a učebnic pro hasiče s ohledem na požadované znalosti potřebné pro hašení.

Německý požární sbor – Noviny Požární ochrana : Postup otevírání dveří s mobilním uzávěrem proti kouři (něm. *“Deutsche Feuerwehr - Zeitung BRANDSchutz : Türöffnungsprozedur mit einem mobilen Rauchverschluss“*) [18].

Dr. Ing. Michael Reick v tomto článku německých novin popisuje nebezpečí vzniku Backdraftu v důsledku přítomnosti směsi promíchaných pyrolýzních produktů se vzduchem v situaci, kdy hasič do tohoto uzavřeného prostoru vstupuje. S ohledem na možnost vzniku jevů jako je Flashover a Backdraft, nabízí možné řešení takovéto situace, pomocí techniky otevírání dveří s mobilním uzávěrem proti kouři.

Prosincový zpravodaj od Vincenta Dunna : Backdraft a Flashover, čím se liší? (angl. *“December Newsletter by Vincent Dunn : Backdraft and flashover, what is the difference?”*) [19].

Prosincový zpravodaj od Vincenta Dunna se snaží rozlišit jevy Flashover a Backdraft. Vincent Dunn zde uvádí čtyři rozdíly mezi výše zmíněnými jevy a také tři způsoby protipožární taktiky, které pomohou předejít smrti nebo zranění hasičů při zásahu.

První experimenty jevu Backdraft. Zpráva 3121. Katedra požárně-bezpečnostního inženýrství Univerzity v Lundu, Švédsko (angl. *“Initial Backdraft Experiments. Report 3121. Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden“*) [21].

Ve zprávě *První experimenty jevu Backdraft* Daniel Gojkovic prezentuje výsledky tříletého projektu, vytvořeného pro Räddningsverket (Švédskou národní záchrannou službu). Tento projekt měl název *„Backdraft a nedostatečně větraný požár“* (angl. *“Backdraft and Underventilated Fire“*). Jednalo se celkem o 13 experimentů prováděných v Backdraft kontejneru, kde palivem byl zemní plyn. Tyto pokusy byly zaznamenávané, přičemž autor zpochybňuje hodnověrnost číselných výsledků. Důvodem zpochybnění byl výskyt mnoha okolností, které mohly ovlivnit průběh experimentů. V závěru Daniel Gojkovic dává rady, jak by měly být prováděny další experimenty jevu Backdraft.

Jev Backdraft. Kalifornská univerzita ve městě Berkeley (angl. *“Backdraft Phenomena . University of California at Berkeley”*) [16].

Tato disertační práce od Charlese M. Fleischmanna z Univerzity California v Berkeley byla vytvořena pro „Národní institut standardů a technologií“ (angl. *“National Institute of Standards and Technology“*) „Výzkumnou laboratoř pro oblast staveb a požárů“ (angl.

“*Building and Fire Research Laboratory*“) jako grant pod číslem 60NANBOD1042. Evidenční číslo této práce je NIST – GCR – 94 – 646.

Práce je rozdělena do tří okruhů: výzkumné simulace (angl. “*exploratory simulations*“), modelování hustotního proudu (angl. “*gravity current modeling*“), kvantitativní experimenty Backdraftu (angl. “*quantitative Backdraft experiments*“). Charles M. Fleischmann v úvodu své práce hodnotí úroveň dosavadního poznání jevu Backdraft. Zjistil, že znalosti jsou nedostačující, často docházelo k zaměňování informací o tomto jevu.

V první části se Fleischmann snažil bezpečně simulovat Backdraft v laboratoři ve speciální komoře. Jednalo se o sérii 23 experimentů. Tato část zahrnuje základní fyzikální podstatu jevu.

V druhé části se zabývá rychlostí hustotního proudu (viz oddíl 5.4) a studiem fyzikálních procesů v oblastech míšení na rozhraní dvou tekutin (voda a slaná voda) o rozdílných hustotách v tzv. experimentech se slanou vodou. Autor použil experiment s kapalinami na základě předpokladu, že míšení plynů v průběhu jevu Backdraft bude probíhat na stejném nebo velice podobném fyzikálním principu. Řeší zde různé varianty geometrie otvoru a jejich vliv na „hustotní proud“ (angl. “*gravity current*“).

V poslední části je uvedeno 17 experimentů s příloženými údaji jako: rychlost proudění paliva, teplota horní a spodní vrstvy spalin, pyrolýzních produktů a vzduchu (viz oddíl 6.1.1), průtoková rychlost v otvoru pro přívod vzduchu o rozměrech 1,2 m na šířku a 0,4 m na výšku, který byl umístěn uprostřed krátké stěny naproti hořáku. Dále jsou uvedeny hodnoty statického tlaku v prostoru a koncentrace plynů O₂, CO₂, CO a HC v horní horké vrstvě spalin, pyrolýzních produktů a vzduchu.

Numerické a experimentální hustotní proudy vztahující se k Backdraftu. Časopis o požární bezpečnost 33 (angl. “*Numerical and experimental gravity currents related to Backdrafts. Fire Safety Journal 33*”) [17].

Tato práce popisuje problematiku hustotních proudů (viz oddíl 5.4) bezprostředně před vznikem jevu Backdraft. Pro osvětlení tohoto procesu byla provedena simulace, série experimentů dvou tekutin o rozdílných hustotách (voda a slaná voda), tzv. experimenty se slanou vodou a experimenty jevu Backdraft. Při experimentech se slanou vodou se používaly

dva druhy otvorů: plně otevřený (celá stěna) a otvor uprostřed stěny ve třetině výšky prostoru. Pro experimenty jevu Backdraft byl používán otvor uprostřed stěny ve třetině výšky prostoru. Práce srovnává hustotní proudy v experimentech se slanou vodou s hustotními proudy při experimentech jevu Backdraft.

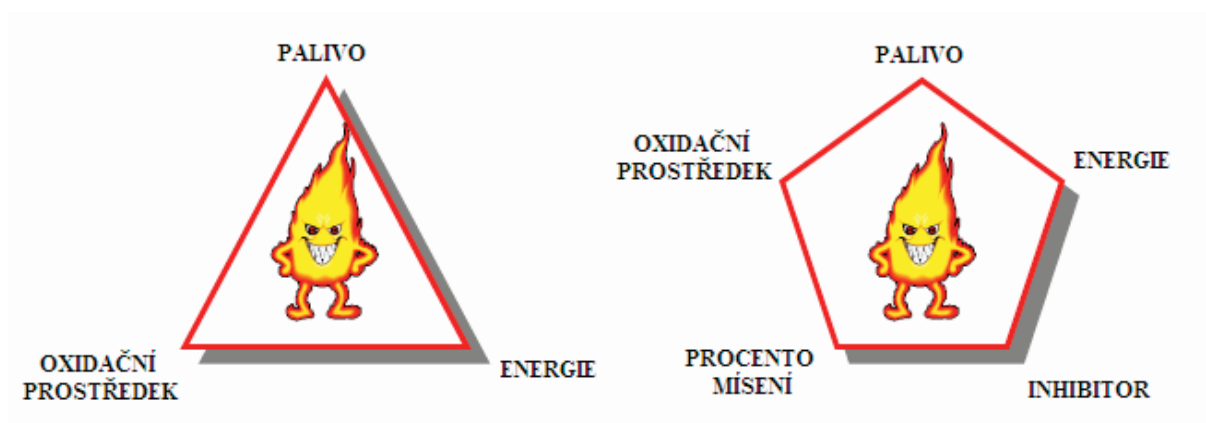
Kvantitativní experimenty jevu Backdraft. Internacionál pro obor požární bezpečnost (angl. "Quantitative Backdraft Experiments. International for Fire Safety Science") [20].

Tato zpráva prezentuje 17 experimentů jevu Backdraft prováděných v prostoru o rozměrech 1,2 x 1,2 x 2,4 m za použití plynového hořáku na methan jako paliva. Ve zprávě je popsán vznik jevu Backdraft a jsou zde přiloženy záznamy z vykonaných experimentů: rychlost proudění paliva, teplota spodní a horní horké vrstvy spalin, pyrolýzních produktů a vzduchu, koncentrace O₂, CO, CO₂ a HC (uhlovodíky).

2. Požár v uzavřeném prostoru

2.1 Základy hoření

Hoření je fyzikálně-chemický proces, při kterém se uvolňuje jak světelná, tak i tepelná energie. K tomu, aby začalo hořet, je zapotřebí palivo (hořlavá látka), oxidační prostředek a dostatečná iniciační energie (Obr. 2).



Obr. 2 - Požární trojúhelník [3]

Palivem rozumíme hořlavou látku, která může být ve skupenství kapalném, pevném, nebo plynném. Oxidačním prostředkem je myšlen vzdušný kyslík. Koncentrace kyslíku v okolní atmosféře je cca 21%. Se snižující se koncentrací kyslíku se hoření zpomaluje, až ustává, resp. vůbec nenastane. Tzv. aktivační (iniciační) energii je nutno dodat, aby započala a následně proběhla chemická reakce hoření. Její množství potřebné pro iniciaci hořlavého souboru závisí na:

- Fyzikálním stavu paliva – hořlavé látky (teplota, vlhkost, atd.);
- Chemickém složení paliva;
- Množství a rozložení v prostoru;
- Stavů okolní atmosféry (vlhkost, teplota, tlak, obsah kyslíku);
- Možnosti přístupu kyslíku k palivu.

Všechny tyto faktory ovlivňují iniciační energii a samotný proces hoření. Proces hoření závisí také na procentuálním zastoupení kyslíku a pyrolýzních produktů v hořlavém souboru, popř. přítomnosti inhibitorů (Obr. 2) [3].

Jestliže je hořlavá látka zahřátá na „kritickou teplotu“ tepelného rozkladu a rychlost uvolňování plynných produktů a par je dostatečná na vytvoření hořlavého souboru ve směsi s kyslíkem, pak následně po iniciaci nastává hoření [5],[8].

Z toho vyplývá, že pokud chceme zamezit hoření, tak musíme jakýmkoli způsobem „rozbít“ tento požární trojúhelník (Obr. 2), tj. odebrat jednu ze složek. Například zamezit přístupu kyslíku hasebními látkami nebo odstranit hořlavou látku.

2.2 Formy přenosu tepelné energie

Přenos tepelné energie při požáru je realizován třemi způsoby: vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a sáláním (radiací). K přehledu základních znalostí problematiky přenosu tepla bylo čerpáno z literatury [5],[3],[9],[10].

Vedení je přímý přenos energie v důsledku kontaktu ploch obou těles. Kinetická energie molekul zahřívajícího materiálu se zvyšuje a s ní také pohyb molekul. Energie přechází z jedné molekuly na další a další. Dochází k prohřívání materiálu do hloubky. Základním zákonem pro vedení tepla je zákon Fourierův, který udává vztah mezi hustotou tepelného toku a teplotním gradientem:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

λ součinitel tepelné vodivosti materiálu, $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

$\text{grad } t$ teplotní gradient (změna teploty ve směru normály k izotermickému povrchu) $[\text{K} \cdot \text{m}^{-1}]$

Z tohoto vztahu vyplývá, že přenos tepla vedením je závislý na teplotním gradientu a součiniteli tepelné vodivosti. Součinitel tepelné vodivosti závisí na druhu látky a její teplotě. Nejvyšší hodnotu součinitele mají kovy ($\lambda = 2,3 \div 420 \text{ } [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$), jsou tedy nejlepšími vodiči tepla. Oproti tomu plasty vedou teplo velmi špatně.

Proudění je přenos tepla kapalným nebo plynným médiem. Je vždy doprovázeno vedením tepla. Proudění je způsobeno rozdílem hustot mezi horkými a chladnými molekulami plynů při požáru. Se zvyšující se teplotou plynů se jejich hustota snižuje, rozpínají se a stoupají vzhůru. Proudění je způsobeno požárem, určuje jeho směr a šíření. Pro určení tepelného toku se používá, tzv. Newtonova rovnice:

$Q = \alpha \cdot \Delta t \cdot S$	[W]
α	součinitel přestupu tepla, [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Δt	rozdíl teplot, [°C, K]
S	teplosměnný povrch, [m ²]

Součinitel přestupu tepla α závisí na fyzikálních parametrech tekutin (plynů), na rozložení teplot v tekutině, rychlosti proudění, tvaru obtékaného tělesa a směru proudění vzhledem k jeho povrchu tohoto tělesa.

Sálání (tepelná radiace) je přestup tepla pomocí elektromagnetických vln v důsledku tepelného stavu těles. K tomuto přenosu tepla není potřeba hmotné prostředí na rozdíl od obou předcházejících druhů přenosu tepelné energie. Při dopadu na povrch jiných těles, případně při průchodu jinými tělesy, se mění část zářivé energie zpět na energii tepelnou. Energie vyzařovaná tělesy prudce vzrůstá s jejich teplotou. Vyjadřuje to základní fyzikální zákon pro tepelnou radiaci, tj. Stefan - Boltzmanův zákon, který pro intenzitu vyzařování definuje vztah:

$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$	[W.m ⁻²]
ε	experimentálně určený emisní součinitel [-]
σ	Stefan – Boltzmanova konstanta, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]
T	absolutní teplota povrchu tělesa [K]

Tepelné záření se často podílí jak na vzniku požárů, tak na jeho šíření. Stěžuje též práci jednotek požární ochrany při zásahu a má proto pro požární ochranu mimořádný význam.

2.3 Definice požáru

Požárem se rozumí každé nežádoucí hoření, při kterém došlo k usmrcení nebo zranění osob nebo zvířat, ke škodám na materiálních hodnotách nebo životním prostředí a nežádoucí hoření, při kterém byly osoby, zvířata, materiální hodnoty nebo životní prostředí bezprostředně ohroženy [4].

Z této definice vyplývá, že požár není lidmi řízené hoření. Pokud tento jev není lidmi řízen, tak i jeho prostor, který zaujímá, není předem ohraničen [5].

2.4 Rozvoj požáru v uzavřeném prostoru

Požárem v uzavřeném prostoru je myšlen požár vzniklý v prostoru ohraničeném stavebními konstrukcemi (např. v bytové jednotce). Je ovlivněn rozložením hořlavého materiálu v místě požáru a jeho množstvím. Velmi podstatný vliv na požár má také přísun kyslíku do místa hoření.

Volný rozvoj požáru bývá dle dostupné odborné literatury rozdělen do tří, někdy do čtyř fází. Například do čtyř fází je rozdělen v publikacích [5],[8]:

- I. *Vznik požáru;***
- II. *Rozvoj požáru;***
- III. *Plně rozvinutý požár;***
- IV. *Dohořívání.***

Paul Grimwood ve své publikaci [3] rozděluje volný rozvoj požáru do tří fází, přičemž fáze vznik a rozvoj požáru jsou sjednoceny do jedné, a to fáze pojmenované „rozvinutý požár“. Dělení volného rozvoje požáru na tři fáze:

- rozvinutý požár;
- plně rozvinutý požár;
- dohořívání.

Dělení do čtyř fází je podle mého názoru vhodnější. Pokud je rozdělen jakýkoli děj do více fází, umožňuje tak přesnější popis a tudíž je možné jej lépe pochopit.

Vznik požáru

Vznik požáru je popsán v oddíle 2.1.

Rozvoj požáru

Rozvoj požáru můžeme nazvat jako propagaci procesu hoření po fázi vzniku. Požár se rozvíjí, pokud je v prostoru dostatečné množství oxidačního prostředku a dochází k postupnému zahřívání hořlavých látek. Zahřívání způsobuje pyrolýzu, tedy tepelnou degradaci hořlavého materiálu. Uvolňují se hořlavé plyny a páry, které umožňují šíření plamene v prostoru. Vlivem šíření plamene v prostoru, vyhoříváním hořlavých látek a sdílením tepla se mohou zapálit také ostatní hořlavé látky přítomné v prostoru [5].

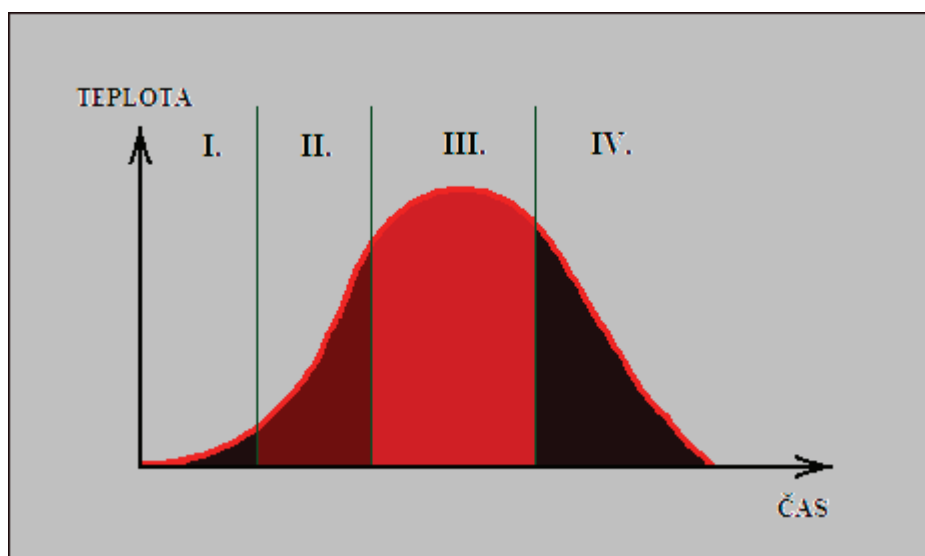
Plně rozvinutý požár

Tato fáze požáru je charakterizována okamžikem, kdy se požár rozšíří na většinu prostoru místnosti a všechny přítomné hořlavé materiály hoří. V této fázi shoří přibližně 80% přítomného množství hořlavých látek [5].

Dohořívání

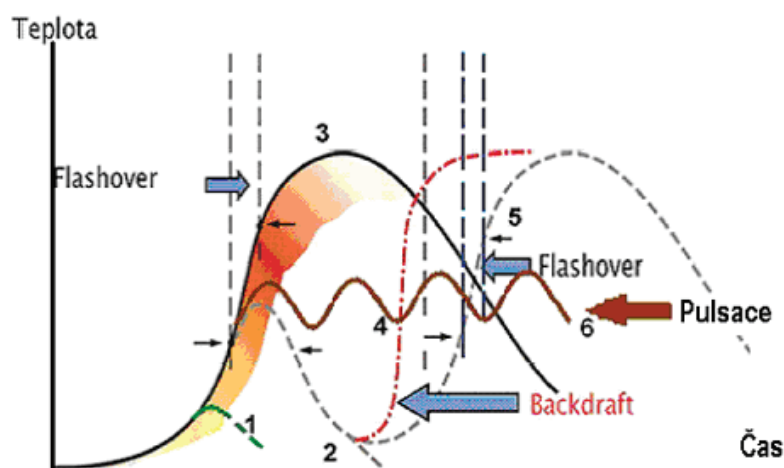
Tato fáze požáru navazuje na 3. fázi, tj. fázi plně rozvinutého požáru. Je doprovázena poklesem teploty z důvodu snižování intenzity hoření a přechodem plamenného hoření ve žhnutí.

Fáze volného rozvoje požáru je možno v základu graficky znázornit (Obr. 3).



Obr. 3 - Volný rozvoj požáru

Každý požár je jiný, ať to jsou požáry na otevřeném nebo uzavřeném prostranství. Nikdy není možné předem přesně popsat, jak se požár bude přesně vyvíjet, a to především na otevřeném prostranství. Na základě poznatků získaných z literatury [6] a [7], je možné popsat tyto následující typizované scénáře požáru v uzavřeném prostoru. Popisují je křivky rozvoje požáru 1 – 6 (Obr. 4).



Obr. 4 - Teplotní křivky scénářů požáru [7]

1. Požár se nerozšíří na další hořlavý materiál. Vyhoří pouze iniciované palivo.
2. Podobný scénář může rovněž charakterizovat požár s nedostatkem oxidačního prostředku. Hoření může být velmi pomalé nebo přejít ve žhnutí a postupně uhasne.
3. Volný rozvoj požáru v uzavřeném prostoru. Požár má dostatečnou ventilaci a množství paliva. Následuje rozšíření požáru na veškerý hořlavý materiál ve fázi Flashoveru.
4. Plamenné hoření může být velmi pomalé nebo přejít ve žhnutí s tvorbou kouřových plynů obsahujících značný podíl nespálených hořlavých plynů. Při přivedení oxidačního prostředku dojde ke vzniku Backdraftu.
5. Plamenné hoření může být velmi pomalé nebo přejít ve žhnutí. Při přivedení oxidačního prostředku dojde k novému rozhoření paliva s následným Flashoverem. Požár má dostatečnou ventilaci a množství paliva. Následuje rozšíření na veškerý hořlavý materiál v prostoru.
6. Pulsace nebo také dýchání požáru. Tento jev je charakteristický pro požár řízený ventilací. Pulsace vzniká v důsledku poklesu rychlosti uvolňování tepla vlivem omezeného množství kyslíku.

Jev Flashover může nastat mezi druhou a třetí fází (Obr. 3, Obr. 4). Jev Backdraft nastává tedy v průběhu čtvrté fáze. Z výše uvedených obrázků vyplývá, že tyto jevy nejsou na křivce body, ale fáze. Je proto jednoduché vysvětlit. Tyto jevy se vyvíjí, mají určitý průběh a trvají určitou dobu.

3. Flashover

Tato kapitola obsahuje základní poznatky o jevu Flashover dle literatury [11],[7],[5].

3.1 Definice Flashoveru

Literatura [11] uvádí: „Grimwood poznamenal, že britský požární vědec Dr. Philip H. Thomas poprvé představil opravdovou vědeckou diskuzi o termínu Flashover, později v 60. letech 20. století.“

Thomasova originální definice:

„V prostoru požáru může nastat stav, kde celková tepelná radiace z „požárního chocholu“ (angl. *“fire plume“*), horkých spalin v horní horké vrstvě a zahřátých obvodových konstrukcí, způsobí vznik hořlavých produktů pyrolýzy ze všech žár vystavených hořlavých povrchů uvnitř prostoru. Požární chochol je v publikaci [11] vyjádřen jako oblast plamene, horkých spalin a pyrolýzních produktů šířících se z místa probíhající chemické reakce hoření. Přítomnost iniciačního zdroje, bude mít za následek náhlý a trvalý přechod rozvíjejícího se požáru k plně rozvinutému požáru. To je takzvaný ‘Flashover’.“

Samotný Thomas připustil, že jeho původní definice byla nepřesná. Zdroj [11] uvádí další možné definice Flashoveru:

NFPA 101

Life Safety Code

3.3.79* Flashover.

„Stupeň rozvoje požáru, ve kterém všechny vystavené povrchy dosáhnou teploty zapálení přibližně stejně, a požár se rozšiřuje rychle skrz prostor.“

NFPA 402

Guide for Aircraft Rescue and Fire Fighting Operations

1996 Edition

„Flashover. Všechny hořlavé předměty v místnosti nebo ohraničeném prostoru jsou ohřívány do chvíle, kdy budou uvolňovat páry podporující hoření a všechny hořlavé předměty se zapálí současně.“

NFPA 555

Guide on Methods for Evaluating Potential for Room Flashover

2000 Edition

“1.4.2* Flashover. Stupeň rozvoje požáru, ve kterém všechny požáru vystavené povrchy dosáhnou teploty zapálení přibližně ve stejném okamžiku, a požár se rozšiřuje rychle skrz prostor.“

[ISO]

“... rychlý přechod do stavu, celkového zasažení všech povrchů hořlavých materiálů požárem uvnitř ohraničeného prostoru“ (1996).

3.2 Základní charakteristiky Flashoveru

Výše uvedené definice obsahují jednu nebo více charakteristik jevu Flashover [11]:

Flashover představuje přechod v rozvoji požáru

Flashover není nespojitá událost, vyskytující se v jednom časovém bodě, ale je to přechod mezi rozvinutým a plně rozvinutým požárem.

Rychlost

Ačkoli tato událost není okamžitá, Flashover nastane velmi rychle, během vteřiny dojde k celkovému zasažení požárem uvnitř prostoru.

Ohraničený prostor

Podmínkou je ohraničený prostor (např. jednotlivá místnost).

Všechny vystavené povrchy hořlavých látek se zapálí

Prakticky všechny hořlavé povrchy nacházející se ve spodní části prostoru, jsou vystaveny zářivému toku od horní horké vrstvy a toto způsobí postupné prohřátí a zapálení.

Požár rozšiřující se skrz prostor

Rychlé zapálení hořlavých látek ve spodní vrstvě způsobí rozšíření požáru.

Plné zasažení místnosti

Následkem Flashoveru je zapálení veškerých hořlavých povrchů uvnitř prostoru, celý objem prostoru je zasažen požárem a tento požár závisí na druhu, vlastnostech, množství a umístění paliva v prostoru.

Všechny tyto charakteristiky obsahuje *nová definice Flashoveru obsažená v NFPA 921*:

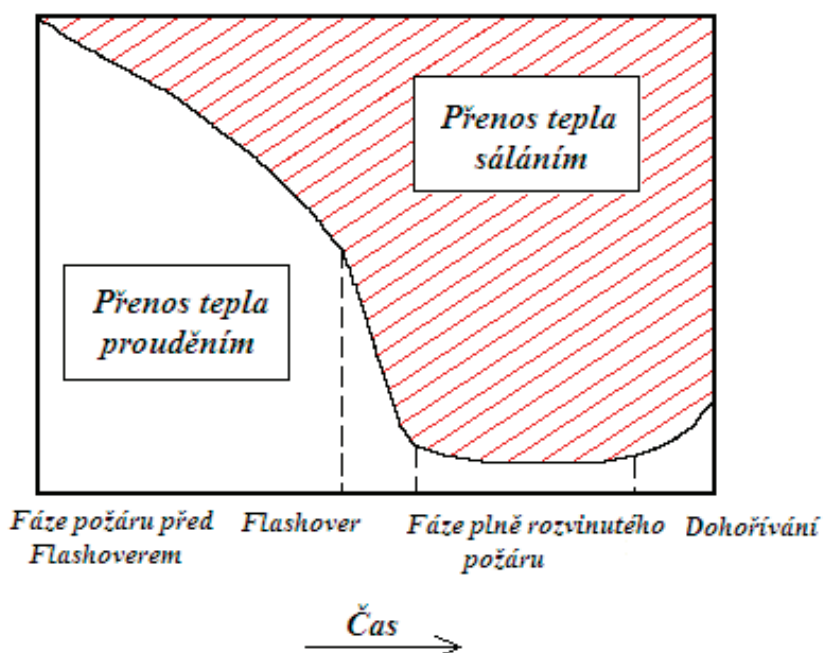
„Přechodná fáze rozvoje požáru v prostoru, ve které povrchy vystavené tepelnému záření dosáhnou teploty zapálení přibližně ve stejném okamžiku, a požár se rozšiřuje rychle skrz prostor, což má za následek úplné zasažení místnosti nebo celkové zasažení ohraničeného prostoru.“

3.3 Vznik jevu Flashover

Podmínky potřebné k tomu, aby vznikl požár, jsou popsány v oddíle 2.1. Představme si požár vzniklý v ohraničeném prostoru, kde je dostatek paliva a kam vstupuje dostatečné množství kyslíku. Jedná se tedy o požár řízený palivem. Tepelná energie před Flashoverem, je přenášena primárně prouděním plynů. V tomto okamžiku je přenos tepla prouděním a sáláním na ohraničující konstrukce, podlahu a strop prostoru jen velmi malý. Protože se jedná téměř vždy o nedokonalé hoření, uvolňují se vlivem tepelného rozkladu hořlavé plyny, páry a produkty hoření. Jakmile začne kouř díky své vysoké teplotě a nízké hustotě stoupat, akumulovat se a rozšiřovat pod stropem, začne se vytvářet horní horká vrstva. Tato vrstva kouře obsahuje zahřáté plyny, pevné a kapalné částice a aerosoly z původních hořlavých látek, přičemž požár řízený palivem přechází v požár řízený ventilací. Horní horká vrstva se začíná snižovat, houstnout a teplota se zvyšuje. Tato vrstva zahřívá ohraničující konstrukce a tepelnou degradaci materiálu dochází k tvorbě pyrolýzních produktů a spalin. Spodní část této houstnoucí horní vrstvy představuje vodorovné rozhraní mezi dvěmi vrstvami (tzv. neutrální rovina). Spodní vrstva je ochlazována vnikajícím okolním vzduchem (Obr. 5). Ve fázi Flashoveru se přenos tepla prouděním snižuje a dominantní formou přenosu tepla je sálání (Obr. 6) [11],[7].



Obr. 5 - Podmínky před Flashoverem v ohraničeném prostoru



Obr. 6 - Poměr přenosu tepla v jednotlivých fázích požáru

Tepelná energie je tedy vyzařována ze spodního rozhraní horní horké vrstvy, na povrchy hořlavých látek rozmístěných ve spodní vrstvě v prostoru. Může se jednat o hořlavé látky, které jsou v bytových prostorech např. domácí zařízení, obklady stěn, podlah a stropů. S postupujícím časem se požár rozvíjí, mění se jeho parametry (rychlost hoření, plocha požáru, teplota požáru a další). Kromě těchto parametrů se zvětšuje také rychlost uvolňování tepla z plamene a horní horké vrstvy. Tepelná energie stále hlouběji prohřívá hořlavé látky, což způsobuje intenzivnější uvolňování hořlavých plynů a par. Horní vrstva vertikálně klesá od stropu k podlaze a vzdálenost mezi spodní částí horní vrstvy a hořlavými povrchy ve spodní vrstvě se zmenšuje. Zářivý tok dopadající na nespálené pyrolýzní palivo a další hořlavé látky

přítomné ve spodní vrstvě roste exponenciálně. Takto se požár rozvíjí až do téměř současného probíhajícího zapálení hořlavých látek ve spodní vrstvě, nastává Flashover [11],[7].

3.4 Průvodní znaky Flashoveru

Průvodní znaky (ukazatele) lze dle literatury [11] rozdělit na technické a netechnické.

Technické ukazatele charakterizující jev Flashover:

- Průměrná teplota horní horké vrstvy (pohybuje se okolo 500 - 600 °C) [5];
- Zářivý tok v úrovni podlahy (je minimálně 20 kW/m²) [7].

Jev Flashover doprovázejí další fyzikální jevy. Zprvu bývají nahlášeny očitými svědky a následně se zkoumá jejich podstata a příčina. Tyto jevy považujeme za *netechnické ukazatele*. Nejčastěji bývá nahlášeno praskání oken. Testy provedené v letech 1980 a 1990 ukázaly, že příčinou praskání okenních tabulí není přetlak, jak se původně myslelo, ale tepelné namáhání. Destruktivní přetlak potřebný k rozbití běžných skleněných tabulí používaných v domácnostech se pohybuje v rozmezí 0,689 kPa - 3,447 kPa, přičemž přetlak vyvinutý při Flashoveru je 0,014 kPa - 0,028 kPa. Teplotní difference potřebná k destrukci skleněné tabule je 70 °C. Z těchto hodnot je tedy patrné, že rozbití oken bývá způsobeno především prudkým zvýšením teploty uvnitř prostoru [11].

4. Flashover kontejner

V současné době jsou v ČR již tři tyto kontejnery pro výcvik příslušníků HZS ČR [12]:

- Olomoucký kraj, Hamry;
- Kraj Vysočina, Havlíčkův Brod;
- Jihomoravský kraj, OUPO Brno.

Následující popis bude zaměřen na popis Flashover kontejneru v Hamrech.

Nejprve je třeba říct, co je Flashover kontejner a k čemu slouží. Flashover kontejner (trenažér) je soubor prvků sestavených do systému, který umožňuje simulovat reálné podmínky při požáru v uzavřeném prostoru. Trenažér je sestaven ze dvou běžných ISO kontejnerů délky 12 m a 6 m, ve kterých mohou jednotky PO nacvičit taktiku a vedení zásahu při požárech. Je určen pro:

- výcvik a ověření hasiče efektivně a bezpečně pracovat v předem definovaných podmínkách;
- praktické ověření závěrů teoretického zkoumání dynamických požárních jevů;
- ověření technických a taktických parametrů věcných prostředků požární ochrany a taktických postupů.



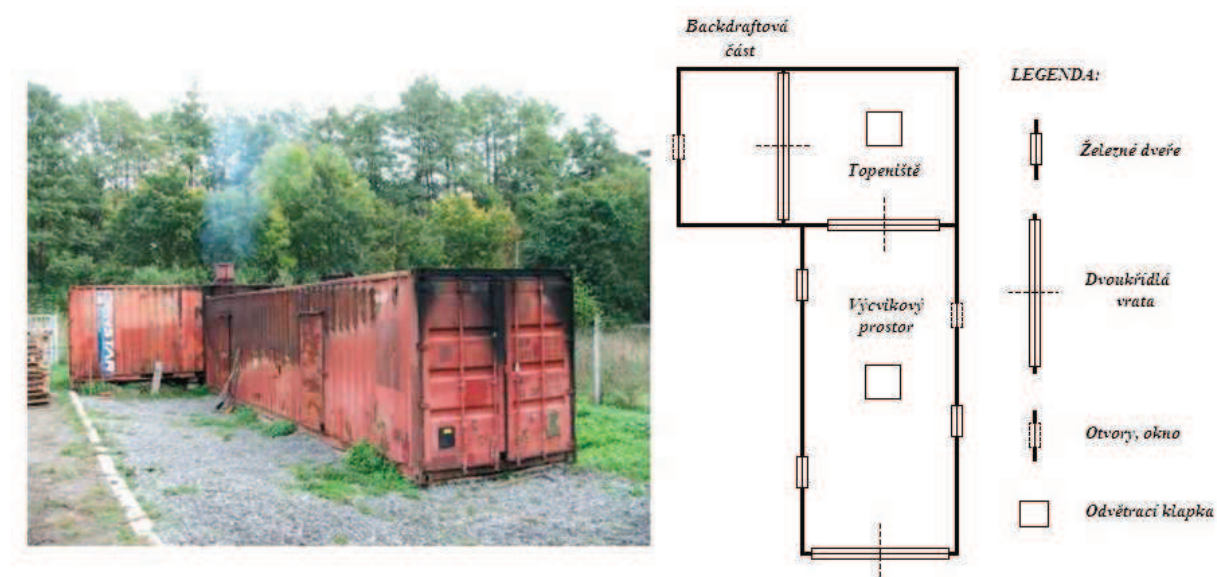
Obr. 7 - Poloha Flashover kontejneru v Hamrech [13]

Flashover kontejner se nachází v areálu HZS ČR Olomouckého kraje, sklad Hamry, Hamry 107. GPS souřadnice (zeměpisné souřadnice) areálu skladu Hamry jsou: 49°28'3.215"N, 16°58'17.522"E. Sklad je vidět na leteckém snímku (Obr. 7). Červeně ohraničený je areál skladu a zeleně je vyznačeno přibližné umístění Flashover kontejneru. V tomto areálu je taktéž skladováno pevné palivo, které se používá pro simulaci jevů [6].

4.1 Funkční a dispoziční členění

Celý trenažér tvoří [6]:

- Topeniště;
- Výcvikový prostor;
- Backdraftová část;
- Soustava pro vstup a odvětrání;
- Soustava pro nouzové odvětrání.



Obr. 8 - Flashover kontejner

Pro simulaci zapálení produktů pyrolýzy, Rolloveru a Flashoveru je používáno topeniště a výcvikový prostor. Dvoukřídlá vrata mezi Backdraftovou částí a topeništěm jsou v tomto případě zavřena. Manipuluje se s dvoukřídlými vraty mezi výcvikovým prostorem a topeništěm.

V případě simulace jevu Backdraft jsou vrata mezi topeništěm a výcvikovým prostorem uzavřena a využívá se topeniště a Backdraftová část. Vrata mezi těmito prostory jsou při simulaci jevu otevřena.

4.2 Technický popis trenažéru

Trenažér je tvořen dvěma kontejnery. Jedná se o upravené ocelové kontejnery ISO řady 1 A, používané pro námořní, silniční a železniční přepravu. Rozměry kontejnerů jsou 2500 x 2500 x 12000 mm a 2500 x 2500 x 6000 mm. Tyto dva kontejnery jsou spojeny do tvaru L. Šestimetrový kontejner je osazen na betonových deskách a vyvýšen nad úroveň terénu (Obr. 8) [15].

4.2.1 Zajištění tepelné izolace obvodových konstrukcí

Topeniště

Stěny v prostoru topeniště jsou vzhledem k navození podmínek reálného požáru v uzavřeném prostoru a k minimalizaci tepelných ztrát sdílením tepla provedeny v sendvičové konstrukci stěn: vnější plech, izolace z minerální vlny, vyzdívka z pórobetonu a vnitřní plech. Sendvič je umístěn v rámu a jištěn proti posunu vzniklém působením tepla navařenými železnými kotvami procházejícími všemi vrstvami.

Dostatečnou tepelnou izolaci stropu topeniště zajišťuje sendvičová konstrukce: trapézový plech, minerální vlna, cementovláknité desky, vlastní plášť trenažéru [30],[15],[6].

Backdraftová část a výcvikový prostor

Stěny a strop v Backdraftové části a výcvikovém prostoru jsou tvořeny trapézovým plechem. Vnitřní krytí pórobetonové vyzdívky ve stěně s vraty oddělujícími výcvikový prostor a topeniště je zčásti pokryto také trapézovým plechem, který zůstal po vytvoření otvoru mezi výcvikovým prostorem a topeništěm. Dvoukřídlá vrata mezi topeništěm a Backdraftovou částí jsou také pokryta trapézovým plechem.

Konstrukcemi stěn a stropů v topeništi, výcvikovém prostoru a Backdraftové části prochází kotevní prvky, které slouží k uchycení trapézového plechu [30],[15],[6].

4.2.2 Nosné konstrukce a podlaha

Veškeré nosné konstrukce zajišťuje stávající nosný systém kontejneru. Původní dřevěná nášlapná vrstva podlahy kontejnerů je ponechána. Na této podlaze jsou v prostoru topeniště a Backdraftové části uloženy plynosilikátové tvarovky Ytong tloušťky 80 mm. Tvarovky jsou vyspárovány na sucho pískem. Od hrany topeniště směrem do výcvikového prostoru je podlaha pokryta zámkovou betonovou dlažbou tloušťky 50 mm (Obr. 9) [6],[30].



Obr. 9 - Pohled z výcvikového prostoru na topeniště

4.2.3 Uzávěry otvorů a odvětrání

Ve výcvikovém prostoru jsou zřízeny tři postranní dveřní otvory. Dva z nich jsou vidět níže na Obr. 10 a třetí dveře jsou součástí protější stěny. Jedná se o železné dveře umístěné v železných zárubních. Rozměry dveří jsou 1900 x 1000 mm. Původní zadní kontejnerová vrata jsou ponechána a byl v nich stejně jako v železných dveřích vyříznut otvor pro hadicové vedení. Rozhraní výcvikového prostoru a topeniště je opatřeno dvoukřídlými železnými izolovanými vraty o rozměrech 1830 x 1920 mm.

Šestimetrový kontejner je rozdělen původně vstupními vraty do kontejneru na Backdraftovou část a topeniště. Místo vrat byla instalována stěna se dvěma nad sebou umístěnými nezávislými otvory o rozměrech 1000 x 940 a 1000 x 1010 mm (Obr. 11). Vrata mezi Backdraftovým i výcvikovým prostorem jsou izolována minerální vlnou o tloušťce 40 mm. Dvojice otvorů ústících z Backdraftového prostoru je izolována minerální vlnou o tloušťce 30 mm.



Obr. 10 - Část výcvikového prostoru se železnými dveřmi



Obr. 11 - Otvory v Backdraftové části [6]

Výcvikový prostor je ve směru od topeniště na protější straně prvních dveří osazen oknem o rozměrech 930 x 730 mm umístěným ve výšce 1210 mm nad podlahou.

Odvětrací systém umožňuje nezávislé ovládání dvou klapek ve stropu kontejneru zevnitř i zvenku pomocí soustavy táhel. Plechová klapka uzavírá odvětrací otvor o rozměrech 500 x 500 mm [6].

4.2.4 Speciální zařízení

Ve výcvikovém prostoru se může variabilně umísťovat na navařená železná oka kouřová zástěna (Obr. 12). Kouřová zástěna je schopna určit výšku horní horké vrstvy kuře. Je přibližně 600 mm vysoká [6].



Obr. 12 - Zástěna v horní části výcvikového prostoru [6]

5. Backdraft

Jev Flashover je v současné době probádán daleko více než Backdraft. Přesto existuje mnoho studií, které napomáhají lepšímu pochopení teoretické povahy Backdraftu. Tým Fleischmann a Pagni z Kalifornské university, město Berkeley, byl první, který položil teoretické základy a následně prováděl praktickou simulaci tohoto jevu. Na základě provedené rešerše je v tomto oddíle popsán jev Backdraft, jeho definice, vznik, průběh a projevy [11].

5.1 Definice jevu Backdraft

Definice Backdraftu jsou citované ze zdroje [11].

Steward 1914:

„Tyto ‘exploze kouře’ mnohdy nastávají v hořících stavbách a obvykle se nazývají ‘*back draughts*’ (zpětné tahy) nebo ‘*hot air explosions*’ (horké exploze vzduchu). Požár ve spodní části stavby vyplní celou stavbu hustým kouřem, dříve než je vidět vycházející kouř ze štěrbin okolo oken. Při příjezdu hasičů jsou udělány otvory do stavby, které umožní přísávání čerstvého vzduchu. Směs vzduchu a pyrolýzních produktů je bleskově zapálena na všech podlažích, někdy s dostatečnou silou k vyražení všech oken a dveří ze zavřených místností a prostor, kam pronikl kouř.“

Institute požárního inženýrství (IFE) definuje Backdraft jako:

„Exploze většího nebo menšího stupně, způsobená přívalem čerstvého vzduchu z místa vzniku požáru nebo prostoru v hořícím stavení, kde probíhalo hoření za nedostatku vzduchu.“

NFPA definice:

„Deflagrace vyvolaná náhlým přivedením vzduchu do uzavřeného prostoru, ve kterém je nedostatek kyslíku a produkty nedokonalého spalování.“

Fleischmann, C. a Pagni, P. definují Backdraft jako:

„Pokud je prostor uzavřený, nahromadí se přebytek pyrolýzních produktů, které jsou stále schopny hoření, a náhle dojde k otevření otvoru (např. rozbitím okna vlivem tepelného působení od požáru nebo při vstupu hasiče do prostoru), pak vnese hustotní proud (angl. “*gravity current*”) čerstvý vzduch do prostoru. Tento vzduch se mísí s nadbytkem

pyrolýzních plynů až do vytvoření hořlavého souboru, který může být dále zapálen celou řadou způsobů.“

Enclosure Fire Dynamics – Quintiere a Karlsson

„Omezená ventilace během požáru v uzavřeném prostoru může vést k produkci velkého množství nespálených plynů. Když dojde k náhlému otevření, vnikající vzduch se může smíchat s těmito nespálenými plyny a v příslušné části uzavřeného prostoru se vytvoří hořlavá směs plynů. Jakýkoli iniciační zdroj, např. žhavý popel, může zapálit tento hořlavý soubor, což má za následek extrémně rychlé hoření plynů vytlačovaných ven z otvoru a následně vytvoření ohnivé koule (angl. “fireball”) vně uzavřeného prostoru.“

5.2 Základní charakteristiky Backdraftu

Charakteristiky, které obsahují výše zmíněné definice [11]:

Ventilací řízený požár

Hoření nemůže probíhat bez adekvátního množství kyslíku. Tento kyslík je obsažen v atmosférickém vzduchu. Pokud nemá uzavřený prostor dostatečnou ventilaci, přejde požár do IV. fáze (viz oddíl 2.3).

Nespálené pyrolýzní produkty

Nedokonalé spalování pevného paliva způsobuje tvorbu nespálených pyrolýzních produktů, které se v prostoru hromadí.

Uzavřený prostor nebo zasažený prostor požárem

Musí být uzavřený prostor nebo úsek, například jednotlivá místnost.

Náhlý přívod vzduchu/kyslíku

Náhlé otevření otvoru do prostoru umožní čerstvému vzduchu vniknout do prostoru.

Prudké hoření pyrolýzních produktů

Zapálí se nahromaděné pyrolýzní produkty a čelo plamene začne postupovat prostorem.

Požár se šíří ven z uzavřeného prostoru

Čelo plamene se šíří ven z uzavřeného prostoru přes otevřený otvor a vzniká ohnivá koule (angl. „fireball“) a tlaková vlna.

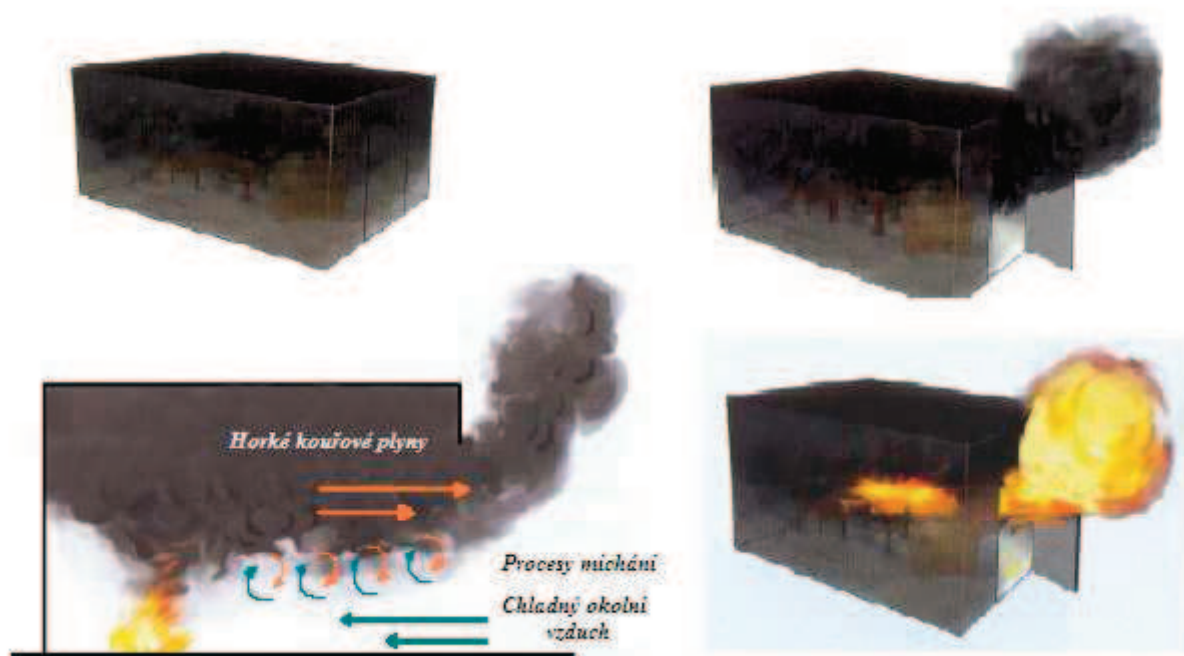
Definice, která nejvíce vystihuje jev Backdraft a zahrnuje výše uvedené charakteristiky, je převzata z definic obsažených ve studiích od Quintiere a Pagni/Fleishmann a mírně pozměněna:

Nedostatečná ventilace během požáru v uzavřeném prostoru může vést k tvorbě velkého množství nespálených pyrolýzních produktů. Když dojde k náhlému otevření otvoru, přítok čerstvého vzduchu vytváří hustotní proud a nespálené pyrolýzní produkty se začnou míchat. Vytvoří se hořlavá směs plynů v některé části uzavřeného prostoru. Iniciační zdroj, např. žhavý popel, může zapálit hořlavou směs. Extrémně prudké hoření plynů má za následek vytlačování pyrolýzních produktů vzniklých při procesu hoření skrz otvor a vzniká tzv. fireball vně uzavřeného prostoru [11].

5.3 Vznik jevu Backdraft

Pro vznik jevu Backdraft je podmínkou požár v uzavřeném prostoru, kde ventilace je umožněna pouze skrze netěsnosti v ohraničující konstrukci. Vlivem uvolňovaného tepla při požáru dochází k zahřívání hořlavých látek umístěných v prostoru. Uvolněné produkty hoření a pyrolýzní produkty stoupají vzhůru a vytváří tak horní horkou vrstvu. Množství kyslíku v uzavřeném prostoru je omezeno. Požár řízený původně palivem přechází v požár řízený ventilací. Horní horká vrstva vertikálně klesá a houstne. Sálavé teplo vyzařované z této vrstvy a plamene způsobuje intenzivnější pyrolýzu hořlavých materiálů. Tyto produkty zůstávají nespálené, hromadí se a vytváří tak horní horkou vrstvu bohatou na palivo. Intenzita plamenného hoření se snižuje a spotřebovává se dostupný kyslík obsažený v atmosférickém vzduchu. Teplota v prostoru se také snižuje a požár přechází do fáze dohořívání kvůli nedostatku kyslíku. V této fázi plamenné hoření přechází ve žhnutí. V prostoru je v dané chvíli nedostatek kyslíku a velké množství hořlavých plynů. Teplota v prostoru se snížila, ale je podstatně vyšší než okolní teplota. Náhlým otevřením nebo vytvořením otvoru v ohraničující konstrukci je umožněn přístup kyslíku do prostoru a horké plyny z vnitřního prostoru vytékají ven horní částí tohoto otvoru. Současně chladný čerstvý vzduch proudí spodní částí otvoru dovnitř. Propagace čela tohoto chladného, hustotou poháněného proudu,

se nazývá hustotní proud. Mísící se vrstva je vytvářena na rozhraní mezi vtokem a výtokem, a prostorem je přenášena hustotním proudem. Tato mísící se vrstva vytváří hořlavý soubor (směs vzduchu a pyrolýzních produktů) a po dosažení oblasti plamene nebo žhnoucích pevných částic dojde k iniciaci (zapálení). Po zapálení se čelo plamene šíří zpět k otvoru právě výše zmíněnou předmíchanou vrstvou. Vytvořený turbulentní plamen se rychle šíří prostorem. Turbulentní deflagrace uvnitř prostoru vytlačuje zbylé nespálené palivo a pyrolýzní produkty ven z otvoru. Pyrolýzní produkty a nespálené palivo hoří vně prostoru a vzniká fireball [16],[18]. Průběh jevu Backdraft je velice dobře znázorněn na následujícím obrázku (Obr. 13).

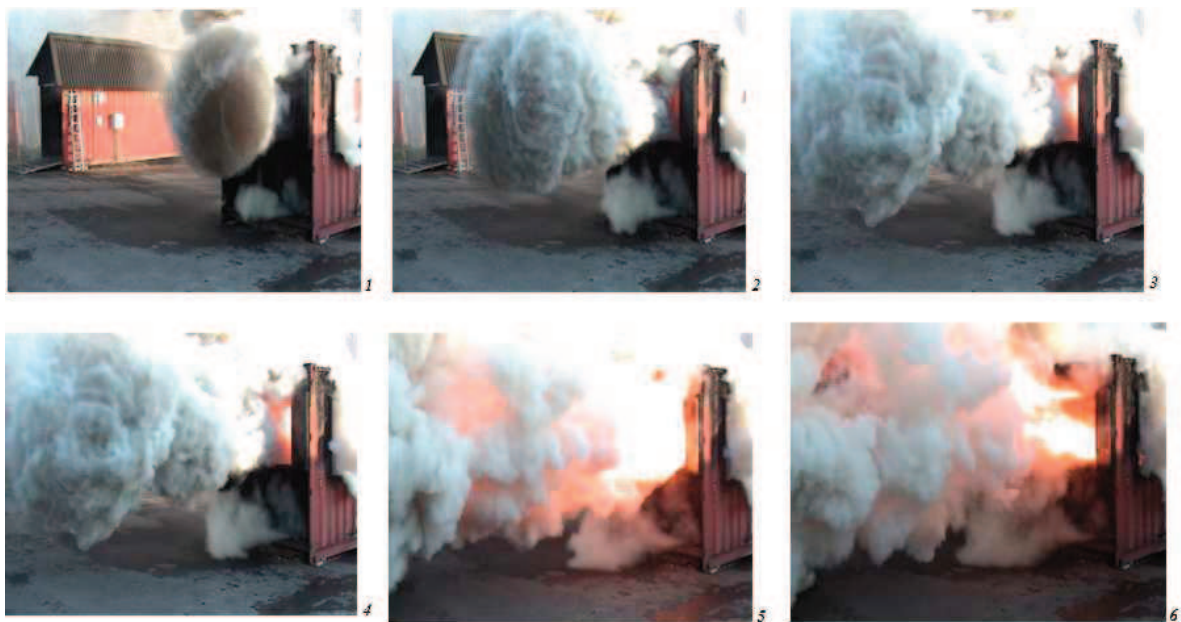


Obr. 13 - Typický scénář vzniku Backdraftu [7]

Vznik jevu fireball zobrazují další série snímků (Obr. 14, Obr. 15), které velice dobře vystihují projev „turbulentní deflagrace“ (angl. “*turbulent deflagration*“) uvnitř prostoru, vytlačování nespáleného paliva a následný vznik jevu Backdraft.



Obr. 14 – Fireball [22]



Obr. 15 - Průběh vzniku fireballu [23]

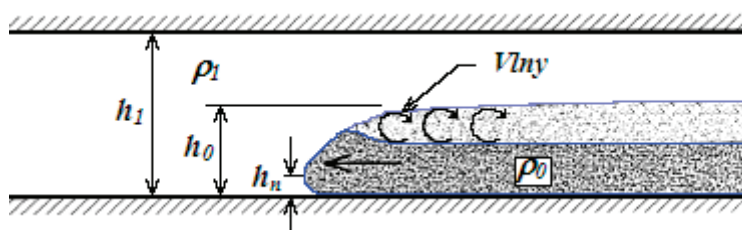
5.4 Hustotní proud

Vznik Backdraftu významně ovlivňuje výměna plynů mezi vnějším a vnitřním prostorem, která úzce souvisí s teplotou, a tudíž i hustotou. K porozumění jevu Backdraft je potřeba nejprve pochopit problematiku tzv. „hustotních proudů“ (angl. “*gravity currents*“).

V případě výše uvedeného scénáře vzniku Backdraftu se neutrální rovina v každém okamžiku mění a dělí uzavřený prostor na dvě části. S rostoucí teplotou plynů klesá hustota a zvyšuje se tlak. V horní části je teplota a tlak vyšší než ve spodní části prostoru, ale hustota je v horní

části nižší (ρ_l). Tyto fyzikální parametry (hustota, teplota, tlak) se vzájemně ovlivňují a ovlivňují též výměnu plynů při požáru.

Hustotní proud je proud (proudění) vznikající v důsledku rozdílných hustot dvou médií, které se vzájemně v prostoru konfrontují. V daném případě jevu Backdraft se jedná o situaci, kdy dojde k otevření nebo vytvoření otvoru, hustotní proud média s vyšší hustotou (ρ_0) vstupuje do prostoru. Hustý a chladnější okolní vzduch vtéká spodní částí otvoru dovnitř, zatímco horké plyny proudí horní částí otvoru z prostoru ven. Hustotní proud je složen z „čela“, „vířivých struktur“ na rozhraní a z „vlastního proudu“ (Obr. 16).



Obr. 16 - Hustotní proud [16]

Celý tento profil proudu čerstvého vzduchu je složen z jednotlivých vrstev, jejichž rychlost proudění je rozdílná (např. krajní vrstvy proudu mají nejmenší rychlost). Na obrázku je vidět, že spodní hrana čela proudu je mírně zvýšená ve výšce h_n . Zaoblené čelo hustotního proudu (Obr. 16) vzniká v důsledku tření nejnižších vrstev tohoto proudu o drsnosti na podlaze (teorie mezní vrstvy dle [25]) a též v důsledku tření horních vrstev o vrstvy teplejšího proudu s menší hustotou (ρ_l) vytékající z prostoru ven, tj. proudící opačným směrem (vznik turbulentních struktur na rozhraní proudů). V oblasti rozhraní vytvořené tímto prouděním se vytváří výbušná koncentrace směsi vzduchu a horkých hořlavých pyrolýzních produktů. Hustotní proud nese tuto směs o výbušné koncentraci k iniciačnímu zdroji, tj. zdroji zapálení. Po kontaktu s iniciačním zdrojem dojde k zapálení směsi a nastává Backdraft [16],[17].

5.5 Průvodní znaky Backdraftu

Backdraft je velice nebezpečný jev a je třeba pozorně sledovat jeho průvodní znaky při zásahu [11],[14],[18]:

- Pulsace požáru (okna a dveře jsou zavřené, ale kouř uniká netěsnostmi vlivem vysokého tlaku, poté dochází k nasávání vzduchu do stavby);

- V případě otevření otvoru lze pozorovat charakteristické odvalování kouře;
- Žádné viditelné plameny v místnosti;
- Horké dveře a okna;
- Je slyšet pískání kolem dveří a oken (když bude požár v uzavřeném prostoru probíhat dlouhou dobu, nahromadí se v prostoru velké množství nespálených plynů);
- Skelné okenní tabule jsou zabarveny, začerněny a mohou působením tepla prasknout.

Klíčovým znakem, který byl upozorován několika svědky v minulosti, je pohyb kouře dovnitř a ven. Je to znamení, že požár ve stavbě tzv. ‘dýchá’.

5.6 Porovnání jevu Backdraft a Flashover

Tyto nelineární jevy jsou často zaměňovány a pro jejich informace k jejich pochopení jsou uvedeny v tomto oddílu formou definování základních rozdílů.

Četnost výskytů jevu Backdraft je velmi malá ve srovnání s Flashoverem. Backdraft vzniká zřídka a to umocňuje ještě více jeho nebezpečnost a efekt překvapení pro zasahující hasiče.

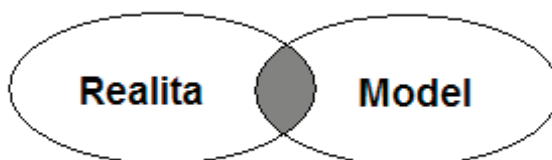
Zásadní rozdíl je v tlakových poměrech doprovázejících oba jevy. Nárůst tlaku při Flashoveru je nepatrný ve srovnání s tlakem vyvinutým při Backdraftu. Tato tlaková vlna může rozbít výplně oken a ohrozit i celé méně stabilní stavební konstrukce. Příčina vzniku těchto jevů je dalším rozlišovacím znakem. Flashover nastává v prostoru, kde je přítomna hořlavá látka, oxidační prostředek a kde hořlavé povrchy dosáhly teploty vznícení. Backdraft nastává v uzavřeném prostoru, kde je přítomna hořlavá látka s dostatečnou tepelnou energií k hoření a náhle je do prostoru přiveden oxidační prostředek.

Poslední významný rozdíl mezi Backdraftem a Flashoverem je jejich umístění v časovém schématu rozvoji požáru, kdy tyto jevy nastanou. Pokud je průběh požáru rozdělen na tři časové úseky (dle oddílu 2.4), pak Flashover nastává mezi první a druhou fází a představuje přechod od „rozvoje požáru“ k „plně rozvinutému požáru“. Vznik Backdraftu je možný jak ve třetí fázi, tak i v první fázi rozvoje požáru [19],[5].

6. Možné přístupy k simulaci jevu Backdraft

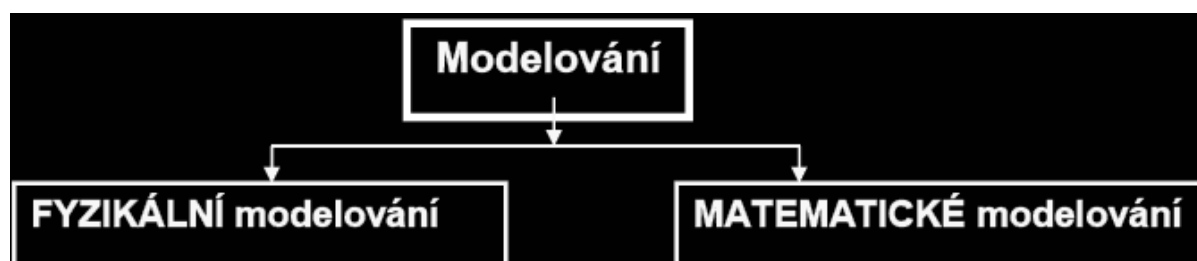
Na úvod je třeba zmínit základní informace o modelování, protože simulace jevu Backdraft je vlastně modelování tohoto jevu.

Modelování je činnost vedoucí k napodobení určité části reality, která je pro řešitele směřodratná. **Model** je produkt této činnosti, tedy napodobenina vytýčené části reality, která má se svou předlohou určité spektrum společných vlastností, dle zájmu řešitele. Je žádoucí, aby oblast společných vlastností vyznačená tmavě šedou barvou byla co možná největší, tedy aby se model co nejvíce blížil realitě (Obr. 17), [25].



Obr. 17 - Schéma model versus realita [25]

Modelování lze rozdělit následovně (Obr. 18).



Obr. 18 - Schéma základního rozdělení modelovacích přístupů [25]

Fyzikální modelování je založeno na podobnosti mezi dvěma reálnými systémy, z nichž jeden představuje skutečnost a druhý její reprodukováný obraz, tedy model. Jako fyzikální modelování lze považovat simulaci jevu Backdraft v reálném zařízení, např. ve Flashover kontejneru [25].

Matematické modelování je založeno na podobnosti mezi systémem reálným a abstraktním. Jde o zkoumání reálných systémů za pomoci systémů abstraktních, které jsou definovány matematickými vztahy a konstantami vyjadřujícími fyzikální stav soustavy nebo děje v ní

probíhajícího. Jako příklad lze uvést modelování fyzikálních dějů za pomoci počítačových softwarů [25].

Nejprve by měla být provedena řada fyzikálních experimentů vedoucích k získání dostatečného množství vstupních dat pro matematický model a návazně by pak mělo následovat matematické modelování dané úlohy. Porovnáním výsledků z fyzikálních experimentů a matematického modelování lze získat škálu dalších hlubších informací o daném jevu.

6.1 Fyzikální experimenty provedené v minulosti

V minulosti bylo prováděno mnoho experimentů jevu Backdraft. C. M. Fleischmann provedl řadu experimentů, které vytvořily základ pro další zkoumání jevu. Například práce „První experimenty Backdraftu“ (angl. “*Initial Backdraft Experiments*“) od autora jménem D. Gojkovic se nechala Fleischmannovou prací inspirovat [21],[16].

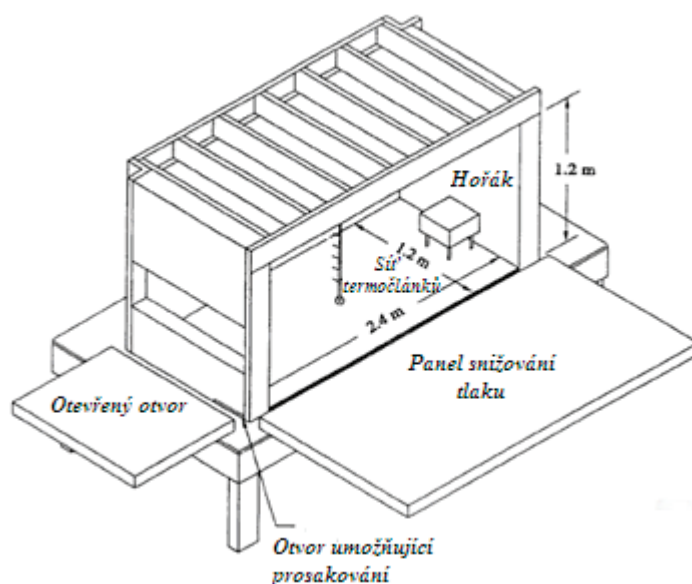
6.1.1 Zařízení používané Fleischmannem

Fleischmann používal k experimentům speciální komoru o rozměrech 1,2 x 1,2 x 2,4 m. Nosnou konstrukci tvořily ocelové sloupky a vlastní opláštění pozinkované plechy. Jednu stěnu komory tvořil tzv. „panel snižování tlaku“ (angl. “*pressure relief panel*“). Sloužil jako pojistný prvek (odklopením) pro odlehčení přetlaku při vzniku Backdraftu. Strop, stěny a podlaha, kromě panelu snižování tlaku, byly tepelně izolovány sádkartonovou deskou o předepsané požární odolnosti. Do stěny naproti tlakovému panelu bylo instalováno okno s výplní Neoceram. Nad plynovým hořákem byl umístěn zdroj pro zapálení hořlavé směsi v podobě jiskřící elektrody. Otvor pro přísun čerstvého vzduchu o rozměrech 1,2 x 0,4 m byl situován ve stěně naproti hořáku. Při experimentech bylo zajištěno řízené prosakování a to dvěma otvory o výšce 25 mm a šířce 0,3 m ve stěně naproti hořáku, v úrovni stropu a podlahy [16].

Při experimentech Fleischmanna byly měřeny tyto veličiny:

- Teplota;
- Tlak;
- Koncentrace plynů.

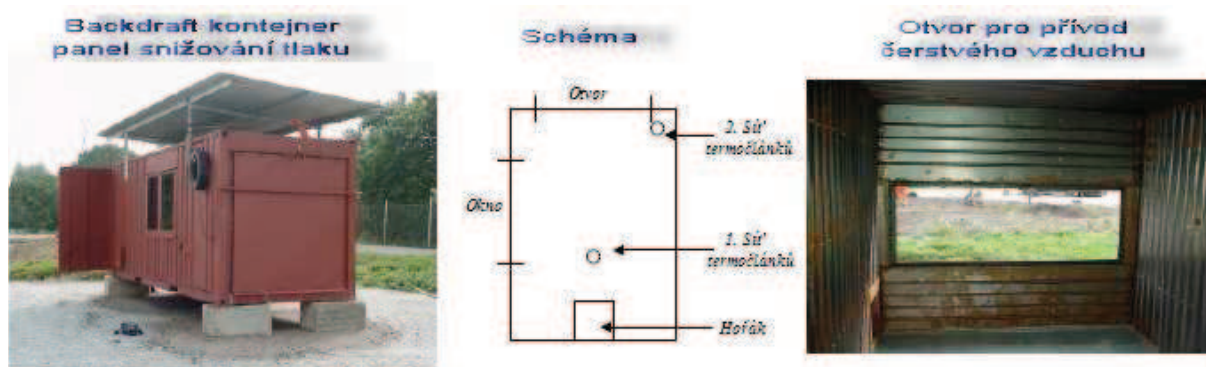
K měření teploty byla použita síť termočlánků umístěná v geometrickém středu prostoru. Jednalo se o sedm termočlánků umístěných v 0,15 m širokých odstupech a jeden přídavný termočlánek pro měření teploty horní horké vrstvy byl umístěn 50 mm pod úrovní stropu. Nárůst statického přetlaku v prostoru zaznamenával elektronický snímač s rozsahem od 0 do 1250 Pa. Snímač byl umístěn ve stacionární stěně naproti panelu snižování tlaku v úrovni podlahy. Dále byly měřeny koncentrace kyslíku (O_2), oxidu uhelnatého (CO), oxidu uhličitého (CO_2) a uhlovodíků (HC). Vzorky byly odebrané z nerezových ocelových sond. Tyto sondy byly situovány v prostoru 0,2 m pod stropem a 0,6 m od otvoru ve stěně a bočních stěn. Jako palivo byl použit při některých experimentech zemní plyn a v dalších pak propan. Tato paliva byla použita v sérii 23 experimentů, jak popisuje první část disertační práce [16]. Literatura [20] popisuje sérii 17 experimentů, kde byl použit methan. V obou případech (viz [16] a [20]) byl jev Backdraft simulován ve speciální komoře (Obr. 19).



Obr. 19 - Schéma speciální komory pro Backdraft [16]

6.1.2 Zařízení používané Gojkovicem

Při experimentech Gojovice byl již používán přímo Backdraft kontejner (Obr. 20). Jednalo se o lodní kontejner o rozměrech 5,5 x 2,2 x 2,2 m. Z důvodu tepelné izolace byly sendvičové konstrukce kontejneru izolovány skelno-vláknitou izolací. Podlaha byla pokryta betonem. Jedna stěna kontejneru sloužila jako panel snižování tlaku při vzniku Backdraftu podobně jako u Fleischmannovy speciální komory. Pro lepší pozorování bylo v kontejneru zabudováno okno. Skleněná výplň měla požadovanou požární odolnost a byla odolná i vůči tlakovým změnám [21].



Obr. 20 - Backdraft kontejner [21]

Pro přívod vzduchu do kontejneru byl vytvořen otvor o rozměrech 1,2 x 0,8 m ve střední části stěny kontejneru. Dále D. Gojkovic uvádí, že tato geometrie byla zvolena proto, že se takto vytvoří více proudů (turbulentních vířivých struktur), než při simulaci otevření dveří nebo okna. Tato specifická geometrie také měla ulehčit modelování experimentů pomocí CFD kódů. V kontejneru byl umístěn také hořák s elektrickým zapalovačem. Pro zapálení směsi se používal elektricky zahříváný vertikálně orientovaný kovový drát o délce 1 m. Střecha kontejneru měla pouze funkci ochrany před deštěm.

Při experimentech Gojkovice byly měřeny tyto fyzikální veličiny:

- Teplota;
- Tlak;
- Koncentrace plynů.

K měření teploty byly použity dvě sítě termočlánků (Obr. 20). Každá z těchto sítí měla 5 termočlánků vzdálených od sebe vertikálně 40 cm, přičemž nejvýše umístěný byl ve vzdálenosti 20 cm od stropu. Změna dynamického tlaku byla zaznamenávána třemi obousměrnými Pitotovými trubicemi umístěnými v otvoru pro přísun vzduchu rozměrech 1,2 x 0,8 m. Při experimentech se měřila taktéž teplota vnikajícího čerstvého vzduchu termočlánek dodatečně umístěnými na každé Pitotově trubici. Nárůst statického tlaku v kontejneru byl snímán senzorem tlaku. Koncentrace kyslíku, oxidu uhličitého a methanu byla měřena pomocí přístroje Dräger Multiwarn II. Jako palivo při experimentech se používal zemní plyn [21].

6.1.3 Postup při experimentech

Při experimentech se používalo plynné palivo. Hlavním důvodem byla možnost snadnější regulace množství plynu přiváděného do uzavřeného prostoru. Postup u Fleischmanna a Gojkovic byl principiálně shodný. Plyn vytékající z hořáku byl zapálen elektrickou jiskrou, po čemž následovalo uzavření otvoru pro přívod vzduchu poklopem. Plameny šlehající z plynového hořáku simulovaly požár v uzavřeném prostoru a spotřebovávaly tak dostupný kyslík v daném uzavřeném prostoru kontejneru. Plameny postupem času uhasly kvůli nedostatku kyslíku. Plyn však dále vtékal do prostoru, a to až do okamžiku vytvoření potřebné koncentrace ke vzniku Backdraftu. Pak byl uzavřen přívod plynu do prostoru a otevřel se otvor pro přísun vzduchu. Proud čerstvého vzduchu vnikajícího do prostoru unášel směs hořlavých plynu (původního paliva), vzduchu, pyrolyzních produktů a spalin ke zdroji zapálení. Zapálením této směsi nastal Backdraft, avšak ne vždy, ale pouze při některých experimentech.

Fleischmann ve své práci [16] uvádí 23 experimentů, z čehož při experimentech č. 1 - 8 byl jako palivo použit zemní plyn a Backdraft nastal. Při použití propanu jako paliva Backdraft nenastal ani v jednom případě.

Důvodem pravděpodobně bylo, že hustota propanu byla přibližně stejná jako hustota ostatních plynů v prostoru a tak došlo k nahromadění propanu spíše ve spodní části prostoru, nikoliv v horní části, jak by bylo k Backdraftu potřeba. Palivo bylo tedy blízko podlahy a u malého otvoru umožňujícího prosakování plál malý plamínek. Při otevření otvoru se směs propanu a vzduchu rozhořela a plameny tmavě oranžové a žluté barvy se pomalu rozšiřovaly.

Experimenty v práci [20] byly prováděny obdobným způsobem. Jednalo se o 17 experimentů, kde palivem byl methan.

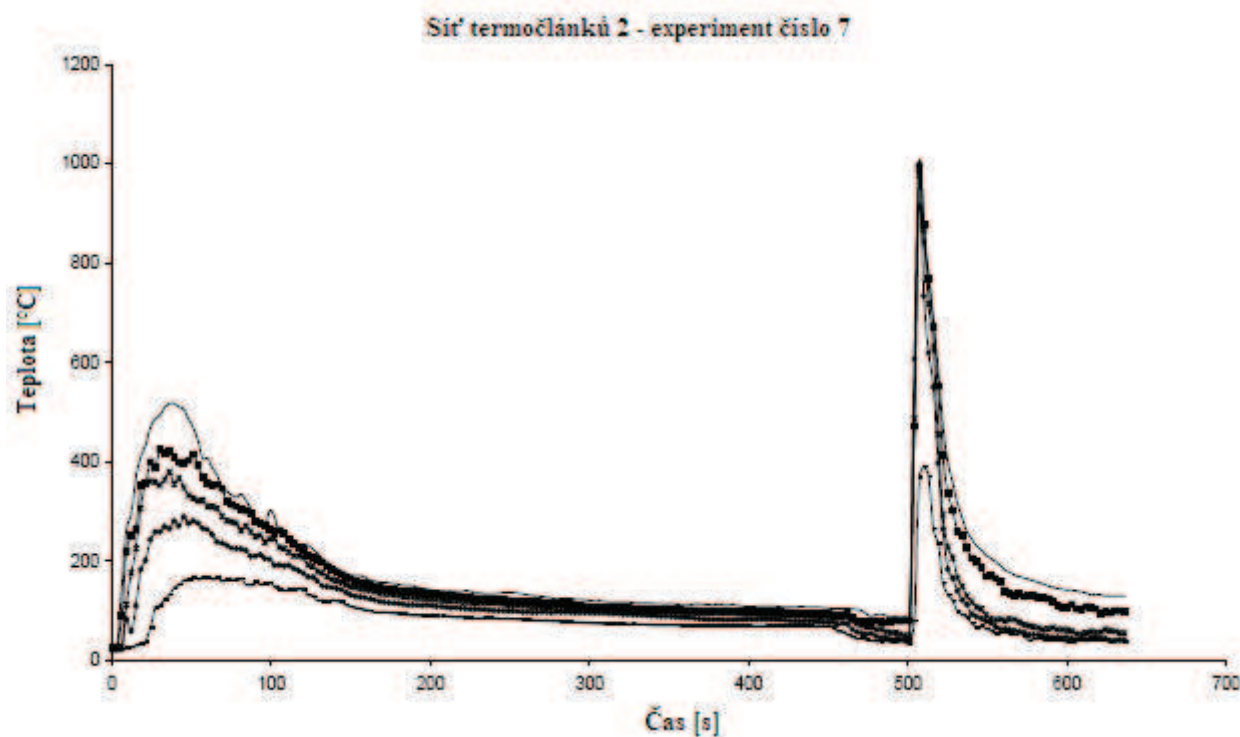
Gojkovic ve své práci [21] uvádí 13 experimentů. Ve všech experimentech byl použit jako palivo zemní plyn. Backdraft nastal ze 13 pokusů v 8 případech [16],[20],[21].

6.1.4 Výsledky experimentů

Grafy, které jsou v této kapitole prezentovány, se týkají pouze experimentů, kde se uskutečnil Backdraft. Jedná se o série 23 a 17 experimentů v pracích Fleischmanna [16],[20] v porovnání

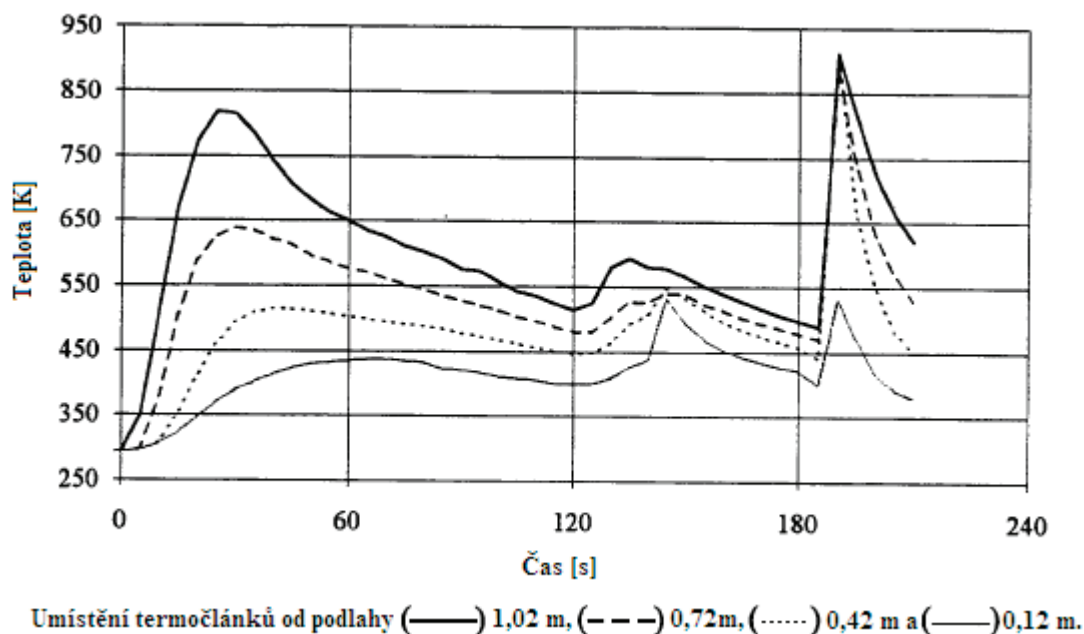
se sérií 13 experimentů z práce D. Gojkovice [21]. Uvedené grafy pochází z těchto různých experimentů.

Teplota



Obr. 21 – Typický graf teploty v případě vzniku jevu Backdraft [21]

Gojkovic ve své práci [21] uvádí grafy srovnávající naměřené hodnoty teplot na termočláncích ve stejné výškové úrovni z 1. a 2. sítě termočlánků. Rozdíl naměřených teplot je velmi malý. Proto není nutné prezentovat tyto grafy. Je ovšem třeba uvést průběh teplot pěti termočlánků 2. sítě při vzniku Backdraftu (Obr. 21).

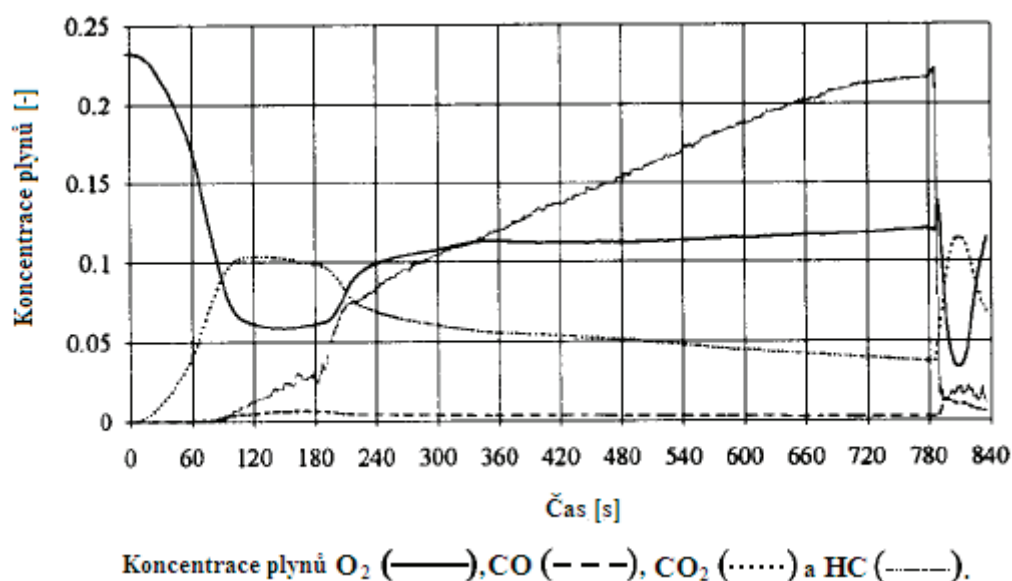


Obr. 22 - Záznam teploty z experimentu č. 4 [16]

Graf, který uvádí Fleischmann v jeho práci [16] představuje záznam teplot pěti termočlánků umístěných v různých výškových úrovních (Obr. 22).

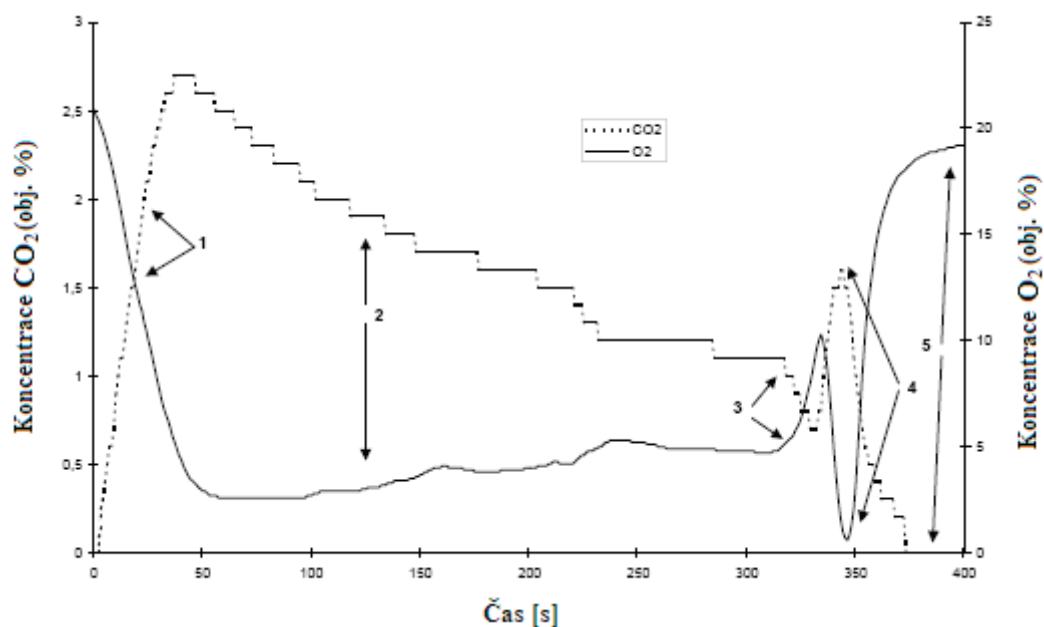
Tyto grafy jsou uvedeny záměrně pro názornou ukázkou tvaru teplotní křivky při jevu Backdraft. Po zapálení plynu z hořáku teplota v uzavřeném prostoru stoupala, požár postupně přecházel do fáze plně rozvinutého požáru. V této fázi, jak je vidět na grafech, teplota dosahovala lokálního maxima. Nastala čtvrtá fáze požáru, kdy se plameny postupně zmenšovaly, až postupně uhasly kvůli nedostatku kyslíku. Teplota se s postupujícím časem postupně snižovala. Příčina změny trendu teplotní křivky mezi 120 a 180 s (Obr. 22) byla způsobena zpozorovanými „plápolajícími plameny“ (angl. “*dancing flames*“) ve spodní části prostoru. Náhlé otevření otvoru umožnilo přístup chladného vzduchu do prostoru. Teplota klesala ve spodní části prostoru daleko rychleji. Hustotní proud nesl směs plynu, čerstvého vzduchu, pyrolýzních produktů a spalin k iniciačnímu zdroji. Zapálení směsi a šíření čela turbulentní deflagrace prostorem je na grafech znázorněno prudkým nárůstem teploty a dosažením globálního maxima [16],[21].

Koncentrace plynů



Obr. 23 - Koncentrace plynů [20]

Koncentrace plynů od Fleischmanna (Obr. 23) nesouvisí s grafem průběhu teplot (Obr. 22) z jeho práce. Graf závislosti koncentrace plynů na čase (Obr. 24) je zde uveden pouze pro vytvoření představy o průběhu výměny plynů při prováděných experimentech.

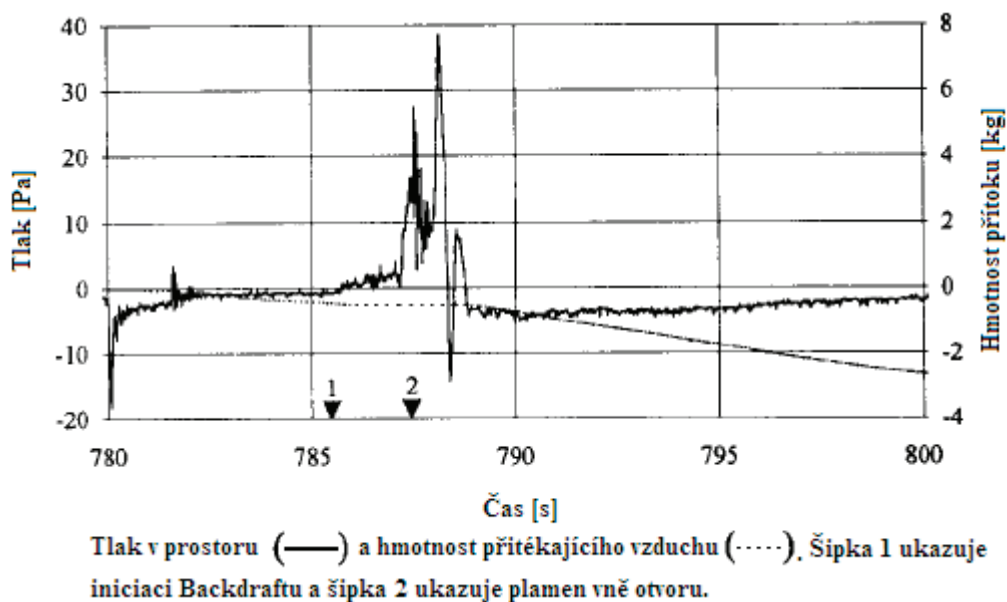


Obr. 24 - Koncentrace plynů s vysvětlivkami [21]

Křivky CO_2 a O_2 v grafech (Obr. 23, Obr. 24) mají podobný průběh. Jednotlivé křivky koncentrací plynů (Obr. 24) naměřené přístrojem Dräger Multiwarn II jsou popsány:

1. Během této fáze experimentu se v důsledku spalování koncentrace kyslíku snižovala a koncentrace oxidu uhličitého zvyšovala. Tento trend se udržel, dokud koncentrace kyslíku v prostoru podporovala plamenné hoření. Následně plamenné hoření ustalo a oxid uhličitý již nebyl produkován kvůli nedostatku kyslíku. V případě použití pevného paliva by plamenné hoření přešlo ve žhnutí a oxid uhličitý by se i nadále vytvářel.
2. Během druhé fáze experimentu, kdy byl zemní plyn vháněn do kontejneru, se koncentrace oxidu uhličitého snižovala, což bylo způsobeno ředěním se zemním plynem. Zároveň se zvyšovala koncentrace kyslíku přísunem čerstvého vzduchu do kontejneru vlivem prosakování skrze netěsnosti.
3. Náhlým otevřením otvoru se hladina kyslíku rychle zvýšila vniknutím čerstvého vzduchu do prostoru. Koncentrace oxidu uhličitého se pak v důsledku toho snížila.
4. Jakmile iniciační zdroj zapálil hořlavou směs nastala prudká turbulentní deflagrace, která vyvrcholila v Backdraft. Tento jev je charakterizován prudkým nárůstem koncentrace oxidu uhličitého a rapidním snížením koncentrace kyslíku.
5. Po ukončení Backdraftu se koncentrace plynů obnovila na původní hodnoty [20],[21].

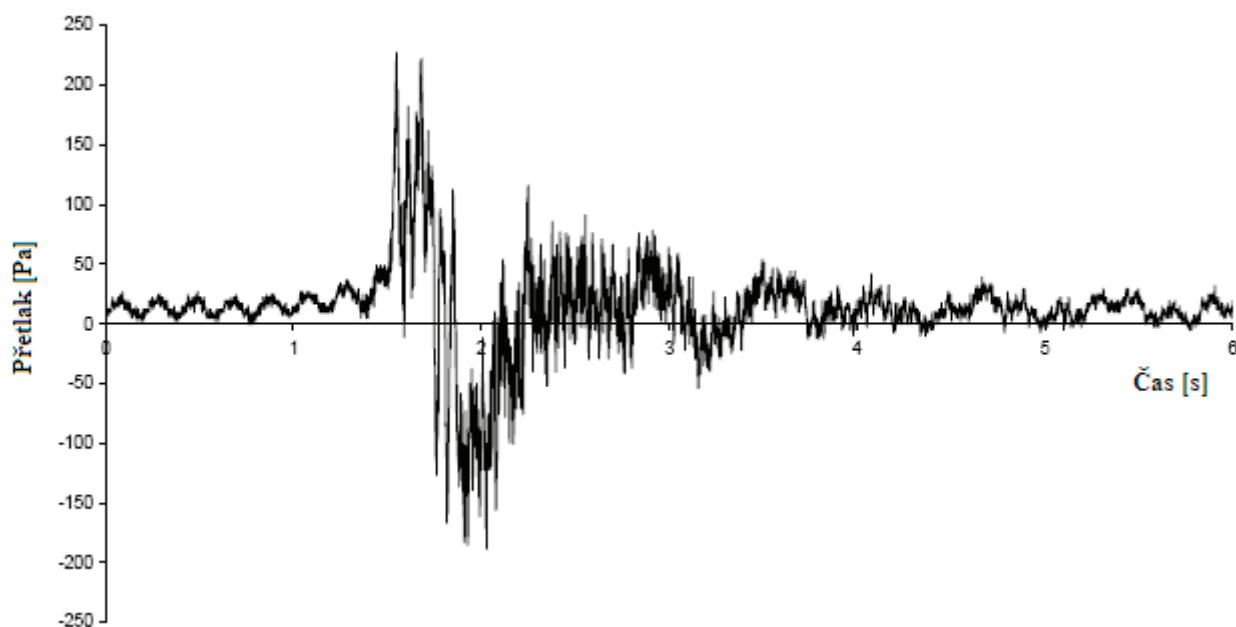
Tlak



Obr. 25 - Průběh tlaku v závislosti na hmotnosti přitékajícího vzduchu [20]

Průběh tlaku při jevu Backdraft (Obr. 25) byl zaznamenán elektronickým snímačem. V čase 780 s se odstranil poklop z otvoru ve speciální komoře, což se výrazně projevilo na

naměřených datech. Tlak se podstatně snížil. Zapálení Backdraftu nastalo v čase 785,6 s, jak ukazuje šipka 1. Tlak se mírně zvýšil. První vrchol tlakové křivky na grafu nastává v čase 787,5 s, jak ukazuje šipka 2, kdy plamen vystupoval ven z otvoru. Druhý vrchol představuje fireball vně prostoru. Přetlak uvolněný při jevu fireball se kompenzoval vznikem podtlaku v prostoru, kde byl z tohoto důvodu nasát čerstvý vzduch. Následovala časová sekvence s téměř konstantním tlakem. Po navození Backdraftu došlo ke vzniku záporné bilance přitékajícího vzduchu do prostoru spodní částí otvoru (vzduch nepřitékal, naopak byl vytlačován ven), protože přetlak vytvořený v prostoru zabraňoval jeho přísunu. Poté, co „ohnivá koule“ (angl. *“fireball”*) opustila prostor, došlo k ustálení tlaku a hmotnostního přítoku čerstvého vzduchu do prostoru.



Obr. 26 - Záznam tlaku po zapálení hořlavé směsi [21]

Záznam tlaku (Obr. 26) byl naměřen pomocí Pitotových trubic umístěných v otvoru. Backdraft na tomto grafu charakterizují tři stupně:

1. První stupeň se na grafu nachází mezi otevřením otvoru a iniciací. Náhlé otevření otvoru způsobilo vniknutí čerstvého vzduchu do prostoru jeho spodní částí, zatímco horké vzdušné spaliny unikaly horní částí otvoru. To je způsobeno přetlakem vzniklým v horní části a podtlakem ve spodní části prostoru.
2. Tento stupeň představuje Backdraft. Po iniciaci se plyny tlačí ven z kontejneru celým otvorem a vně prostoru vzniká fireball.

3. Několik sekund po Backdraftu se tlak uvnitř kontejneru vyrovnává. To způsobuje nasátí vzduchu zpět do kontejneru vlivem vzniklého podtlaku. Podtlak ovšem není tak velký jako přetlak v předešlém stupni tohoto fyzikálního děje.

Záznamy tlaků na obou snímcích mají podobný tvar křivek.

V uvedených grafech jsou některé hodnoty nevěrohodné, což mohlo být způsobeno měřicí technikou. Doba reakce na změnu fyzikálních veličin byla delší, než měla být, protože pro jev Backdraft je charakteristický velmi rychlý průběh a s tím spojené náhlé změny fyzikálních veličin. Neodpovídá např. koncentrace 3% kyslíku (Obr. 24), při které mělo ještě probíhat plamenné hoření. Hodnoty tlaku s časem rovněž nemusí zcela korespondovat. Klimatické podmínky jako rychlost větru, vlhkost vzduchu, teplota vzduchu a další, měly určitě podstatný vliv na výměnu plynů při experimentech prováděných na volném prostranství. Ovšem trendy křivek jev Backdraft charakterizují velice dobře [16],[20],[21].

6.2 Simulace jevu Backdraft ve Švédsku

Tato simulace proběhla v prosinci 2007 v SRSA (Swedish Rescue Service Agency) College, Skövde. Organizace, která prováděla simulaci již v současné době neexistuje. Simulace byla prováděna komerčně [31].

6.2.1 Použité zařízení

Backdraft kontejner sloužil pro navození jevu. Lodní kontejner měl rozměry 2500 x 2500 x 6000 mm. V přední části kontejneru byly situovány dva otvory stejně jako u 6 m kontejneru popsaného v oddílu 4, přičemž v boční stěně byly navíc tři otvory.

Stěny byly tvořeny trapézovým plechem. Původní dřevěná podlaha kontejneru byla pokryta dlaždicemi. U stropu byla navařená železná oka, která sloužila k uchycení řetězů. V kontejneru bylo umístěno teplotní čidlo, zřejmě v polovině výšky. Bylo vedeno otvorem v boční stěně [31].

6.2.2 Postup při simulaci jevu Backdraft

Do výše zmíněného kontejneru bylo rozmístěno palivo (Obr. 27). Hranice dřevěných hranolů byla umístěna na dvou dřevěných paletách v zadní části kontejneru. Obklad stěn a stropu

tvořily typizované, 3 až 5 mm silné desky z lisovaného dřeva. Na stěnách byly 2 vrstvy desek a u stropu byly 3 až 4 vrstvy desek.



Obr. 27 - Rozmístění paliva v Backdraft kontejneru [30]

Takto vytvořená hranice byla zapálena pomocí tekutých lihových podpalovačů, které byly mimo jiné použity proto, aby se hranice rychle rozhořela. Palety umožnily přísun kyslíku i do spodní částí prostoru. Dřevěné hranoly byly použity záměrně stejně jako typizované desky pro svou schopnost tvořit při spalování pyrolýzní produkty. Průběh požáru v kontejneru je vidět na sérii snímků (Obr. 28). První ukazuje rozšiřující se požár na okolní palivo. Plameny se postupně zvětšují, nahřívají desky z lisovaného dřeva u stěn a nejvíce pak u stropu. Nahříváním hořlavého materiálu vznikají pyrolýzní produkty. Požár v prostoru se následně dostává do fáze, kdy zahřívání materiálů uvolňuje množství pyrolýzních produktů, které se nestačí odvádět ven z prostoru. Snímek č. 4 (Obr. 28) názorně ukazuje horní horkou vrstvu a pokles neutrální roviny vertikálně směrem k podlaze. Otvory nad sebou byly otevřeny a umožnily jak přísun kyslíku do místa hoření, tak odvod zplodin hoření a pyrolýzních produktů. Teplota v Backdraftovém kontejneru neustále stoupala. Produkty procesu pyrolýzy se kumulovaly v horní horké vrstvě. Jakmile umístěné teplotní čidlo zaznamenalo hodnotu teploty cca 750 °C, tak byl kontejner uzavřen. Jednalo se o maximální dosaženou teplotu, následně pak teplota začala klesat. Po uzavření kontejneru bylo slyšet syčení netěsnostmi v okolí otvorů způsobené nasáváním vzduchu do kontejneru a vytlačováním kouře. Teplota snímaná teplotním čidlem rychle klesala a při dosažení hodnoty cca 350 °C se horní otvor otevřel.



Obr. 28 - Rozvoj požáru v Backdraft kontejneru [30]

Hustotní proud čerstvého vzduchu vnikal spodní částí otvoru a horké spaliny a pyrolýzní produkty unikaly ven z prostoru horní částí otvoru. Tuto výměnu plynů doprovázelo charakteristické odvalování kouře vně kontejneru. Uvnitř na rozhraní čerstvého vzduchu a horkých plynů docházelo k promíchávání. Vytvářela se hořlavá směs, kterou nesl hustotní proud ke zdroji zapálení. Po zapálení nastala prudká turbulentní deflagrace v prostoru. Ta vytlačila nespálené pyrolýzní produkty ven z kontejneru a vznikl fireball (Obr. 29).

Daná simulace byla provedena opakovaně. Rozdíl se ukázal pouze pokud jde o razanci Backdraftu a poloměr fireballu [31].



Obr. 29 - Fireball při simulaci ve Skövde (Švédsko) [30]

6.3 Závěr z praktických simulací

Při experimentech Fleischmanna a Gojkovice byl použit jako palivo plyn. Ve Skövde se na rozdíl od toho použilo tuhé palivo v podobě desek z lisovaného dřeva, dřevěných hranolů a palet. V experimentech, kde byl použit plyn jako palivo, bylo daleko snadnější vytvořit uvnitř uzavřeného prostoru výbušnou koncentraci. Při simulaci ve Skövde bylo řešeno rozmístění paliva a množství paliva. Vlivem správného rozmístění dostatečného množství paliva (Obr. 27) a včasného uzavření Backdraft kontejneru se vytvořilo dostatečné množství pyrolýzních produktů k navození jevu Backdraft. Dostatečná teplota produktů pyrolýzy pro vznik jevu Backdraft byla zajištěna opakovaným pokusným otevřením otvoru v kontejneru při různých teplotách. V průběhu výše zmíněné konkrétní simulace (Skövde) bylo otevření větracího otvoru provedeno při teplotě vnitřního prostoru 350 °C.

Mezi významné charakteristické okolnosti, které ovlivňují vznik jevu Backdraft, lze zařadit:

- Prostor (rozměry, dispoziční řešení, použité stavební materiály);
- Palivo (druh, množství, rozmístění, vlhkost);
- Okolní atmosféra (teplota, tlak, vlhkost, množství kyslíku ve vzduchu);
- Čas uzavření prostoru (správný okamžik pro přechod požáru do IV. fáze);
- Čas otevření větracího otvoru (správný okamžik pro přísun vzdušného kyslíku).

6.4 Matematické modelování

Matematické modely, které lze využít pro modelování požáru, vycházejí ze soustav matematických rovnic, které se snaží vystihnout modelovaný fyzikální děj. Tyto modely se dělí do dvou hlavních skupin [10]:

- modely *deterministické*;
- modely *pravděpodobnostní*.

6.4.1 Modely deterministické

Modely deterministické popisují procesy související s požárem pomocí matematického vyjádření základních fyzikálních a chemických rovnic. *Základem jsou diferenciální rovnice zachování hmoty a energie*. Pokud se jedná o složité požární scénáře, využívají se i *rovnice zachování hybnosti*. Deterministické modely požáru mají široké využití, ovšem základ těchto modelů tvoří *modely zónové* a *modely typu pole*. Modely typu pole budou popsány níže. Na charakteristiku zónových modelů lze odkázat v literatuře [10].

Modely typu pole

Modely typu pole patří mezi nejpropracovanější počítačové programy k simulaci požáru v uzavřeném prostoru. V praxi jsou označovány jako **CFD** (**C**omputational **F**luid **D**ynamics) *modely*. Tyto modely využívají trojrozměrnou výpočetní oblast pokrytou sítí. Objem místnosti je tedy rozdělen na velký počet malých trojrozměrných elementů, neboli tzv. „buněk“. Rozměry těchto buněk se pohybují v rozsahu milimetrů až metrů. *Základem výpočtu jsou opět rovnice zachování hmoty, energie a rovněž i hybnosti*. Ve výpočtech se vyskytují další proměnné, např. viskozita tekutin. *Základ CFD modelů tvoří parciální diferenciální rovnice, např. Navier-Stokesovy rovnice*.

Počítač během simulace řeší např. pohyb kouře (produktů spalování v důsledku probíhající exotermické chemické reakce) a tepla v jednotlivých buňkách napříč výpočtovou oblastí. V určitém časovém okamžiku je možné vyhodnotit např. teplotu, rychlost pohybu plynů a jejich koncentraci ve 3D prostoru. CFD modely obvykle obsahují dílčí modely, tzv. „submodely“, které řeší a upřesňují dílčí charakteristiky daného fyzikálního děje. Jedná se například o dílčí modely řešící turbulenci, tepelnou radiaci nebo samotný proces hoření (spalování - chemickou

reakci). Složitost modelu typu pole vyžaduje rozsáhlé odborné znalosti uživatele, dostatečnou výkonnost výpočetní techniky [10].

Příklady modelů typu pole jsou:

- ***FDS***

Jedná se o americký program, který má své uplatnění jak při návrhu požárně bezpečnostních zařízení, tak k zjišťování šíření požáru v různých objektech. Je také skvělým nástrojem pro studium základů dynamiky požáru i samotného procesu hoření [10].

- ***FLUENT***

Programový komplex umožňující numerické řešení zaměřený především na oblast mechaniky tekutin a umožňující i řešení složitých scénářů požáru. Tento program je možné využít při komplexním řešení úloh z oblasti proudění a spalování. Používá se také pro vnitřní i vnější obtékání těles, v laminární i turbulentní oblasti, výpočty vícefázového proudění, proudění s volnou hladinou i chemickými reakcemi (např. hoření) spolu s přenosem tepla. Program umožňuje jak stacionární, tak i nestacionární analýzu ve 2D i 3D výpočetní oblasti a následnou vizualizaci výsledků [26].

- ***JASMINE***

Anglický program zaměřený na analýzu pohybu kouře v uzavřených prostorech, využívá výpočty z dynamiky proudění tekutin (CFD) k popisu přenosu tepla a plynů při požáru. Zahrnuje klíčové procesy týkající se pohybu kouře jako např. proudění, turbulenci, vztahové síly, sálání a přestup tepla do ohraničujících konstrukcí a samotné hoření. Poskytuje informace o teplotě plynů, hustotě, rychlosti proudění plynů a chemickém složení v průběhu času. Stanovuje také teplotu povrchů či množství přeneseného tepla prouděním [10],[27].

- ***SMARTFIRE***

Integrované prostředí simulace požáru tohoto anglického programu je vhodné jak pro začátečníka, tak pro pokročilého řešitele (uživatele). Je schopný v navrženém prostoru simulovat např. i turbulentní, horké a vzestupné toky plynů [10].

- ***PHOENICS***

Anglický matematický model, který je velmi univerzální. Řeší úlohy zahrnující proudění tekutin, přenos hmoty, energie a fyzikální děj spalování [10]. Další informace o tomto programu je možné nalézt v literatuře [28].

- ***PYROSIM***

PyroSim je americký modelovací systém, který umožní vytvořit průběh a následně zhodnotit modelovanou požární simulaci. Kombinuje 3D grafické modelování s modelem FDS (Fire Dynamics Simulator) z NIST (National Institute of Standards and Technology). PyroSim umožňuje např. modelování pohybu kouře, přenosu tepla, šíření plamene po povrchu. Využívá se také při vyšetřování příčin požáru [29].

6.4.2 Pravděpodobnostní modely

Pravděpodobnostní modely představují druhou skupinu. Tyto modely nevycházejí přímo z fyzikálních nebo chemických projevů charakterizujících chování požáru, ale využívají statistických pravděpodobností o možném vzniku a následném vývoji požáru [10].

Závěr

Základem pro úspěch při represivní požární činnosti, zejména při požárech v uzavřeném prostoru, je dle mého názoru znalost možných scénářů požáru v uzavřeném prostoru. Souhrn teoretických znalostí a následná kontrolovaná simulace možných jevů spojených s nelineárním rozvojem požáru je doposud nejlepším způsobem tréninku jednotek požární ochrany vedoucím ke zvýšení stupně jejich připravenosti a akceschopnosti při konfrontaci s těmito jevy. Jedním z těchto jevů je Backdraft.

Definice, která nejvíce vystihuje jev Backdraft, převzata z definic obsažených ve studiích od Quintiere a Pagni/Fleishmann a mírně pozměněna (viz oddíl 5.2):

Nedostatečná ventilace během požáru v uzavřeném prostoru může vést k tvorbě velkého množství nespálených pyrolýzních produktů. Když dojde k náhlému otevření otvoru, přítok čerstvého vzduchu vytváří hustotní proud a nespálené pyrolýzní produkty se začnou míchat. Vytvoří se hořlavá směs plynů v některé části uzavřeného prostoru. Iniciační zdroj, např. žhavý popel, může zapálit hořlavou směs. Extrémně prudké hoření plynů má za následek vytlačování pyrolýzních produktů vzniklých při procesu hoření skrz otvor a vzniká tzv. fireball vně uzavřeného prostoru [11].

K tomu, aby mohla být provedena simulace jevu Backdraft, je třeba v počátku podrobně popsat tento jev a umět odpovědět na následující otázky:

V jakém zařízení bude jev Backdraft simulován?

Odpověď na tuto otázku byla známa již při zadání této práce. Simulace bude v budoucnu provedena v šest metrů dlouhém kontejneru, který je součástí zařízení Flashover kontejneru (viz oddíl 4). Toto zařízení je v rámci HZS ČR k simulaci tohoto jevu přímo určené.

Jakým způsobem bude Backdraft simulován, aby bylo zajištěno opakované navození jevu?

Aby bylo možno tuto otázku zodpovědět, je v práci jev Backdraft podrobně popsán na základě provedené rešerše (viz oddíly 5 a 6), a to v rozsahu odpovídajícímu množství a povaze získaných podkladů a doporučenému rozsahu práce. Tento podrobný popis jevu bude možno využít k odborné teoretické přípravě příslušníků HZS ČR.

Protože doposud neexistuje žádná metodika v ČR pro systematickou a spolehlivou simulaci jevu Backdraft v podmínkách ČR, zahájil jsem hledání odpovědi na tuto otázku vypracováním co nejkomplexnější rešerše s možností navázat na tuto práci v budoucnu fyzikálním experimentem ve Flashover kontejneru.

Došel jsem k závěru, že nejvhodnější bude postupovat při simulaci jevu Backdraft ve Flashover kontejneru stejně, jako bylo postupováno při simulaci tohoto jevu ve Skövde (Švédsko). Použití pevného paliva umožňuje navodit scénář požáru v uzavřeném prostoru, který se blíží požáru v reálných podmínkách. Ovšem je nutné brát ohled na podmínky, které zásadně ovlivňují vznik Backdraftu:

- prostor (rozměry, dispoziční řešení, použité stavební materiály);
- palivo (druh, množství, rozmístění, vlhkost);
- okolní atmosféra (teplota, tlak, vlhkost, množství kyslíku ve vzduchu);
- čas uzavření prostoru (správný okamžik pro přechod požáru do IV. fáze);
- čas otevření větracího otvoru (správný okamžik pro přísun vzdušného kyslíku).

Prostor k provedení simulace bude stejný jako ve Skövde. Oba kontejnery jsou totožné [32]. Je možné také použít stejné palivo a jeho rozmístění v prostoru.

Vhodný čas uzavření prostoru a otevření horního větracího otvoru kontejneru lze podle teploty vnitřního prostoru odhadnout při vhodném umístění teplotního čidla stejně jako při simulaci ve Skövde.

Okolní atmosféru však při budoucí simulaci ovlivnit nelze, a tato může mít značný vliv na vznik jevu Backdraft. Velký vliv na fyzikální průběh děje může mít především atmosférický tlak, teplota a vlhkost, popř. nadmořská výška ve vazbě na množství kyslíku v atmosféře. V podmínkách ČR doposud neexistuje metodika navození tohoto jevu a bylo by tedy přínosné tuto metodiku vypracovat. Způsobem dosažení tohoto cíle je komplexní teoretická příprava formou rešerše a série praktických zkoušek s výsledným zhodnocením.

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit teoretický podklad pro budoucí systematickou a spolehlivě opakovatelnou simulaci (fyzikální experiment) jevu Backdraft v zařízení Flashover

kontejner a pro odbornou teoretickou přípravu příslušníků HZS ČR ohledně tohoto jevu. Dle mého názoru se podařilo zadaných cílů bakalářské práce splnit v požadovaném rozsahu.

V budoucí diplomové práci bych chtěl provést praktickou simulaci jevu Backdraft v zařízení Flashover kontejner za spolupráce HZS ČR Olomouckého kraje, ÚO Prostějov. Na základě budoucího fyzikálního experimentu bude teoreticky možné provést i matematické modelování jevu Backdraft pomocí vhodného CFD kódu. Následným porovnáním výsledků fyzikálního experimentu a matematického modelování by bylo možno získat další zajímavé informace o jevu Backdraft sloužící k hlubšímu poznání tohoto fenoménu.

Literatura

- [1] PPLK. ING. VONÁSEK, Vladimír, KPT. ING. LUKEŠ, Pavel a kolektiv. *Příloha časopisu 112 číslo 3/2008 : Statistická ročenka 2007* [online]. 2009, roč. 2008, č. 3 [cit. 2009-02-16], s. 7. Dostupný z WWW: <<http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky.aspx?q=Y2hudW09MQ%3d%3d>>.
- [2] W.BUKOWSKI, Richard. *Modeling a Backdraft : The Fire at 62 Watts Street. Paper of National Institute of Standards and Technology* [online]. 1995 [cit. 2009-02-16]. Dostupný z WWW: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire95/PDF/f95090.pdf>>.
- [3] GRIMWOOD, Paul, DESMET, Koen. *Tactical Firefighting : A COMPREHENSIVE GUIDE TO COMPARTMENT FIREFIGHTING & LIVE FIRE TRAINING. Tactical Firefighting* [online]. 2003 [cit. 2009-02-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.firetactics.com/CEMAC-KD-PG-2003-2.pdf>>.
- [4] Vyhláška č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci), ve znění pozdějších předpisů.
- [5] DOC. DR. ING. KVARČÁK, Miloš. *Základy požární ochrany*. Ing. Ondřej Zeman. 1. vyd. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. 134 s. ISBN 80-86634-76-0.
- [6] HAVLÍČEK, Kamil. *Zkouška výcvikového trenážeru na spalování tuhých paliv*. [s.l.] 2007. 58 s. VŠB-TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Hora.
- [7] P. Bitala, private communication. Přenos tepla a kouře při požárech was supplied by P. Bitala.
- [8] PROF. ING. BALOG, Karel, CSc., DR. ING. KVARČÁK, Miloš. *Dynamika požáru*. 1. vyd. Ostrava : Sdružení požárně bezpečnostního inženýrství, 1999. 118 s. ISBN 80-86111-44-X.
- [9] DOC. ING. BLAHOŽ, Vladimír, ING. KADLEC, Zdeněk. *Základy sdílení tepla*. 2. vyd. Ostrava : Sdružení požárně bezpečnostního inženýrství, 2000. 110 s. ISBN 80-902001-1-7.
- [10] PEZDOVÁ, Zdeňka. *Porovnání reálného požáru prostřednictvím matematického modelu požáru*. [s.l.], 2008. 58 s. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Fakulta bezpečnostního inženýrství. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Kučera. Dostupný z WWW: <<http://dspace.vsb.cz/dspace/bitstream/10084/69005/1/M3908.3908T006.pezo04.pdf>>.

- [11] GORBETT, E.Gregory, PROFESSOR HOPKINS, Ronald. *Presentation at the National Protection Association World Safety Conference : The Current Knowledge & Training Regarding Backdraft, Flashover, and Other Rapid Fire Progression Phenomena* [online]. 2007 [cit. 2009-02-24]. Dostupný z WWW: <http://people.eku.edu/gorbettg/index_files/backdraft%20paper.pdf>.
- [12] *Flashover kontejner Hamry* [online]. c2007-2009 [cit. 2009-03-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.flashover.cz>>.
- [13] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2009-03-03]. Dostupný z WWW: <http://www.mapy.cz/#x=138970208@y=133801856@z=16@mm=F@sa=s@st=s@ssq=hamry@sss=1@ssp=114152357_122963841_156947365_156387201>.
- [14] ING. OŠLEJŠEK, Petr. *Výuková prezentace : Požáry v uzavřených prostorech*. 2007. 93 s. HZS ČR Olomouckého kraje. Územní odbor Prostějov.
- [15] Ministerstvo vnitra - generální ředitelství HZS ČR. *Koncepce výstavby a používání trenážerů na pevná paliva simulující reálné podmínky požáru při odborné přípravě hasičů : Návrh technického řešení trenážeru při HZS Olomouckého kraje*. Praha. 2006, 24 s. Č.j. PO-72/IZS-2006.
- [16] M. FLEISCHMANN, Charles. *Backdraft Phenomena*. [s.l.], 1993. 127 s. University of California at Berkeley. Dizertační práce. Dostupný z WWW: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire94/PDF/f94008.pdf>>.
- [17] M. FLEISCHMANN, C., B. MCGRATTAN, K. *Numerical and experimental gravity currents related to backdrafts*. *Fire Safety Journal* 33 [online]. 1999 [cit. 2009-02-24]. Dostupný z WWW: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire99/PDF/f99040.pdf>>.
- [18] DR. ING. REICK, Michael. *Deutsche Feuerwehr - Zeitung BRANDSchutz : Türöffnungsprozedur mit einem mobilen Rauchverschluss*. *Deutsch Feuerwehr - Zeitung BRANDSchutz* [online]. 2006, Jahrg. 2006, N. 8 [cit. 2009-02-24], s. 531-535. Dostupný z WWW: <http://www.rauchverschluss.de/0608_Reick.pdf>.
- [19] DUNN, Vincent. *December Newsletter by Vincent Dunn : Backdraft and flashover, what is the difference?*. *December Newsletter by Vincent Dunn* [online]. [cit. 2009-02-24]. Dostupný z WWW: <<http://vincentdunn.com/dunn/newsletters/dec/dec.pdf>>.
- [20] M. FLEISCHMANN, C., J. PAGNI, P., B.WILLIAMSON, R. *Quantitative Backdraft Experiments*. *International for Fire Safety Science* [online]. 1994 [cit. 2009-02-24]. Dostupný z WWW: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire94/PDF/f94135.pdf>>.
- [21] GOJKOVIC, Daniel. *Initial Backdraft Experiments* [online]. 2000 [cit. 2009-02-24]. Report 3121. Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden.

Dostupný z WWW: <<http://130.235.7.155/publikationsdb/docs/3121.pdf>>. ISSN 1402 - 3504.

- [22] *Skövde Training ground* [online]. Räddnings Verket. [cit. 2009-03-03]. Dostupný z WWW:
<<http://www.srv.se/upload/SRSA/TRAINING/Sk%C3%B6vde/Sk%C3%B6vde%20training%20ground.pdf>>.
- [23] ING. OŠLEJŠEK, Petr. *Prezentace : Zařízení pro simulaci požáru v uzavřených prostorech*. 40 s. HZS ČR Olomouckého kraje. Územní odbor Prostějov.
- [24] OŠLEJŠEK, Petr. *Technika hašení požárů v uzavřených prostorech*. [s.l.], 2008. 51 s. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Sobek. Dostupný z WWW: <<http://dspace.vsb.cz/bitstream/10084/69198/1/B3908.3908R006.osl019.pdf>>.
- [25] ING. ZAVILA, Ondřej. *Matematické modelování turbulentního proudění, šíření tepla a polutantu v mezní vrstvě atmosféry se zaměřením na tunelové stavby*. [s.l.], 2007. 111 s. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta bezpečnostního inženýrství. Vedoucí disertační práce Doc. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
- [26] *Software ZFC : FLUENT* [online]. c2000 [cit. 2009-03-30]. Dostupný z WWW: <<http://zsc.zcu.cz/sw/fluent.html>>.
- [27] *Computer Models For Fire and Smoke* [online]. 2007 [cit. 2009-03-30]. Dostupný z WWW: <http://www.firemodelsurvey.com/pdf/JASMINE_2007.pdf>.
- [28] *Computer Models For Fire and Smoke* [online]. 2001 [cit. 2009-03-30]. Dostupný z WWW: <http://www.firemodelsurvey.com/pdf/PHOENICS_2001.pdf>.
- [29] *PyroSim* [online]. 2008 [cit. 2009-03-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.thunderheadeng.com/pyrosim/PyroSimHandout.pdf>>.

Informace získané prostřednictvím konzultací a korespondence

- [30] ING. SOBEK, Marek. *Osobní konzultace*. HZS ČR Olomouckého kraje. Územní odbor Prostějov.
- [31] ING. LOS, František. *Korespondence, videozáznamy a fotodokumentace z výcviku ve Skövde*. HZS ČR Libereckého kraje.
- [32] ING. JAHN, Ivo. *Osobní konzultace a poskytnuté materiály z výcviku ve Skövde*. HZS ČR Olomouckého kraje. Územní odbor Prostějov.
- [33] BRODECKÝ, Radek. *Informace o zásahu*. HZS ČR Olomouckého kraje.

Seznam zkratek

HZS ČR	Hasičský záchranný sbor České republiky
FBI	Fakulta bezpečnostního inženýrství
NFPA	National Fire Protection Association
NIST	National Institute of Standards and Technology
CFD	Computational Fluid Dynamics
SRSA	Swedish Rescue Service Agency
ÚO	Územní odbor
IFE	Institution of Fire Engineers

Seznam příloh

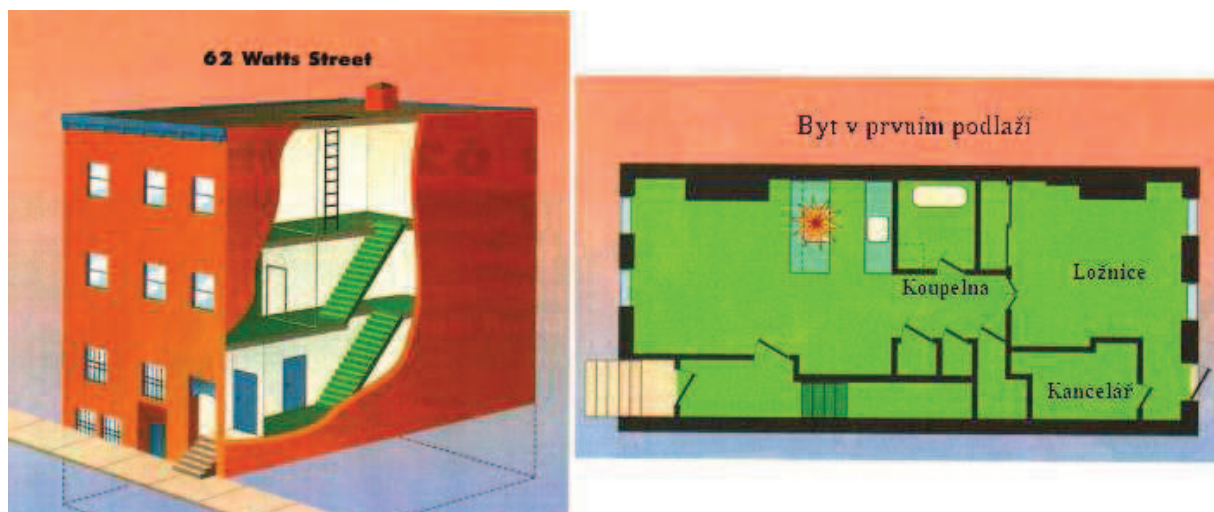
Příloha A: Vznik jevu Backdraft v zahraničí

Příloha B: Vznik jevu Backdraft v ČR

The Fire at 62 Watts Street

Zpráva popisuje požár, který propukl 28. března 1994 ve třípatrové budově na Manhattanu v New York City (Obr. 30). Stavba byla před požárem rekonstruována. Rekonstrukce spočívala v zateplení, dřevěném obložení stěn, instalaci nových oken a dveří. Na střechu vedl únikový otvor a nad schodištěm byl instalován světlík s výplní drátoskla.

Požár vznikl v kuchyni. Majitel odložil plastovou tašku na sporák, který zapomněl vypnout. Požár se rozšířil na bytovou jednotku. Přísun kyslíku byl umožněn z krbového odtahu, okna a dveře byly zavřené. Při příjezdu požárního sboru byly zpozorovány jiskry vylétající z komína krbu. Jedna skupina hasičů byla nasazena na odvětrání schodiště světlíkem a únikovým otvorem. Další dvě skupiny, každá o počtu tří hasičů, byly vyslány k bytům v prvním a druhém podlaží. Jakmile skupina v prvním podlaží otevřela dveře bytu, následně zaznamenala přívál vzduchu do bytu spodní částí dveří a v zápětí na to horní částí dveří mohutný výfuk plynů z bytové jednotky. Plamen prudce vyšlehl z bytu prostorem schodiště vzhůru, vyplnil prostor celého schodiště a zasáhl tříčlennou skupinu hasičů. Plamen v prostoru schodiště trval 6,5 minuty. Backdraft zabil tříčlennou skupinu hasičů [2].

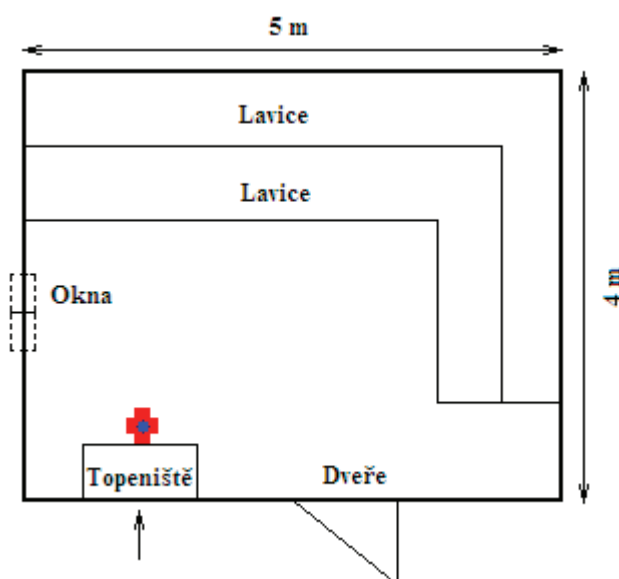


Obr. 30 - Třípatrová budova v části Manhattan (New York City) a místo vzniku požáru [2]

Požár sauny

Požár vznikl 20. 12. 2007 v ulici Jeremenkova v Olomouci. Jednalo se o prostor sauny (Obr. 31) s rozměry 5 x 4 x 2,5 m (délka x šířka x výška). Sendvičová konstrukce stěn měla složení: dřevo, izolace, dřevo. Střecha stavby byla sedlová. Stěny, strop a podlaha byly obloženy dřevem, stupňovité lavice v prostoru byly taktéž dřevěné. Topeniště bylo odděleno od prostoru skleněnou stěnou a přikládalo se zvenčí.

V topeništi byl proveden zátop a obsluha sauny odešla. V prostoru sauny nikdo nebyl. Skleněná stěna oddělující prostor topeniště od sauny byla zřejmě prasklá. Z důvodu porušení skleněné tabule došlo k prošlehnutí plamene a následnému zapálení vnitřního vybavení. Obsluha zpozorovala kouř kolem dveří a oken, otevřela dveře sauny, vyvalil se kouř a ihned je zase zavřela. Po příjezdu jednotky (1+5) HZS ČR z Olomouce byl vidět kouř unikající kolem dveří a oken, ale nebyly vidět žádné plameny. Požár pulsoval. Zásahující hasiči s dýchací technikou a s připraveným útočným proudem C opatrně otvírali dveře. Došlo k nasátí vzduchu do prostoru sauny, během krátkého okamžiku se tlaková vlna rozšířila skrze polootevřené dveře ven. Zášleh plamene ze dveří byl přibližně 4 až 5 metrů do venkovního prostoru a trval 1 až 2 sekundy. Při zásahu nebyl nikdo zraněn [33].



Obr. 31 - Schéma sauny