

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta bezpečnostního inženýrství**  
**Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva**

**Teoretické a praktické aspekty hašení v situaci  
backdraftu**

**Student:** Pavel Vitek

**Vedoucí diplomové práce:** Doc. Dr. Ing. Miloš Kvarčák

**Studijní obor:** Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

**Datum zadání diplomové práce:** 12. listopadu 2002

**Termín odevzdání diplomové práce:** 30. dubna 2003

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně.

V Ostravě, 23. dubna 2003

.....

Pavel Vitek

Děkuji vedoucímu své diplomové práce, Doc. Dr. Ing. Milošovi Kvarčákovi, za cenné rady a připomínky při jejím zpracování a všem odborníkům v oblasti požární ochrany, kteří výsledky své práce zveřejňují na internetu, za neocenitelný zdroj informací.

**Anotace:**

Vítek P., *Teoretické a praktické aspekty hašení v situaci backdraftu*, diplomová práce, VŠB – TU, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Ostrava, 2003, 72 stran

Klíčová slova: backdraft, výměna plynů, výbuch plynů, backdraftový kontejner, CFD - modelování, požární zásah, taktika zásahu

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku fenoménu backdraftu. Úvodní část je soustředěna na obecnou dynamiku požáru a na specifika, která mohou vést k backdraftové situaci. V další části je rozebrán průběh backdraftu, který byl zjištěn při pokusech s backdraftovými kontejnery. Autor dále popisuje možnosti počítačového modelování průběhu požáru a jeho využití při porovnávání různých taktik zásahu. Závěrečné kapitoly jsou věnovány praktickému využití znalostí backdraftu při hašení – detekci potenciálního backdraftu, ochraně hasičů, odvětrání a hašení.

**Annotation:**

Vítek P., *Theoretical and Practical Aspects on Fire Fighting in A Backdraft Situation*, diploma work, VŠB – TU, Faculty of Safety Engineering, Ostrava, 2003, 72 pages

Key words: Backdraft, gas exchange, gas explosion, backdraft container, CFD – modelling, fire fighting, fire tactics

This diploma work is sight on backdraft phenomena problems. The beginning part is concentrate on general fire dynamics and on specifics, that can lead to a backdraft situation. The process of the backdraft, that was ascertained at backdraft container experiments, is taken ito parts. Author then describes possibilities of the computational modelling of the fire spread and its utilization at the comparing of different fire tactics. Final chapters are dedicated to the practical exploination of the backdraft knowledge during the fire fighting – the detection of the backdraft potential, the safekeeping of firefighters, the ventilation and the fire fighting.

## **OBSAH:**

1. ÚVOD .....	3
2. DEFINICE POJMU BACKDRAFT .....	5
2.1 Exploze zplodin hoření .....	5
2.2 Flashover .....	5
2.3 Definování pojmu „backdraft“ .....	6
3. REŠERŠE LITERATURY A SOUČASNÉHO VÝZKUMU BACKDRAFTU .....	8
4. DYNAMIKA POŽÁRU .....	11
4.1 Požáry řízené povrchem .....	11
4.2 Požáry řízené ventilací .....	11
4.3 Dynamika požáru v situaci backdraftu .....	13
4.3.1 Pokusná zařízení .....	14
4.3.2 Postup experimentu .....	15
4.4 Průběh teplot při požáru s výskytem backdraftu .....	15
4.5 Koncentrace plynů během požáru s výskytem backdraftu .....	20
4.6 Tlakové poměry při backdraftu .....	22
4.7 Závěry pokusů .....	24
5. MODELOVÁNÍ PRŮBĚHU POŽÁRU .....	26
5.1 Modelování a jeho význam .....	26
5.2 Modelování slanou vodou .....	26
5.3 Počítačové modelování .....	27
5.4 Modelovací program SOFIE a jeho využití .....	29
5.5 Možnosti využití CFD programů v porovnání taktik při zdolávání požárů .....	31
5.5.1 Scénář simulace .....	31
5.5.2 Srovnávací scénář – scénář 1 .....	32
5.5.3 Možnost ohrožení lidí - scénář 2 .....	33
5.5.4 Použití přirozené ventilace – scénář 3 .....	34
5.5.5 Použití pozitivní přetlakové ventilace – scénář 4 .....	35
5.5.6 Nesprávné použití pozitivní přetlakové ventilace – scénář 5 .....	36
5.6 Závěry z počítačových simulací .....	37
6. ZÁSAH V SITUACI BACKDRAFTU .....	38
6.1 Objekty s možností vzniku backdraftu .....	38
6.2 Faktory ovlivňující zásahovou situaci .....	39

6.3 Příznaky možnosti vzniku backdraftu .....	40
6.4 Možnosti detekování backdraftové situace .....	42
7. TAKTIKA ZÁSAHU V SITUACI HROZÍCÍHO BACKDRAFTU.....	45
7.1 Prevence vzniku backdraftu .....	45
7.2 Příklady zásahů s výskytem backdraftu .....	45
7.2.1 Požár v New York City .....	46
7.2.2 Požár v Blaině .....	48
7.2.3 Požár v Ohio.....	49
7.3 Zásady požární taktiky v případě nebezpečí vzniku backdraftu .....	50
7.3.1 Defenzivní taktické postupy.....	51
7.3.2 Ofenzivní taktické postupy .....	52
7.4 Výcvik taktických postupů v situaci hrozícího backdraftu .....	61
7.5 Závěrečné shrnutí taktických postupů .....	61
8.ZÁVĚR.....	63
SEZNAM LITERATURY:.....	65
SEZNAM PŘÍLOH.....	67

## 1. ÚVOD

Hasiči a záchranáři na celém světě se při hašení požárů setkávají s celou řadou nebezpečí. V podstatě při každém požáru jim, podle toho co a kde hoří, hrozí popálení, intoxikace, opaření, fyzické a psychické vyčerpání, pád, poleptání, udušení, úraz elektrickým proudem, výbuch, zřícení konstrukcí a mnoho dalších nebezpečí.

Mimo tato častá a všeobecně známá nebezpečí mohou být hasiči a záchranáři ohroženi i jevy, které se vyskytují sice zřídka, ale zato jsou o to intenzivnější a tím nebezpečné. Obecně je možno tyto jevy označit termínem nelineární průběh rozvoje požáru. Konkrétně se jedná o tyto tři jevy:

- flashover,
- backdraft (v britské angličtině backdraught),
- explozi zplodin hoření.

Tyto fenomény bývají často vzájemně zaměňovány, protože mají některé podobné parametry – zejména rychlost průběhu, šíření plamenů a efekt, kterým působí na pozorovatele. Jde však o různé jevy, které mají různou příčinu vzniku a dochází k nim v různých fázích rozvoje požáru. Mají rozdílné příznaky, mechanismus průběhu a následky. Z toho vyplývají i různá nebezpečí pro zasahující jednotky a možnosti ochrany proti nim.

V této diplomové práci se budu zabývat jevem, který je znám již téměř jedno století pod názvem backdraft.. Mým záměrem je napsat práci, v níž bych shrnul různé aspekty, které přináší požární zásah v situaci potenciálního backdraftu. Chci řešit následující problematiku:

- teoretický rozbor průběhu požáru s ohledem na jevy podmiňující možnost vzniku backdraftu,
- dynamiku průběhu backdraftu a jeho projevy – časový průběh teplot, tlaků, koncentrací plynů a jiných charakteristik,
- možnosti modelování průběhu požáru a jeho využití v požární ochraně,
- modelování průběhu backdraftu s ohledem na modelování reálných situací, které mohou nastat u zásahu,

- rozbor situací při zásahové činnosti, jejich rizika a porovnání s modelovými situacemi,
- návrhy postupů řešení v situaci hrozícího backdraftu – tj. požární taktiky v různých situacích, jež mohou nastat u zásahu,
- možnosti přípravy hasičů na backdraftové situace.

Důvodem pro vypracování této diplomové práce je to, že lepší znalost příčin a průběhu backdraftu pomáhá hasičům vyhnout se nebezpečí, která jsou s ním spojena.

Cílem této práce je shrnout dosavadní znalosti o backdraftu se zřetelem na výše uvedené problematiku, prezentovat je domácí odborné veřejnosti, podnítit rozšíření znalostí tohoto jevu mezi hasiči a nasměrovat případný budoucí výzkum v našich podmínkách.



## 2. DEFINICE POJMU BACKDRAFT

Jak bylo uvedeno v úvodu, jsou nelineární jevy v průběhu požáru často zaměňovány. V této kapitole se je pokusím přesně definovat, popsat jejich podstatu, projevy a jiné charakteristiky a tím odlišit backdraft od ostatních jevů.

### 2.1 Exploze zplodin hoření

Exploze zplodin hoření má s backdraftem mnoho společného. Lze v podstatě říci, že backdraft je jednou z forem explozí zplodin hoření. Backdraft je mezi nimi specifický příčinou vzniku. Tato charakteristika bude rozvedena v článku 2.2.

### 2.2 Flashover

Mezi backdraftem a flashoverem je několik rozdílů, které je deklaruji jako dva naprosto odlišné a samostatné jevy a které nám pomáhají je pochopit. Podle Dunna [L4] jsou základní rozdíly čtyři.

Prvním rozdílem je četnost výskytu. Flashover je u požárů v uzavřených prostorách velmi častý jev. Backdraft sice vzniká na stejných místech, ale je poměrně zřídka se vyskytujícím fenoménem.

Druhým rozdílem jsou tlakové účinky. Flashover je nemá, ale backdraft ano. Je tudíž explozí a má odpovídající následky. Zatímco při flashoveru dojde pouze k objemovému vzplanutí v prostoru, při backdraftu dochází k roztržení skleněných výplní, povalení lidí a destrukci stavebních konstrukcí málo odolných proti tlaku.

Třetím rozeznávacím znamením je příčina vzniku jevu. K flashoveru dojde, je-li přítomna hořlavá látka a okysličovadlo a stoupne-li teplota. Backdraft nastane, pokud je přítomna hořlavá látka o dostatečné teplotě a náhle přivedeme okysličovadlo.

Poslední rozdíl je ve fázi rozvoje požáru, v němž daný jev vzniká. Pokud průběh požáru rozdělíme na tři časové úseky (rozvoj, plně rozvinutý požár a dohořívání), pak flashover nastává pouze v první fázi a znamená přechod k plně rozvinutému požáru. Backdraft nastává v případě, kdy je prostor silně zakouřen, prohřát a hoření probíhá bezplamennou formou, tedy v podmínkách typických pro třetí fázi rozvoje požáru za nedostatku okysličovadla. Dunn [L4] připouští výskyt backdraftu i v první fázi požáru, a to v případě, že je v prostoru tak málo okysličovadla, že ani nedojde k flashoveru a

následnému plamennému hoření. Pak by byl vlivem žnutí sice prostor zakouřený, ale podle mého názoru by tam byla teplota příliš nízká pro vznik backdraftu.

### 2.3 Definování pojmu „backdraft“

Vlastní pojem „backdraft“ není nový. Poprvé byl použit v roce 1914 [L11]. Autor (P.D.C. Steward – NFPA) jej definuje takto: „Tyto „exploze kouře“ často nastávají v hořících budovách a jsou běžně nazývány „back – draught“ nebo „výbuch horkého vzduchu“. Požáry v nižších částech budov často vyplní celou budovu hustým kouřem dříve, než je zpozorován při výtoku štěrbinami okolo oken. Po příjezdu hasičů jsou v budově vytvořeny (otevřeny) otvory, kterými je vpuštěn čerstvý vzduch. Směs vzduchu a hořlavých zplodin hoření se bleskurychle vznítí ve všech podlažích. Někdy to má dostatečnou sílu k vyražení všech oken, zavřených dveří místností, do kterých kouř proniknul, stropů pod podkrovím, atd).“

Pojem backdraft není stanoven definicí ISO (International Standart Organisation – Mezinárodní organizace pro standardizaci). Definují jej NFPA (National Fire Protection Asociation – Národní asociace pro požární ochranu - USA) a IFE (Institution of Fire Engineers – InSTITUTE požárních inženýrů – Velká Británie).

Definice IFE [L11]

„Backdraft je exploze většího nebo menšího rozsahu, způsobená vniknutím čerstvého vzduchu z jakéhokoliv zdroje nebo příčiny do hořící budovy, kde probíhá hoření za nedostatku vzduchu.“

Definice NFPA [L11]:

„Backdraft je exploze nebo rychlé hoření vznětlivých plynů, která nastává, když je kyslík přiveden do budovy, která není dostatečně větrána a v níž je z důvodu požáru nedostatečný obsah kyslíku.“

Po mnoho let byl „backdraft“ technickým termínem používaným výhradně v odborných kruzích. Renesance nastala po natočení filmu se stejnojmenným názvem v roce 1991. Vedlo to k tomu, že se tak často pojmenovávaly všechny rychlé a

explozivní jevy probíhající při požárech, tedy kromě skutečných backdraftů i flashover, exploze kouře a jiné jevy.

### 3. REŠERŠE LITERATURY A SOUČASNÉHO VÝZKUMU BACKDRAFTU

Při vyhledávání podkladů pro tuto diplomovou práci jsem použil dva zdroje. Jednak literaturu z knihoven a také informační zdroje z internetu. Nejprve jsem hledal materiály v bibliotéce Moravskoslezské vědecké knihovny v Ostravě – s nulovým výsledkem. V Univerzitní knihovně VŠB-TU Ostrava je situace v tomto směru díky existenci Fakulty bezpečnostního inženýrství situace lepší. V seznamu vedené literatury o backdraftu bylo dílo Drysdale D. – An Introduction to Fire Dynamics [L3] a zpráva z výzkumů University Lund. Prostřednictvím služeb meziknihovní výpůjční služby jsem získal kopii práce Fleischmann C. M. – Backdraft Phenomena [L5]. Některé informace jsem získal i z odborných časopisů (např. Fire Prevention – Fire Engineering Journal – [L24]).

Pomocí internetových vyhledávačů českých a slovenských serverů (Atlas, Centrum, Seznam) se mi podařilo získat pouze dva použitelné odkazy – Konspekty odborné přípravy jednotek PO na stránkách [www.spbi.cz](http://www.spbi.cz) a dále obecné informace o backdraftu a flashoveru určené pro laickou veřejnost na stránkách [www.rescue.sk](http://www.rescue.sk). Vzhledem těmto výsledkům předpokládám, že tato diplomová práce je prvním obsáhlejším dílem na toto téma u nás.

Podstatně lepší výsledky jsem získal při vyhledávání zahraničních webových stránek pomocí vyhledávačů Altavista, Yahoo a Google. Nejlepším zdrojem informací o nelineárních dějích při požáru se ukázal server [www.firetactics.com](http://www.firetactics.com), kde je uvedeno mnoho informací o výzkumu i o praktických zkušenostech a která obsahuje odkazy na další internetové stránky o tématu backdraftu – stránky univerzit ([www.brand.lth.se](http://www.brand.lth.se), [www.cranfield.ac.uk](http://www.cranfield.ac.uk), [www.uclan.ac.uk](http://www.uclan.ac.uk)), výzkumných ústavů ([www.inf.vtt.fi](http://www.inf.vtt.fi), [www.sp.se](http://www.sp.se)), státních institucí ([www.safety.odpm.gov](http://www.safety.odpm.gov)), hasičů (<http://vincentdunn.com>), firem a mnohé další.

Ze uvedených získaných podkladů dále uvedu a podrobněji popíšu ty nejvýznamnější a nejobsáhlejší.

#### **Charles M. Fleischmann – Backdraft Phenomena**

Při vyhledávání podkladů jsem zjistil, že nejsystematičtější (i když ne výhradně) se zkoumáním backdraftu zabývají v USA. Jako grantový projekt financovaný U.S. Department of Commerce – Technology Administration (Národním ministerstvem obchodu - oddělením technologií) byla vypracována výše zmíněná zpráva - [L5]. Ve

spolupráci s National Institut of Standards and Technology (Národním institutem pro standardizace a technologii - NIST) ji vypracoval C.M. Fleischmann z University of California, Berkley jako svou disertační práci. Evidenční číslo zprávy je NIST-GCR-94-646.

Projekt se zabýval modelováním výměny plynů při backdraftu - jednak modelováním pomocí slané vody a také pokusy s malou komorou, v níž byl uměle vytvořen backdraft. Naměřené hodnoty byly zpracovány programem FIRST (FIRE Simulation Technique). Mimo to práce obsahuje množství teoretických vztahů. Ty se týkají zejména dynamiky proudu vzduchu (gravity current), který vniká do zakouřeného a zahřátého prostoru a je příčinou vzniku backdraftu. Dílčí části zprávy a některé další práce související s backdraftem (např. [L6]) jsou k dispozici na stránce [www.bfrl.nist.gov](http://www.bfrl.nist.gov).

### **Daniel Gojkovic – Initial Backdraft Experiments**

Fleischmannova práce inspirovala další rozvoj experimentálních studií. Další navazující pokusy s podobnou komorou byly prováděny ve Švédsku (Univerzita Lund – oddělení požárně bezpečnostního inženýrství). Pokusy provedl D. Gojkovic a vyplynula z nich zpráva 3121 – Initial Backdraft Experiments [L7]. Tyto pokusy byly velkorozměrové a byly při nich měřeny průběhy fyzikálních veličin (teploty, tlaku), koncentrace plynů v komoře a spotřeba paliva.

### **Richard W. Bukowski – Modelling a Backdraft Incident**

Po tragické události v New Yorku, kdy 28.3.1994 zahynuli po backdraftu při požáru na Watts Street tři hasiči, se modelováním backdraftu při tomto konkrétním případě zabýval NIST – Building and Fire Research Laboratory (BFRL). Řešitelem projektu byl R.W. Bukowski, název je Modelling a Backdraft Incident: The 62 Watts St. (NY) Fire [L2]. V práci je podrobně popsán průběh zásahu, který vedl k vzniku backdraftu. Modelování bylo řešeno pomocí softwaru CFAST.

### **Richard Chitty – A Survey of Backdraught**

Tato publikace [L11] vznikla ve Fire Research and Development Group (Skupina pro požární výzkum a vývoj) britského Ministerstva pro dopravu, místní správu a regiony (Department for Transport, Local Government and the Regions). Práce stručně shrnuje dosavadní znalosti backdraftu od fyzikální teorie, přes příznaky, provedené experimenty po počítačové modelování.

### **Dougal Drysdale – An Introduction to Fire Dynamics**

Drysdaleova publikace je velmi často citovaným podkladem ve všech pracích, které se zabírají dynamikou požáru. V knize jsou zevrubně popsány různé fyzikální a chemické jevy, které se týkají vzniku a rozvoje požáru. Mimo jiné to jsou: chemické reakce, sdílení tepla, plameny, samovznícení, stádia požáru v uzavřených prostorech, vznik kouře a výměna plynů.

### **Paul Grimwood - [www.firetactics.com](http://www.firetactics.com)**

Tato internetová stránka se zabývá hlavně požární taktikou, jejím vývojem a nejnovějšími technickými prostředky, používanými hasiči. Je zde i velké množství článků o nelineárním rozvoji požáru a odkazů na další stránky s podobným zaměřením. Autor stránky je odborníkem na požární taktiku a propagátorem moderních taktických postupů (přetlaková ventilace, používání vodní mlhy, pulsní hašení).

## **4. DYNAMIKA POŽÁRU**

### **4.1 Požáry řízené povrchem**

Obecně lze všechny požáry rozdělit do dvou druhů. Prvním druhem jsou požáry řízené povrchem (hořlavé látky). Obecně lze říci, že jsou to požáry na otevřeném prostoru, kde je vždy dostatečná intenzita výměny plynů (požáry nádrží s hořlavými kapalinami, požáry stohů, polí, travnatých ploch, lesních porostů).

U těchto požárů je faktorem, jež limituje rozsah a intenzitu požáru, množství a rozložení hořlaviny. Teoreticky by tyto požáry bez lidského zásahu trvaly tak dlouho, dokud by neshořely veškeré hořlavé materiály v dosahu požáru. Rychlost výměny plynů je někdy taková, že vzniká tzv. požární bouře, známá po kobercových bombardováních zápalnými pumami v 2. světové válce nebo při rozsáhlých lesních požárech.

### **4.2 Požáry řízené ventilací**

Druhým druhem jsou požáry řízené ventilací. Patří k nim v podstatě všechny požáry uvnitř budov. Jedinou výjimkou jsou požáry ve velkých halách (strojovny elektráren, sklady), které svými rozměry téměř simulují venkovní požár. Ventilací řízené požáry jsou omezeny množstvím oxidačního prostředku, který je obsažen uvnitř budov a který se k místu hoření dostane infiltrováním přes stavební konstrukce, netěsnostmi, stavebními otvory, klimatizací, ventilací a pod.. Pokud je přívod vzduchu k pásmu hoření dostatečný, probíhá tzv. dokonalé hoření, při kterém vzniká jako produkt chemické reakce hlavně oxid uhličitý. Toto hoření doprovází vývoj plamenů, intenzivní výměna plynů, vysoké teploty a rychlá teplotní degradace materiálů. Při dosažení teploty asi 500° C až 600° C dojde k prostorovému vznícení hořlavé směsi zplodin hoření a produktů teplotní degradace hořlavých hmot v pásnu přípravy hoření s okysličovadlem. Během něj prudce vzroste teplota a požár se rozšíří velmi rychle do celého prostoru.

Pak nastanou dvě možnosti. Buď se vlivem požáru (tepla) naruší konstrukce oken a dveří a pak probíhá požár za dostatečného odvětrání. Ten je podobný venkovním požárům s tím rozdílem, že je nutno počítat s vlivem stavebních konstrukcí. Poměr obsahu CO<sub>2</sub> a CO bude vysoký (podle [L1] až 50).

V druhém případě žádné otvory pro odvětrání nevzniknou (nejsou nebo mají požární odolnost). Pak začne klesat obsah O<sub>2</sub> ve vzduchu a plamenné hoření začne postupně

ustávat a měnit se na bezplamenné (žhnutí). Poměr  $\text{CO}_2$  a  $\text{CO}$  bude podle [L1] nižší než 20 a v horních vrstvách prostoru se bude nalézat vrstva převážně hořlavých a výbušných zplodin hoření a produktů pyrolýzy, zahřátá nad teplotu vznícení. Pokud nebude vytvořen žádný odvětrací otvor, bude se vlivem přestupu tepla stavebními konstrukcemi teplota kouřové vrstvy snižovat ( v závislosti na vlastnostech stavebních konstrukcí – viz. vzorce V1 a V2), kouřová vrstva klesne a požár ustane. Pak dojde k postupnému ochlazení místa požáru. Pokud však bude vytvořen dostatečně velký ventilační otvor v době, kdy je teplota kouře ještě nad teplotou vznícení, může dojít k backdraftu.

Backdraft je zvláštním jevem při požárech budov a nastává v případech, kdy je vzduch s normálním obsahem kyslíku přiveden náhle do prostoru, kde plamenné hoření ustalo vlivem nedostatku kyslíku (nedokonalé hoření). V takovém prostoru se nachází zplodiny hoření (plyny a pevné částice) a produkty procesů pyrolýzy (depolymerace, dehydratace, dehydrogenace aj.). Tyto zplodiny jsou často hořlavé a výbušné (oxid uhelnatý, uhlovodíky). Tato heterogenní směs je zahřátá nad teplotu vznícení a jejímu hoření brání jen nedostatek kyslíku.



**Obr. 1 - Vizuální projev backdraftu – ohnivá koule [L4]**



Po vytvoření dostatečně velkého otvoru pro přívod vzduchu (vypadnutí okenní výplně, rozbití oken, vyražení nebo otevření dveří zasahujícími hasiči, narušení podhledů) dojde vlivem přetlaku v místnosti k vytlačení plynů v horní části otvoru. Tyto plyny se okamžitě smísí se vzduchem a dojde k jejich vznícení ve formě efektní ohnivé koule (viz obr.1). Zároveň dojde k průniku vzduchu dolní částí otvoru do místnosti, jeho smíšení s hořlavými plyny, prudkému vznícení, zvýšení teploty a tím i tlaku. Potom jsou z místnosti vytlačovány další hořlavé plyny a může dojít i k déletrvajícimu hoření mimo původní místnost. K takovému jevu došlo např. při požáru v New Yorku, který popisuje Bukowski v [L2]. Vzhledem k rychlosti termooxidační reakce může mít backdraft i větší nebo menší tlakové účinky (může dojít k deflagraci). Možné účinky tlakové vlny podle Dunna [L4] jsou uvedeny v tabulce 1.

<b>Efekt exploze</b>	<b>Destrukční tlak v Pa (zaokr.)</b>
Roztříštění skla	0 – 35 000
Sražení člověka k zemi	6 900
Zřícení dřevěné přepážky	6 900 – 13 800
Zřícení zdi z plynosilikátů	13 800 – 20 700
Zřícení cihlové zdi	48 000 – 55 000
Poškození plic	100 000
Hranice smrti	240 000
50 % riziko smrti	350 000
99 % riziko smrti	450 000

**Tabulka 1 – Účinky exploze v závislosti na výbuchovém tlaku**

### **4.3 Dynamika požáru v situaci backdraftu**

V této kapitole bude podrobně rozebrána dynamika backdraftu. Teoretické předpoklady a vztahy jsou převzaty od Drysdalea [L3]. Praktické experimenty, které byly zaměřeny na dynamiku backdraftu byly popsány ve zprávách o pokusech Fleischmanna [L5] a Gojkovice [L7].

### 4.3.1 Pokusná zařízení

Zkušebními zařízeními byly tzv. backdraftové kontejnery. V případě Fleischmanna [L5] to byl malý kontejner o rozměrech 1,2 m x 1,2 m x 2,4 m. Gojkovic [L7] použil standardní lodní kontejner s rozměry 2,2 m x 2,2 m x 5,5 m (viz. obr. 2). Kontejnery byly tepelně izolovány, utěsněny a uzpůsobeny pro simulaci backdraftu a měření jeho projevů. V kontejnerech byly instalovány plynové hořáky pro vyhřátí prostoru a dodávku hořlavého plynu potřebného pro vznik backdraftu. Jako palivo byl použit propan nebo zemní plyn. Ve stěnách byla instalována okna pro vizuální pozorování a záznam vizuálních projevů a otevíratelné otvory pro simulaci situací vedoucích k vzniku backdraftu – otevírání dveří nebo oken.

K měření fyzikálních hodnot byly použity následující přístroje a zařízení:

- termočláňkové pásy (T1, T2) pro měření teplot v různých úrovních výšky,
- analyzátory koncentrací plynů (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, uhlovodíky),
- tlakoměry pro měření statického a dynamického tlaku,
- přístroj pro měření dodaného množství plynu.



Obr. 2 – Backdraftový kontejner - tlakový panel v uzavřené poloze [L7]

### 4.3.2 Postup experimentu

Úkolem pokusů bylo simulovat reálný průběh backdraftu za použití zemního plynu nebo propanu. Při skutečných požárech jsou hořlavinou obvykle produkty pyrolýzy pevných hořlavých látek a zplodiny hoření. S nimi má zemní plyn i propan společné některé fyzikální vlastnosti. Je také lehčí než vzduch a je v rozmezí určitých koncentrací hořlavý. Hlavním důvodem užití plynného paliva je to, že je mnohem snazší kontrolovat množství hořlavých plynů v kontejneru. Ovládat množství plynných produktů pyrolýzních procesů by bylo mnohem obtížnější.

Podle [L7] probíhaly všechny experimenty následujícím způsobem. Pokus začal uzavřením otvoru a přetlakového panelu. V této fázi pokusu je kontejner poměrně těsný. Otevře se malý ventilační otvor a připraví zdroj jisker v hořáku. Do hořáku je přiveden zemní plyn a je iniciován. Z hořáku šlehají asi dvoumetrové plameny. Uvolněné teplo dosahuje hodnoty asi 600 kW. Po stabilizaci plamenů je ventilační otvor uzavřen poklopem. Otevření bylo nutné z důvodu odvětrání přetlaku, který vznikne při zažehnutí plamenů v hořáku. Po přibližně jedné minutě plameny z důvodu spotřebování kyslíku v kontejneru uhasínají.

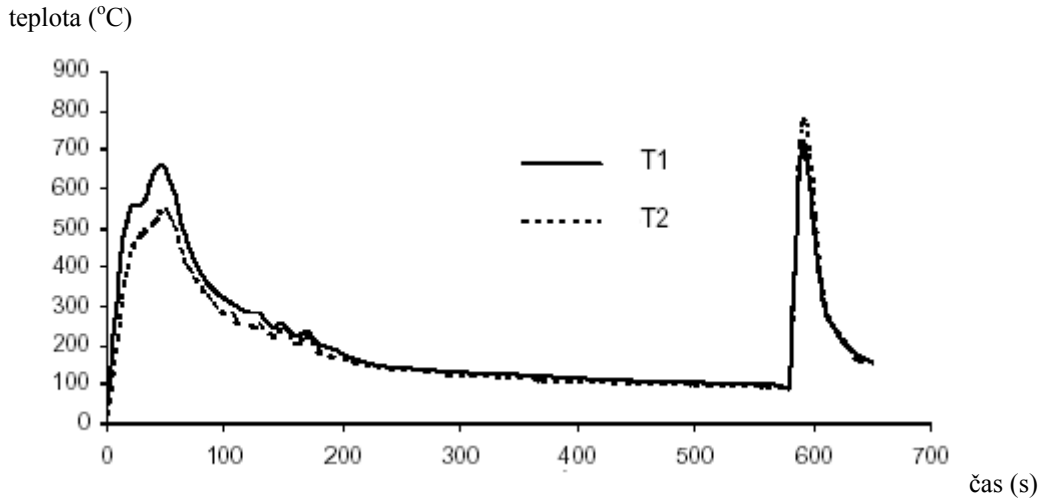
I po uhasnutí plamenů je hořákem do kontejneru dodáván další zemní plyn. To má simulovat stav, kdy je při požáru v místnosti díky pyrolýze vytvořena vysoká koncentrace hořlavých plynů. Když je dosažena požadovaná koncentrace hořlavých plynů, je dodávka zemního plynu zastavena.

Poklop, který zavíral otvor, je otevřen a čerstvý vzduch jím proudí do kontejneru. Je zapnut odporový drát – iniciační zdroj. Vzduch se mísí se zemním plynem a vytváří hořlavý soubor. Když se oblast hořlavého souboru dostane do kontaktu s iniciačním zdrojem, je hořlavý soubor iniciován. Teplota prudce stoupne a způsobí objemovou expanzi. Dosud neshořelé plyny jsou vytlačeny z kontejneru. Plameny se šíří kontejnerem a nakonec jsou se plyny mimo kontejner vznítí a hoří ve formě ohnivě koule (viz příloha 1).

### 4.4 Průběh teplot při požáru s výskytem backdraftu

Při reálném požáru bude průběh teploty poněkud jiný, než zobrazuje graf 1 [L7]. Zatímco při pokusech je hořlavina v plynném stavu (homogenní hoření) a v

dostatečném množství k dispozici ihned, ve skutečnosti je proces iniciace delší a průběh křivky nebude zpočátku tak prudký.



**Graf 1 – Průběh teplot u termočlánků umístěných 20 cm pod stropem [L7]**

Iniciační zdroj musí působit po delší dobu, protože hořlavé látky v pevném skupenství (heterogenní hoření je typické pro většinu požárů s možným výskytem backdraftu) začínají hořet až při vývinu dostatečného množství produktů tepelného rozkladu. Dalšími faktory, které iniciaci ovlivňují, jsou okolní teplota, schopnost akumulace tepla hořlavou látkou a koncentrace kyslíku.

Po iniciaci se teplo vzniklé termooxidační reakcí sdílí do okolí třemi způsoby - vedením, prouděním a sáláním (viz vzorce V1 až V3).

$$V1: \quad q_{ved} = -\lambda \cdot grad t \quad (W \cdot m^{-2}), \text{ kde}$$

$q_{ved}$  je hustota tepelného toku sdíleného vedením (kondukcí),  
 $\lambda$  je součinitel tepelné vodivosti materiálu ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ) a  
 $- grad t$  je záporný teplotní gradient.

$$V2: \quad q_{proud} = \alpha \cdot grad t \quad (W \cdot m^{-2}), \text{ kde}$$

$q_{proud}$  je hustota tepelného toku sdíleného prouděním (konvekci),  
 $\alpha$  je součinitel přestupu tepla a ( $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ) a

- grad  $t$  je záporný teplotní gradient.

$$V3: \quad E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}), \text{ kde}$$

$E$  je intenzita vyzařování,

$\varepsilon$  je experimentálně určený emisní součinitel,

$\sigma$  je Stefan-Boltzmannova konstanta,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4})$  a

$T$  je absolutní teplota povrchu tělesa (K).

Tím dochází k nahřívání okolních hořlavých látek a stavebních konstrukcí. V nahříváných hořlavých látkách dochází ke stále rychlejšímu tepelnému rozkladu, požár se šíří a v prostoru stoupá teplota. Dochází k vývinu kouře, který v sobě akumuluje většinu vzniklého tepla..



**Obr. 3 – Byt po požáru se stopami pyrolýzy v horní části místnosti a na horních plochách nábytku (foto převzato z [www.pozary.cz](http://www.pozary.cz))**

Kouř a nespálené produkty tepelného rozkladu vytvářejí pod ohraničujícími stavebními konstrukcemi horkou vrstvu, která působí zejména sálavým teplem (podle vzorce V3) na předměty v okolí a jejíž teplo je odváděno (podle vzorců V1 a V2) stavebními konstrukcemi (viz. obr. 3). Doba této fáze rozvoje požáru je odhadována na cca 10 minut

V okamžiku, kdy směs zplodin hoření, produktů pyrolýzy a vzduchu dosáhne teploty vznícení (podle [L1] je to 500° C až 600° C), dojde k jejímu náhlému objemovému vznícení. Toto vznícení je známo pod pojmem flashover a dochází při něm k velmi rychlému rozšíření plamenů do celého prostoru, ke značnému nárůstu teploty nad 700 °C a tedy k okamžitému přechodu do fáze plně rozvinutého požáru. V této fázi může podle pravděpodobných scénářů shořet až 80 % přítomných hořlavých hmot. Množství uvolněného tepla je podle [L3] možné vypočítat vzorcem V4 (pro požáry ovládané palivem) nebo podle vztahu V5 (pro požáry ovládané ventilací).

$$V4: \quad Q = m_{hořl} \cdot \Delta H_c \quad (W), \text{ kde}$$

$Q$  je teplo uvolněné hořením,

$m_{hořl}$  je hmotnost hořlavé látky (kg) a

$H_c$  je výhřevnost dané látky ( $J \cdot kg^{-1}$ ).

$$V5: \quad Q = \frac{m_{vzd} \cdot \Delta H_c}{r} \quad (W), \text{ kde}$$

$m_{vzd}$  je hmotnost vzduchu, který se účastní reakce (kg),

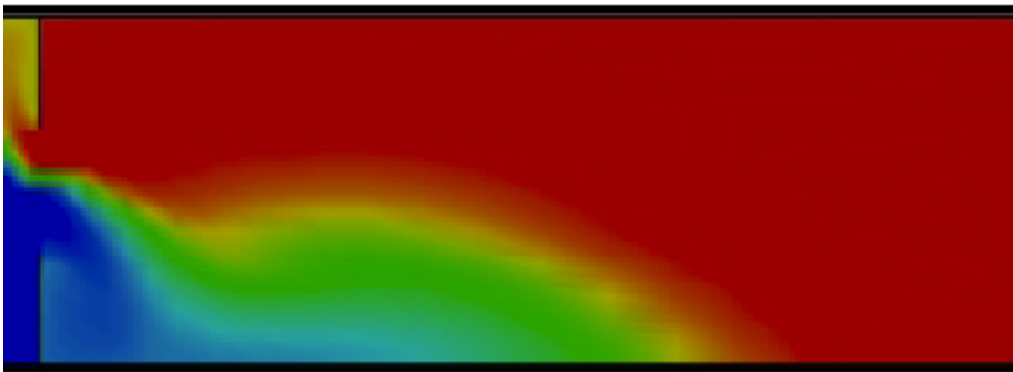
$\Delta H_c$  je výhřevnost látky ( $J \cdot kg^{-1}$ ) a

$r$  je stochiometrický koeficient.

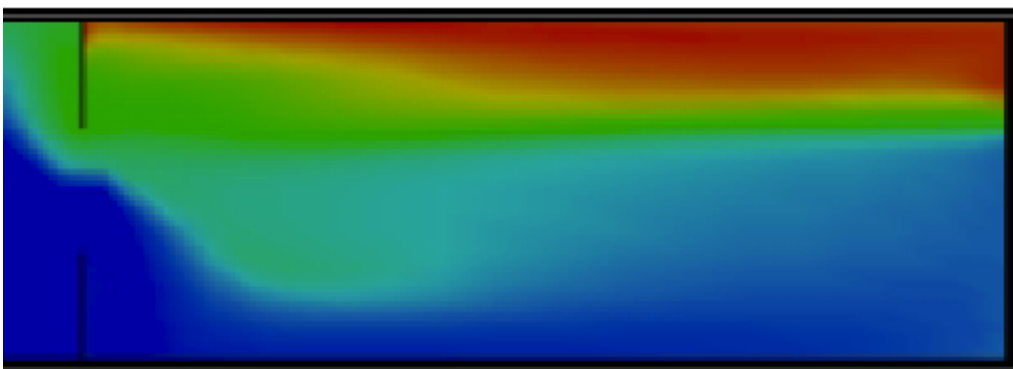
Pokud nedojde k vytvoření dostatečných ventilačních otvorů pro přísun vzduchu, začne se snižovat procentuální obsah kyslíku až pod mez, při níž ustává plamenné hoření (podle [L1] je to za nepřístupu kyslíku méně než 5 % obj.  $O_2$ ). Při pokusu podle [L7] došlo k uhasnutí plamenů po 1 minutě. Při požáru pak plamenné hoření přechází na bezplamenné – žhnutí, tlení. Teplota začíná pomalu klesat, ale tepelný rozklad nadále

pokračuje a ve vzduchu je stále dostatečné množství hořlavé směsi zahřáté na několik set stupňů. Při pokusech byl tento proces nahrazen stálou dodávkou studeného hořlavého plynu (o teplotě  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), který způsobil prudší pokles teploty (viz graf 1), než by tomu bylo ve skutečnosti. Po ukončení dodávky plynu se rychlost poklesu teploty snižuje a mezi pátou a desátou minutou pokusu je teplota téměř konstantní. Pokles je způsoben sdílením tepla netěsnostmi a přes stavební konstrukce. Vzhledem k současným trendům ve stavebnictví – minimalizace úniků tepla a používání stavebních hmot s dobrými izolačními vlastnostmi bude ochlazování a tím i pokles kouřové vrstvy postupovat pomalu.

Pokud bude v této fázi rozvoje požáru vytvořen dostatečný otvor pro vniknutí čerstvého vzduchu (při pokusu v 10. minutě), může dojít k backdraftu. Při něm se vniknuvší vzduch směšuje se zahřátými produkty hoření a pyrolýzy a dochází k jejich vzplanutí. Toto vzplanutí je sice velmi rychlé, není však objemové jako u flashoveru, protože neprobíhá v celém objemu, ale pouze ve směsné zóně (viz obr. 4 a 5 z [L7]).



**Obr. 4 – CFD simulace vytvoření směsné zóny 2 sekundy po otevření poklopu. Čerstvý vzduch (modrá) vniká poklopem a směšuje se (zelená) s horkými hořlavými plyny (červená)**

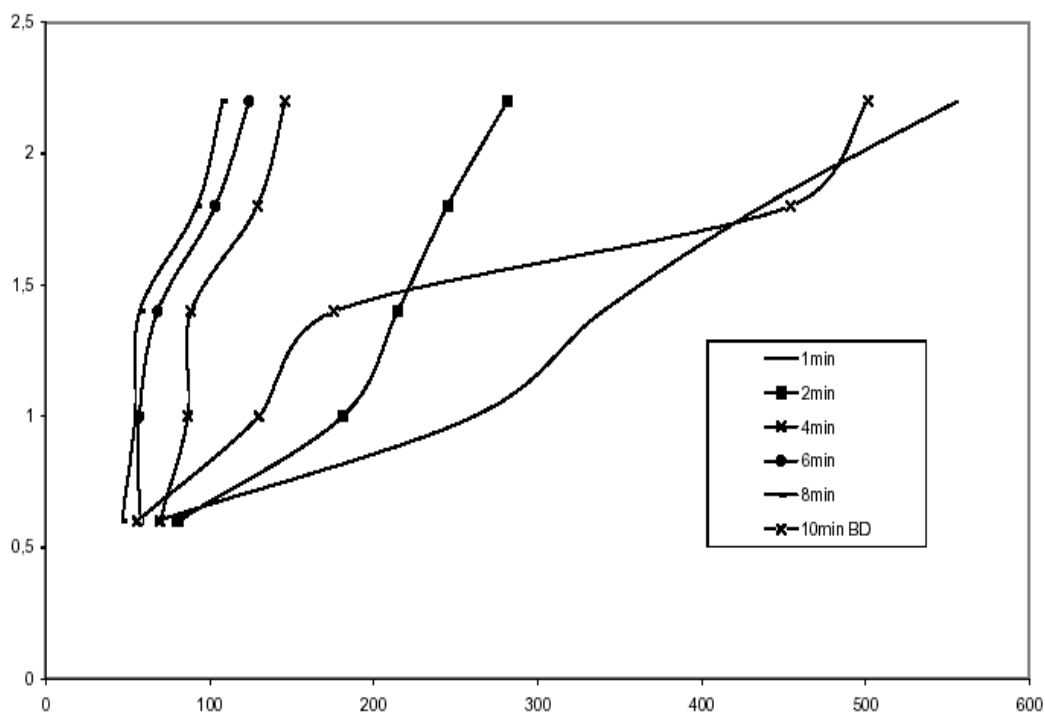


**Obr. 5 – CFD simulace vytvoření směsné zóny 10 sekund po iniciaci. Barevné rozlišení je totožné jako u obrázku 4**

Dojde k prudkému nárůstu teploty (v grafu 1 ze 100° C na 800° C, což ovšem může být chyba způsobená rychlostí reakce, kterou termočlánky nezachytí) a tím i objemu vzniklých zplodin hoření, které pod tlakem ženou nespálené plyny otvorem ven, kde dochází k jejich dalšímu promísení se vzduchem a hoření, jak je vidět v levé části obrázků 4 a 5.

Graf 2 je příkladem rozvrstvení teplot v kontejneru při vydařeném pokusu (podařilo se dosáhnout backdraftu). Je to zřejmé z toho, že teplota, která stále klesala, se najednou v 10. minutě (tedy v okamžiku backdraftu) v horní části kontejneru prudce zvedá. Je také vidět, že teplota v horní části kontejneru je vyšší než v dolní části a také se více mění.

výška (m)



teplota (°C)

**Graf 2 – Rozvrstvení teplot u termočlánku T1 – převzato z [L7]**

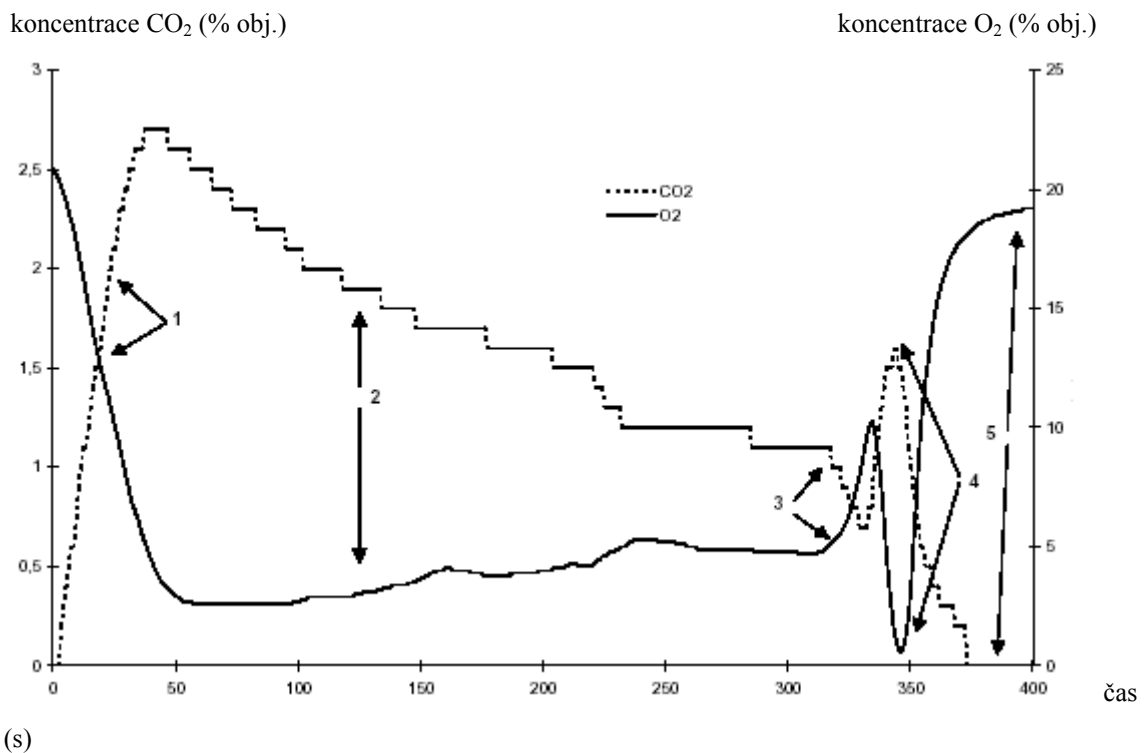
#### 4.5 Koncentrace plynů během požáru s výskytem backdraftu

Charakteristický průběh koncentrací zplodin hoření, reprezentovaných oxidem uhličitým a oksylichovadla (vzdušného kyslíku) je znázorněn na grafu 3, který je převzat



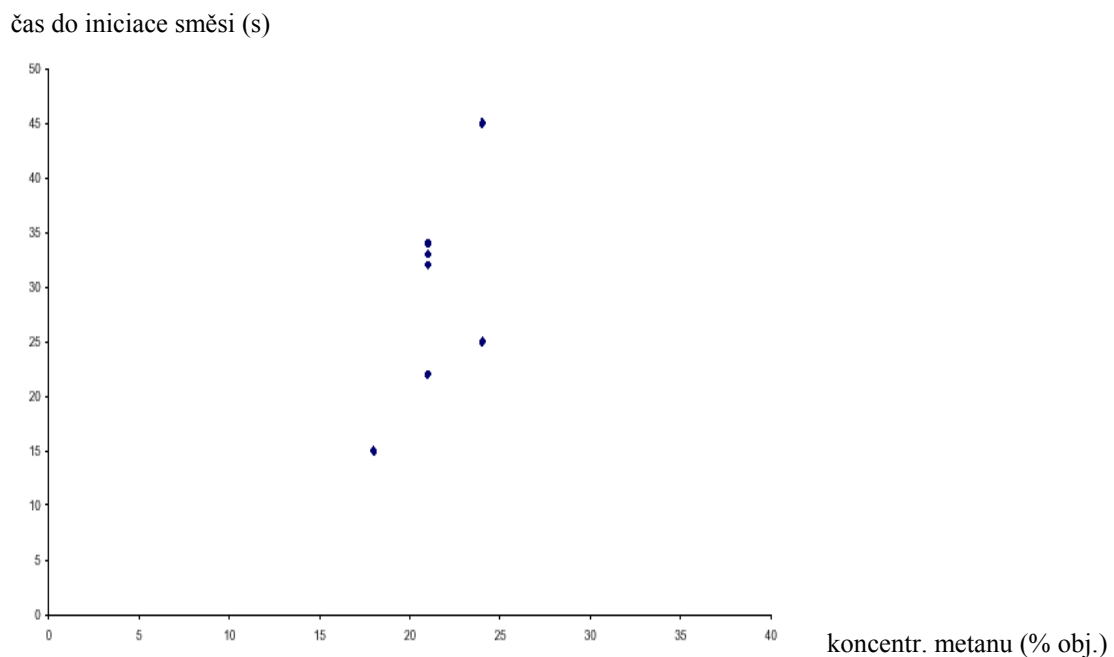
z [L7]. Na průběhu obou křivek je vyznačeno pět úseků, které reprezentují děje při požáru. Koncentrace byly zjišťovány přístrojem Dräger Multiwarn II.

- úsek 1: Probíhá hoření (v případě pokusu zemního plynu). Kyslíku ubývá a oxidu uhličitého (jako produktu reakce) přibývá. Po uhasnutí plamenů (asi po 60 sekundách) již kyslíku přestalo ubývat a oxidu uhličitého nemůže přibývat.
- úsek 2: Během druhé fáze přibývá metanu (při skutečném požáru produktů tepelného rozkladu) a obsah oxidu uhličitého klesá z důvodu zředění. Procentuální obsah kyslíku roste v důsledku pronikání čerstvého vzduchu netěsnostmi do kontejneru.
- úsek 3: Po 310 sekundách je poklop otevřen a kyslíku rychle přibývá, protože do kontejneru proudí čerstvý vzduch z okolí. Obsah oxidu uhličitého se ředěním dále snižuje.
- úsek 4: Nastal backdraft. Následkem rychlého až explozivního hoření je prudké zvýšení koncentrace oxidu uhličitého a úbytek kyslíku, který byl při hoření spotřebován.
- úsek 5: Backdraft proběhl a hoření ustalo. Koncentrace se vrací k hodnotám, jaké jsou v okolí kontejneru.



**Graf 3 – Průběh koncentrací kyslíku a oxidu uhličitého během vydařeného pokusu podle [L7]**

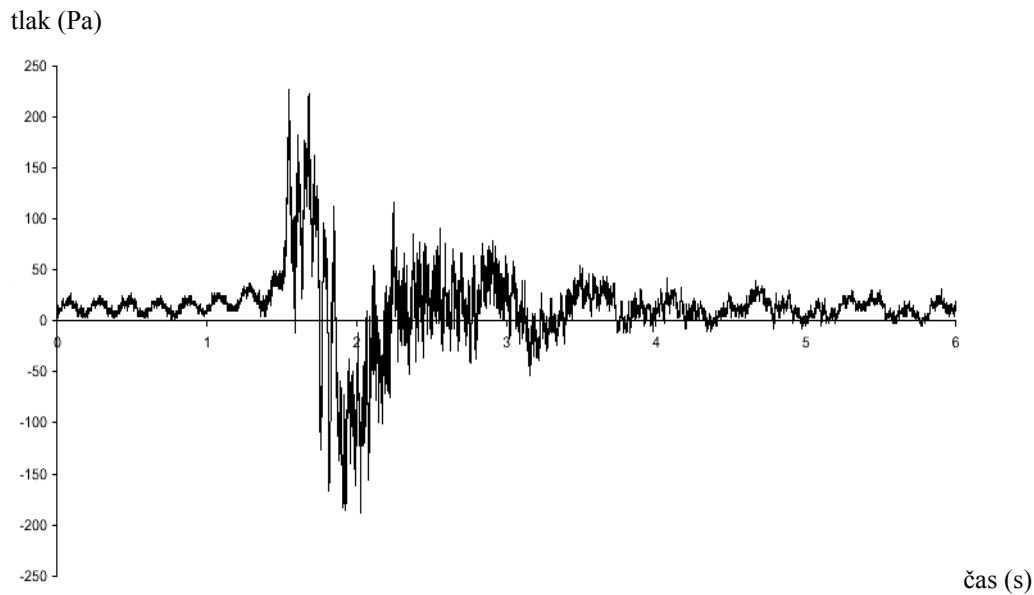
Koncentrace hořlavého plynu byly zjišťovány stejným přístrojem a dále pak sledováním tlakoměru na zásobníku plynu a jeho vážením. Výsledky zjištěné různými metodami se podle [L7] liší až o 20 %. Měření podle úbytku hmotnosti plynu v zásobníku je silně závislé na povětrnostních podmínkách, zejména na síle větru a analyzátor plynu ukazoval po 6 minutách koncentraci metanu 100 %, což není možné. Přesto z pokusů vyplynul jasný závěr. Časový interval, který uběhne mezi vytvořením ventilačního otvoru a počátkem backdraftu je přímo úměrný koncentraci směsi zplodin hoření a produktů pyrolýzy. Při vyšší koncentraci je nutná delší doba pro promíchání směsi se vzduchem a tím k dosažení koncentrace mezi horní a dolní mezí výbušnosti (viz graf 4).



**Graf 4 – Závislost času iniciace na koncentraci hořlavých plynů – měřeno podle změny tlaku v zásobníku – viz. [L7]**

#### 4.6 Tlakové poměry při backdraftu

Při pokusech byl měřen jak statický tlak uvnitř kontejneru tak dynamický tlak ve vytvořeném ventilačním otvoru. Měření statického tlaku po iniciaci nebyla podle [L7] příliš úspěšná. Z výsledných průběhu tlaku vyplývají tyto závěry (viz graf 5):



**Graf 5 – Průběh statického tlaku po iniciaci – podle [L7]**

- v intervalu 0 až 1,5 s tlak pravidelně osciluje mezi hodnotami 0 až 25 Pa,
- v intervalu 1,5 až 1,75 s se tlak prudce mění a dosahuje hodnot 0 až 225 Pa,
- v intervalu 1,75 až 2,25 s se tlak rovněž rychle mění v hodnotách - 200 Pa až 50 Pa,
- v intervalu 2,25 až 3,5 s se průběh statického tlaku prudce pohybuje mezi - 50 a 100 Pa.
- v čase po 3,5 s dochází k postupnému přechodu na průběh podobný prvnímu časovému intervalu

Průběh dynamického tlaku ve vytvořeném otvoru byl měřen třemi dvoucestnými pitotovými trubicemi (20, 40 a 60 cm nad spodní hranou otvoru), takže mimo tlaku je možno zjistit i směr proudění plynů. Výsledky zjištěné při pokusech jsou znázorněny na grafu 6 a ukazují různé fáze průběhu dynamického tlaku při backdraftu:

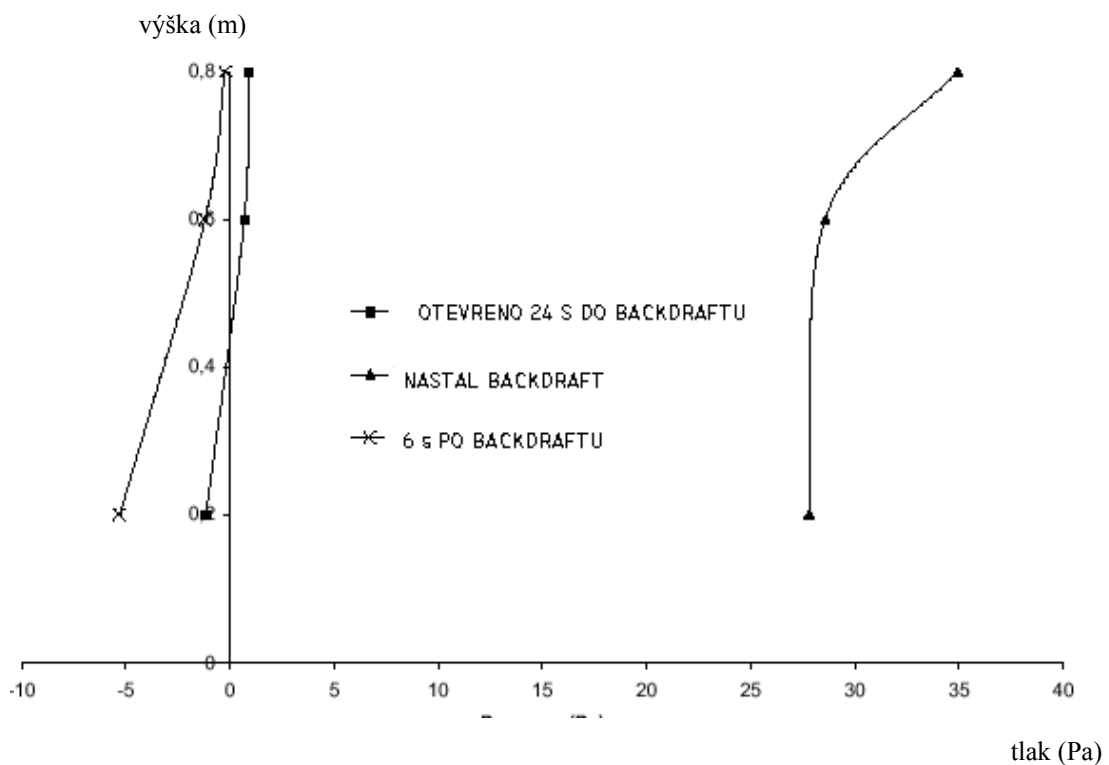
- 1. První stádium je mezi otevřením otvoru a počátkem iniciace. Čerstvý vzduch vniká v dolní části otvoru dovnitř a zplodiny hoření horní částí ven. To je znázorněno podtlakem do výšky 45 cm nad hranou a přetlakem od této roviny výše. To přibližně odpovídá zákonitostem výměny plynů jedním otvorem, kdy podle [L1] platí vťah V6.

V6: 
$$h_1 = h_2 = 0,5.H \quad (\text{m}), \text{ kde}$$

$h_1$  je výška otvoru, kterou proudí vzduch dovnitř (m),

$h_2$  je výška otvoru, kterou proudí spaliny ven (m) a  
 $H$  je celková výška otvoru (m).

- 2. Druhým stádiem je vlastní backdraft. Plyny jsou vytlačovány ven celou plochou otvoru (přetlak po celé výšce otvoru).
- 3. Ve třetím stádiu se tlaky po backdraftu vyrovnávají a vzduch proudí celou plochou otvoru dovnitř. Po celé výšce otvoru je naměřen podtlak, ale ne tak velký jako přetlak při backdraftu.



**Graf 6 – Průběh tlaků v otvoru během 3 stádií backdraftu – podle [L7]**

#### 4.7 Závěry pokusů

Pokusy, jejichž průběhy a výsledky jsou uvedeny v [L5] a [L7] potvrzují teoretické předpoklady. Jejich dalším využitím je zapracování naměřených hodnot do výpočtů a modelování dynamiky tekutin (viz. kapitola 5). Také slouží jako vhodný doplněk k výcviku hasičů. Pro teoretickou část přípravy se používají videozáznamy pokusů, ale zařízení je možno použít je i pro praktický výcvik. Např. ve Švédsku, Velké Británii a USA hasiči používají backdraftové a flashoverové kontejnery nejen ke sledování jevů,

se kterými se mohou při zásazích setkat, ale i k demonstraci různých technik vlastní ochrany a likvidace požárů (viz. obrázek 6).



**Obr. 6 – Výcvik hasičů na backdraftovém kontejneru (Staffordshire County – Velká Británie) – fotografie z [www.firetactics.com](http://www.firetactics.com)**

## 5. MODELOVÁNÍ PRŮBĚHU POŽÁRU

### 5.1 Modelování a jeho význam

Modelování je znázorňování a kvantifikace reálných situací na modelech (ve vhodném měřítku) nebo pomocí počítačových programů. V dnešní době se modelový software často využívá pro konstrukci a designérství motorových vozidel, letadel, trupů lodí, pro umístění a konstrukci staveb, potrubních systémů, pro zjištění efektivity provozu sklářských pecí, pecí ve vápenkách, plynových turbín apod.

Modelování průběhu požáru je fyzikální nebo numerické modelování jevů vznikajících při požáru. V praxi se jedná zejména o modelování sdílení tepla, pohybu zplodin hoření a čerstvého vzduchu a koncentrací plynů. K fyzikálnímu modelování patří např. modelování pomocí slané vody. Numerické počítačové programy modelující průběh požáru jsou dvou- nebo třírozměrné simulační programy.

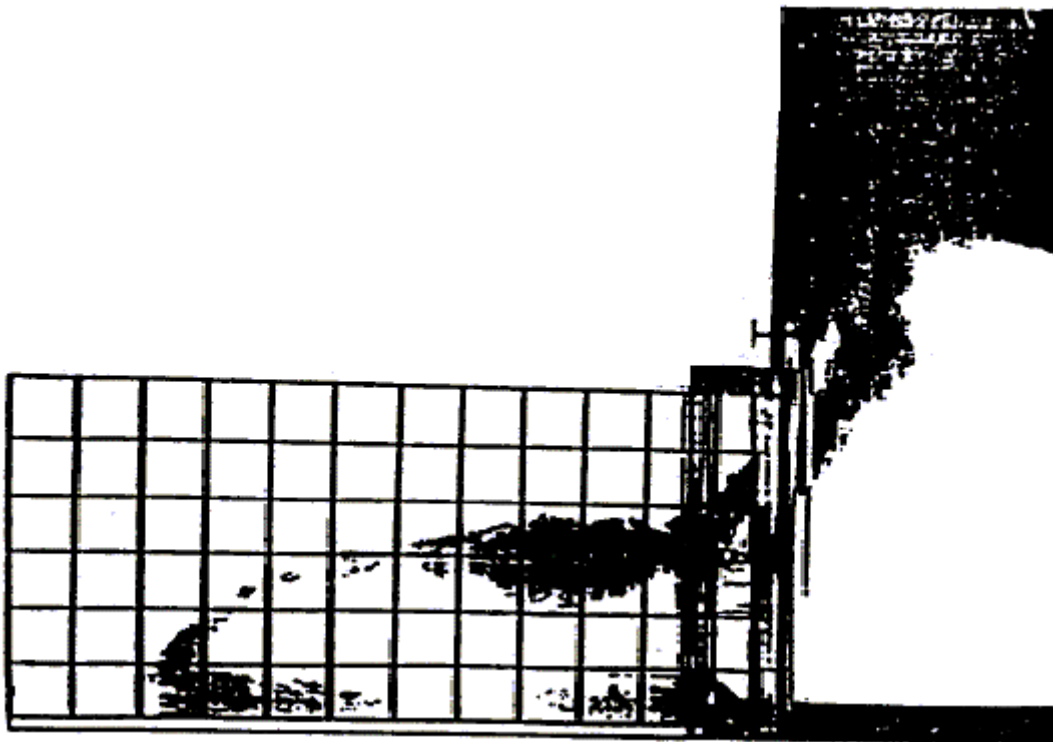
Počítačové modelování se používá hlavně proto, že může nahradit reálné modely (např. backdraftové kontejnery), které jsou velké a nákladné. Jejich další výhodou je jejich variabilita. Je v nich možné nasimulovat různé situace (velikost místnosti, pokoje v bytě, různé druhy, velikosti a umístění otvorů, pořadí jejich otevírání, rychlost otevírání), což umožňuje mj. předpovědět rozvoj požáru, šíření zplodin hoření, koncentrace plynů a tím i situace a nebezpečí, která vyplynou z různých taktických postupů hašení požárů a jiných činnostech hasičů ve skutečných budovách.

### 5.2 Modelování slanou vodou

Modelování slanou vodou (Salt Water Modelling) použil při svých pokusech např. Fleischmann [L7]. V jeho případě se jednalo o zmenšený model jeho backdraftového kontejneru v poměru 1:8, který byl umístěn ve skleněné nádrži. Model kontejneru byl vyroben z akrylátu o tloušťce 6 mm. Vnitřní rozměry modelu byly 0,15 m x 0,15 m x 0,3 m. V modelu byly stejné otvory jako v kontejneru. Uvnitř modelu byla běžná voda (pH 6,8, teplota 18° C, hustota 1 000 kg.m<sup>-3</sup>) s příměsí modrého přírodního barviva a fenolftaleinu. V nádrži byla voda s příměsí hydroxidu sodného (pH 11,7 a hustota v rozmezí 1,003 až 1,101 kg.m<sup>-3</sup>). Rozdíl v hustotách kapalin měl simulovat rozdíl v hustotách zplodin hoření a čerstvého vzduchu. Obarvení mělo znázornit směšování tekutin. Podobně se dají simulovat i jiné fyzikální jevy jako laviny, toky lávy, prudění větru okolo různých stavebních konstrukcí apod.

Po potopení modelu do vodní nádrže a odkrytí zástěn, které mají zabránit vlivu netěsností, se otevře příslušný otvor. Proud neobarvené slané vody znázorňující proud čerstvého vzduchu vnikne do modelu a obarvená voda (jako zplodiny hoření) uniká horní částí vytvořeného otvoru do nádrže (obr. 7). Proces byl nahráván kamerou rychlostí 30 snímků za sekundu. Pro třírozměrné zachycení proudění bylo nad model instalováno zrcadlo pod úhlem 45°.

Modelování slanou vodou je vhodné pro měření vlivu směšování, disipace energie, geometrie otvorů, gravitace a jiných veličin. Výsledky a závěry z modelování slanou vodou a slouží např. pro programování počítačových modelů (viz. porovnání obr. 7 a 8)



Obr. 7 - Modelování slanou vodou [L6]

### 5.3 Počítačové modelování

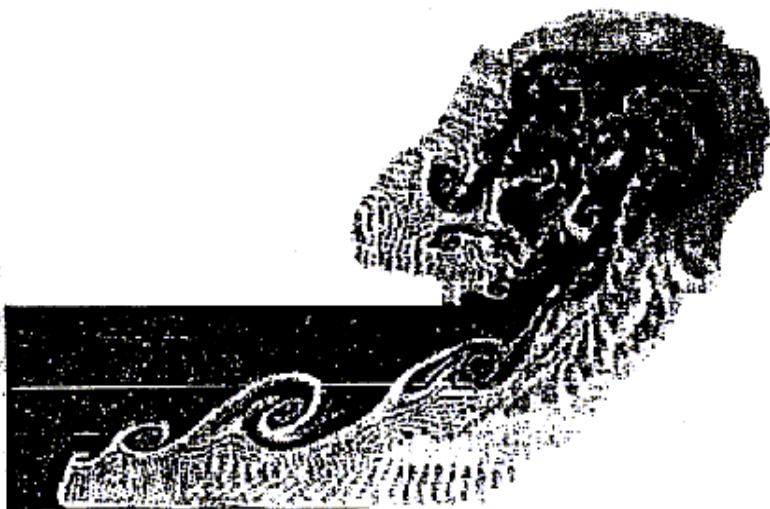
Při počítačovém modelování požárů v budovách se používají dva základní typy modelů – modely zón a modely polí.

Modelování zón poskytuje znázornění horkých vrstev, chladných vrstev, vyřešení zákonů zachování hmoty, zachování energie a zákonů chemických reakcí pro každou zónu. Při použití empirických vztahů lze popsat i přísun vzduchu do prostoru hoření. Toto modelování je dvourozměrné. Výhodou modelování zón je jeho snadné používání,

poměrně rychlý výpočet a relativně nízká finanční nákladnost. Nevýhodou je to, že výpočet je ovlivňován nedosažitelností empirických vztahů, např. u nepravidelných půdorysů nebo u požárů, kde jsou prostory s omezenou výměnou plynů. Závěry ze zónového modelování jsou tak pravděpodobně nepřesné a lze je tak použít jen tam, kde drobné nepřesnosti nevadí.

Modelování polí používá na rozdíl od předchozího způsobu rozdělení prostoru na malé buňky. Pro každou jednotlivou buňku pak program vypočítává změny jejího stavu pomocí základních vztahů dynamiky tekutin. Obecně lze říci, že to jsou třírozměrné a na čase závislé parciální diferenciální rovnice druhého řádu (Navier – Stokesovy rovnice) vyjadřující zákony zachování hmoty, hybnosti a energie. Pro řešení je třeba znát počáteční a okrajové podmínky. Rovnice nelze řešit exaktně, je nutné numerické řešení. Fyzikální stav vypočítávané buňky závisí na stavu a změnách buněk sousedních – přiléhajících.

Takovéto třírozměrné modelování se nazývá CFD – modelování (Computational Fluid Dynamics – výpočty dynamiky tekutin). Výhodou CFD – modelování je to, že je málo závislé na empirických vztazích. Tak lze nastavit v podstatě libovolné scénáře situací. Nevýhodou je obtížné užívání, které vyžaduje specializované znalosti dynamiky tekutin. Další nevýhodou je zdlouhavý výpočet, pro který je nutné náročnější počítačové vybavení. Proto je tato metoda ve srovnání se zónovým modelováním i finančně náročnější.



**Obr. 8 – Dvourozměrný numerický model – zónové modelování (podle modelování slanou vodou – obrázek 7) – [L6]**



Ve většině modelů jsou použity empirické vztahy a závěry, které vyplynuly z malorozměrových a velkorozměrových pokusů. Vypočítané hodnoty je možné převést pomocí grafických programů (Plot3D, FieldView) na 2D nebo 3D obrázky (viz. obr. 8 a 9). Při použití programů pro vytváření umělé reality (VRML) je možné znázornit např. šíření zplodin hoření v konkrétním prostoru (viz. příloha 2 a 3).

Mezi CFD programy pro modelování jevů při požárech patří např. SOFIE, FDS, SMAFS, Fluent, CFX, Star – CD, PHOENICS, Tascflow, Smartfire a Jasmine. V další kapitole se zaměřím na program SOFIE a možnosti jeho využití pro modelování situací při požárním zásahu.

#### **5.4 Modelovací program SOFIE a jeho využití**

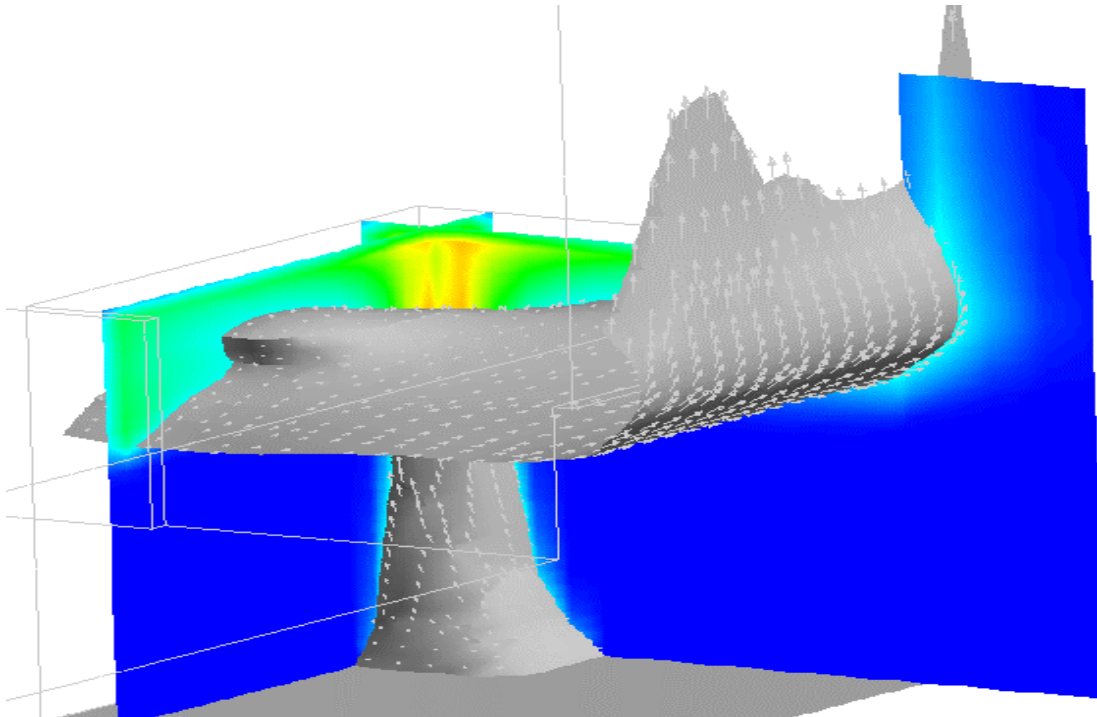
CFD – modelovací software SOFIE (Simulation of Fires in Enclosures – simulace požárů v uzavřených prostorách) je výsledkem společné práce, kterou iniciovala Cranfield University a na které se podílelo několik výzkumných pracovišť (Technical Research Centre of Finland, Swedish National Testing and Research Institute, Fire Research Station, CSTB, Lund University, Health & Safety Laboratory a Home Office Fire Safety Engineering Group).

Vývoj programu se zaměřil na tři základní úkoly:

- vyvinout model polí pro předvídání požárů v budovách, který bude na úrovni současného vědeckotechnického vývoje a který bude obsahovat výpočty dynamiky tekutin,
- vyvinout takový model, který umožní prognózu i takových jevů, které nejsou běžně modelovatelné (rozvoj a šíření požáru, vznik a rozptyl toxických zplodin hoření, vzájemné působení požáru a vody apod.),
- vytvořit takový software, který bude použitelný jak pro požární prevenci, tak pro represí.

SOFIE je vhodná zejména pro výpočty šíření kouře a sdílení tepla. Zatím je nemožné simulovat v CFD programech celý průběh požáru s backdraftem. Důvodem je to, že neexistují submodely, které by zahrnovaly tak složité jevy jako je např. pyrolýza, hoření a exploze. Je však možno simulovat podstatný jev při backdraftu. Tímto jevem je změna

koncentrací hořlavých plynů v závislosti na proudu čerstvého vzduchu, který vniká do místnosti vzniklým otvorem (směšování), jak je vidět např. na obrázcích 4 a 5.



**Obr. 9 - Trojrozměrný numerický model výměny plynů a tepla při požáru (CFD program SOFIE) – [L23]**

Ve vztahu k tématu této diplomové práce je možno tento program využít pro simulaci situací, které mohou nastat při požárních zásazích v prostorách s rizikem vzniku backdraftu. V principu se jedná o nasimulování prostoru s určitým členěním, rozměry a stavebními otvory. V programu se následně zadá situace (otevírání dveří, větrání) a software vyhodnotí pro zadaný scénář příslušné proudění kouře a produktů pyrolýzy v zadaném prostoru. Součástí výsledku je i koncentrace plynu a při znalosti výbušných koncentrací plynu lze zhodnotit, při jakém postupu se v blízkosti hasičů vytvoří nebezpečná koncentrace. Z toho vyplyne i srovnání taktických postupů zdolávání požárů z hlediska možnosti vzniku backdraftu.

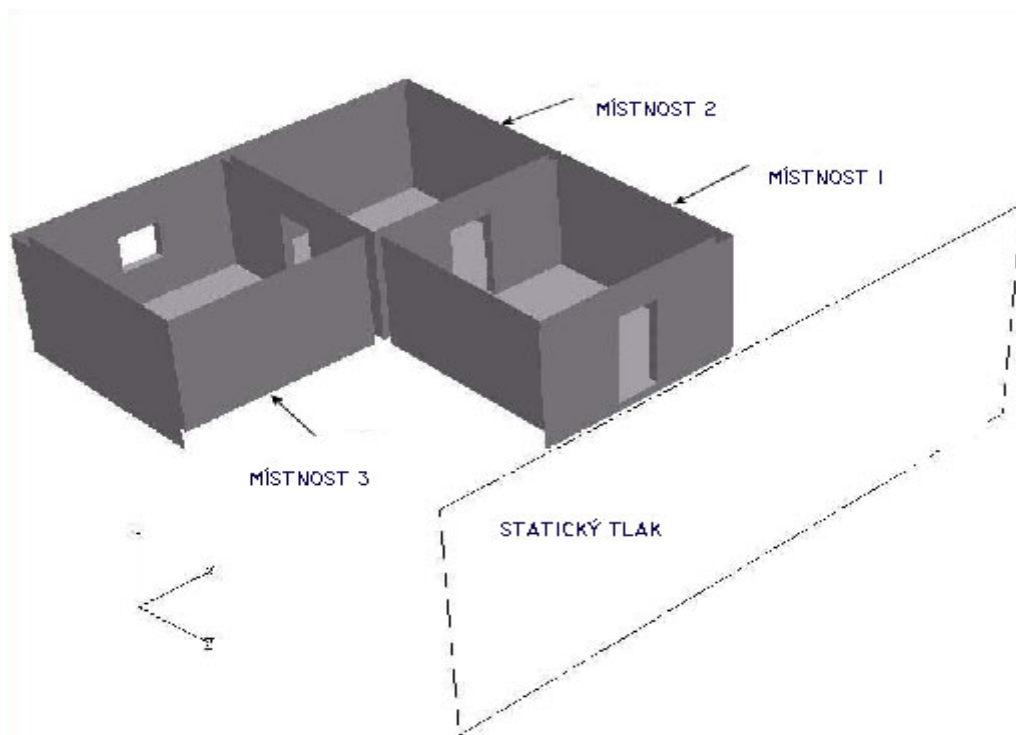
Modelováním konkrétní situace se zabývala například Universita v Lundu ve spolupráci se švédskými hasiči. Výsledkem této práce je studie [L8], jejíž výsledky a závěry budu prezentovat v další kapitole.

## 5.5 Možnosti využití CFD programů v porovnání taktik při zdolávání požárů

### 5.5.1 Scénář simulace

V práci [L8] byl nasimulován fiktivní byt, který se skládá ze tří stejných místností. Půdorysný rozměr jednoho pokoje je 4 x 4 m. Výška místností je 2,8 m. Mezi pokoji jsou dveře o rozměrech 0,8 x 2 m. Pokoj má jedno okno a jedny dveře ven. Půdorys je zřejmý z obrázku 8.

CFD výpočty se uskutečnily s výpočtovou sítí čítající 125 000 bodů. Všechny zdi jsou považovány za adiabatické. Z důvodu neexistence spolehlivých submodelů pro vzplanutí a průběh hoření je v simulacích předpokládáno, že požár je ve fázi plného rozvoje a teploty a koncentrace plynů jsou ve všech místnostech stejné. Počáteční teplota v místnostech je 600 K, tedy asi 873° C a koncentrace hořlavých plynů je 30 %. Plamenné hoření je omezeno nedostatkem kyslíku a probíhá pyrolýza hořlavých materiálů. Dveře mezi místnostmi jsou otevřené. Dveře ven a okno jsou zavřené.



Obr. 10 – Základní scénář pro simulace [L8]

Výpočty byly prováděny v časových krocích po 0,1 s a 1 s. Kritérium konvergence pro každý časový krok je normalizováno pro množstevní reziduální chybovou hodnotu 0,001.

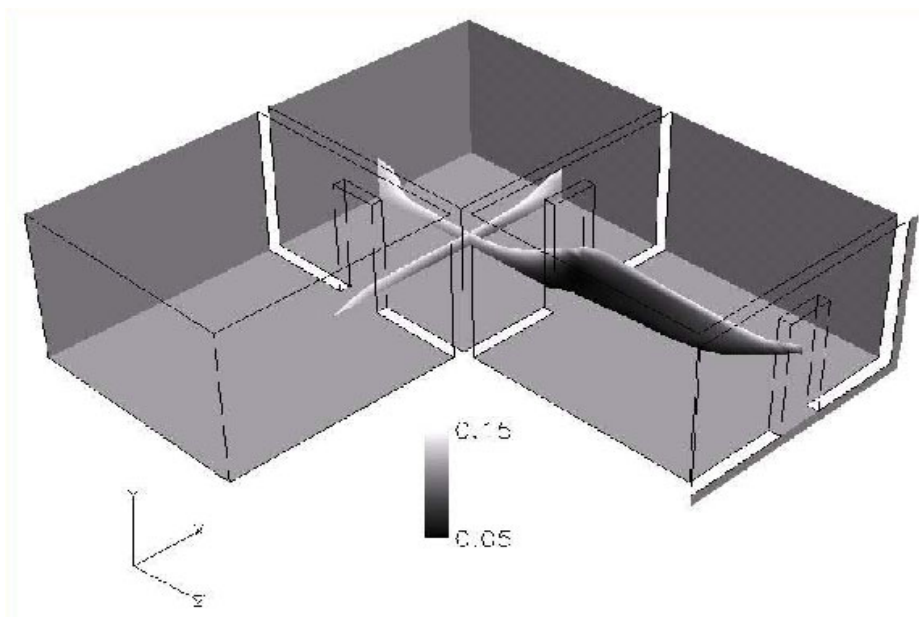
Výsledné koncentrace plynů v různých časech (10 a 40 sekund po počátku simulace) jsou znázorněny na obrázcích v řezech dvěma rovinami, jež protínají vnitřní dveře a jsou na sebe kolmé. Protože je tento scénář fiktivní, jsou nebezpečné koncentrace hořlavých plynů (oblasti hořlavosti) znázorněny v rozmezí 5 až 15 %. Výsledky nejsou srovnávány s žádnými experimentálními daty, jen vzájemně mezi sebou pro porovnání nebezpečnosti jednotlivých situací.

Simulováno bylo celkem šest různých scénářů, z nichž uvedu pět. Scénáře ukazují různé možné postupy hasičů po příjezdu hasičů k požáru. Tyto postupy jsou v podstatě totožné u hasičů na celém světě. Výběr konkrétního taktického postupu závisí obecně hlavně na čase a dále na množství sil, zdrojů hasiv, dostupných technických prostředcích, místu hoření, informacích (zejména o ohrožených osobách a stádiu požáru), zkušenostech hasičů a jejich velitele apod.

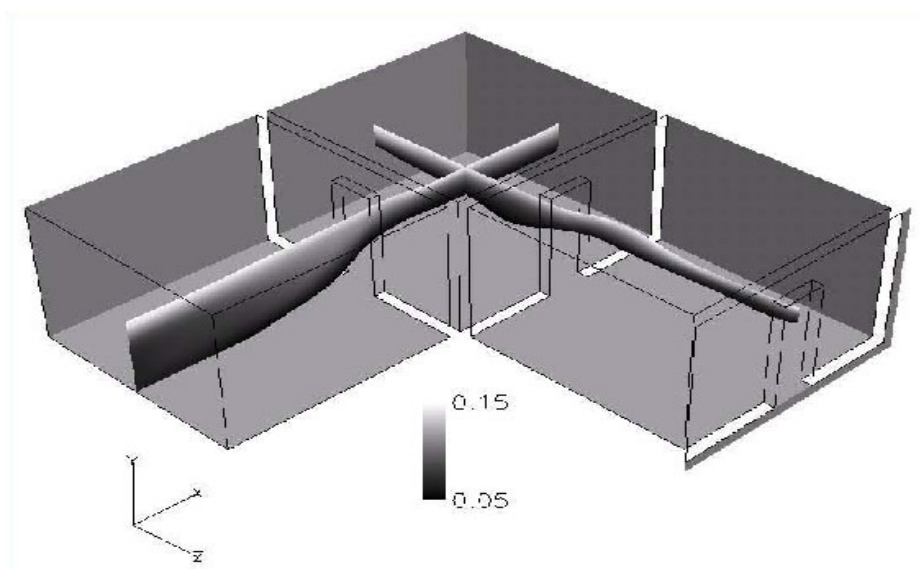
### **5.5.2 Srovnávací scénář – scénář 1**

Ve scénáři 1 je simulována situace, při níž hasiči dorazí na místo požáru, který trvá již dlouhou dobu. Hořící byt má zavřené okno a dveře. Požár je řízen ventilací.

Hasiči otvírají přední dveře, aby byt odvětrali a dostali se do něj. V okamžiku otevření začíná simulace. Hasiči stojí stranou od dveří, takže proudění vzduchu do bytu nebrání žádná překážka. Porovnáním obrázků 11 a 12, které zobrazují stav koncentrace hořlavých plynů po 10 a 40 sekundách je vidět, že hořlavá koncentrace se šíří. V 10. sekundě byla přítomna zejména v místnosti 1. Po uplynutí 30 vteřin se rozšířila do místnosti 2 a zejména do místnosti 3, kde je po celé délce místnosti (s výjimkou prostoru u dveří, kterými proudí vzduch snižující koncentraci) přítomna do cca poloviny výšky místnosti.



**Obr. 11– Scénář 1: Hořlavá oblast po 10 sekundách [L8]**

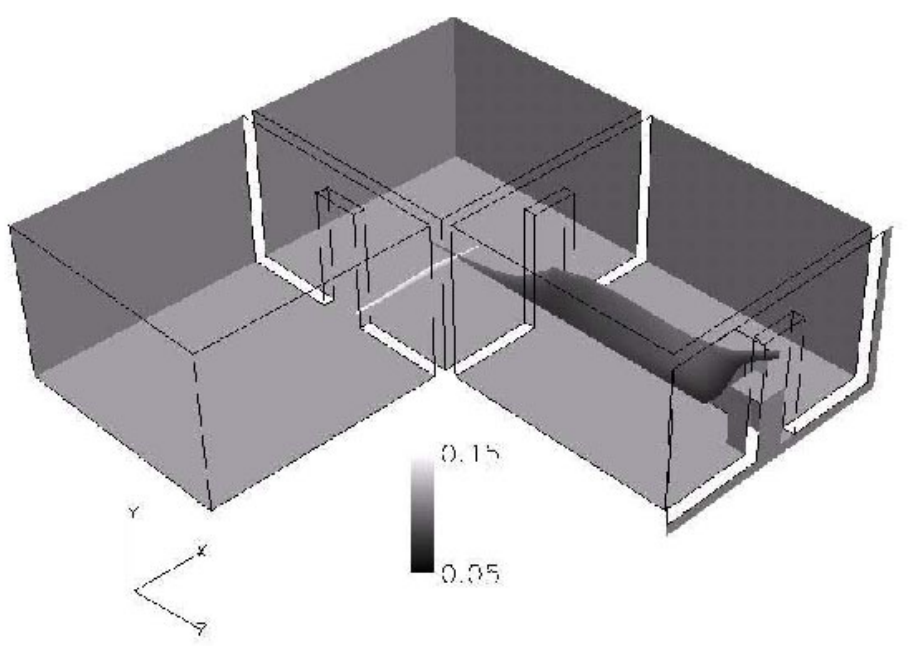


**Obr. 12 – Scénář 1: Hořlavá oblast po 40 sekundách [L8]**

### 5.5.3 Možnost ohrožení lidí - scénář 2

Hasiči zjistili, že v bytě mohou být ohroženi lidé. Kritickým faktorem se stává čas na jejich záchranu. Je zvolen ofenzivní požární útok a není možno hodnotit další možné varianty zásahu. Jednotka je vyslána do bytu předními dveřmi. V tomto případě stojí dva hasiči přede dveřmi, čímž vytvářejí překážku pro proudění vzduchu. Proudění se zpomaluje, což je zřetelně vidět při srovnání obrázků 11 a 13. Ve scénáři 2 je hořlavá oblast zejména v místnosti 1. Hasiči ve Švédsku v takovémto případě chladí horké

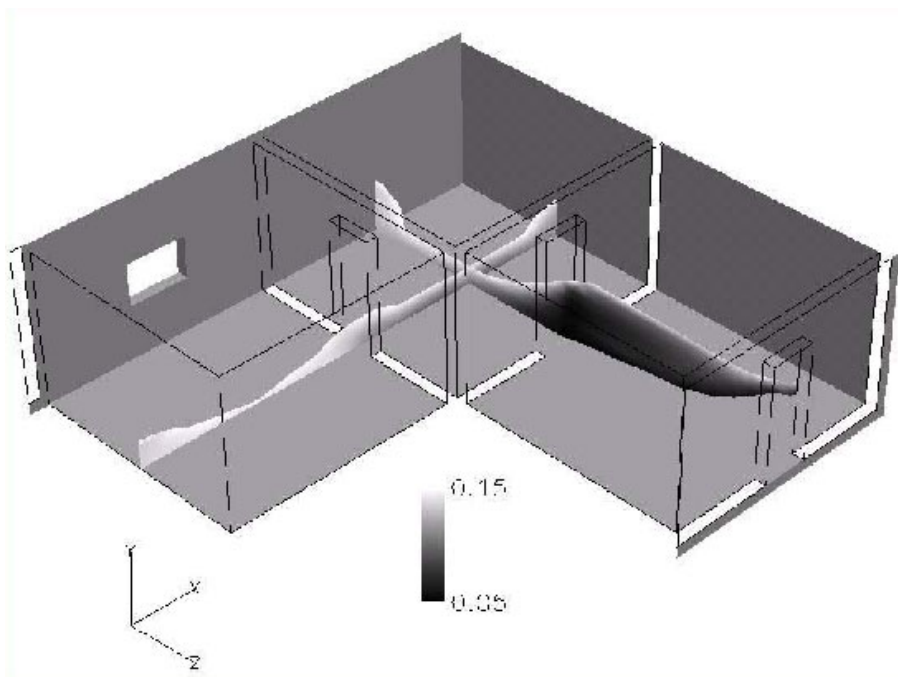
plyny v místnosti tak, že po malém otevření dveří vstříkují dovnitř krátký puls vodní mlhy a dveře zavřou. To opakují tak dlouho, dokud si nejsou jisti, že je situace za dveřmi bezpečná a oni mohou do místnosti vniknout. Tato činnost není v CFD programech modelovatelná, proto se scénář 2 od scénáře 1 liší právě jen překážkami (hasiči přede dveřmi).



**Obr. 13 – Scénář 2: Hořlavá oblast po 10 sekundách [L8]**

#### **5.5.4 Použití přirozené ventilace – scénář 3**

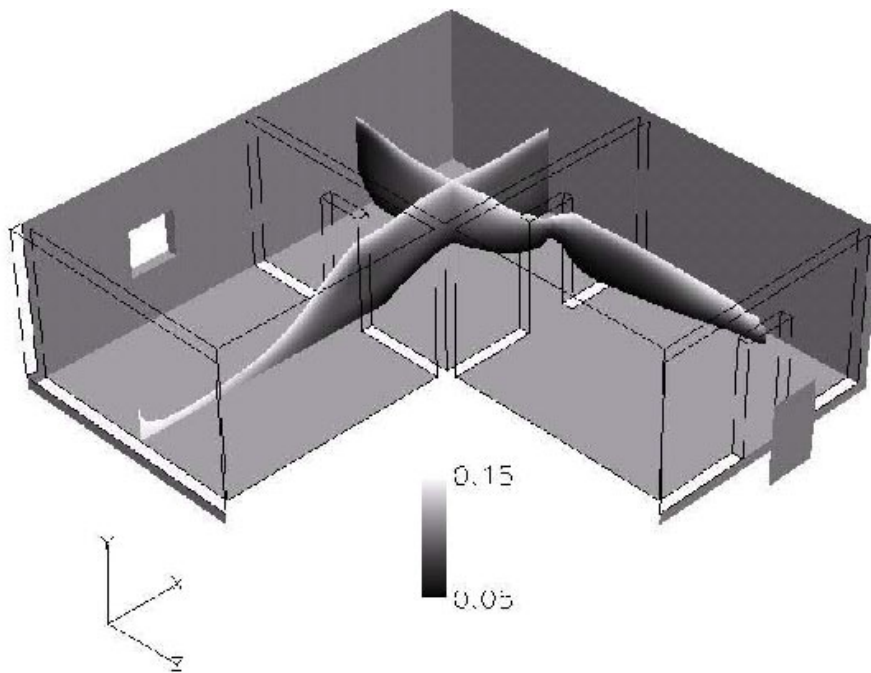
Při použití taktiky ze scénáře 3 je zřejmé, že lidé v požárem ohroženém prostoru nejsou. Čas proto není kritický a je možno nejprve provést opatření na ochranu zasahujících hasičů. Proto je vytvořen otvor pro přirozenou ventilaci otevřením okna. Otevření okna musí být jištěno vodním proudem, aby nedošlo k šíření požáru po fasádě a ohrožení hasičů backdraftem. Při provedení takového defenzivního požárního útoku je ohrožení hasičů podstatně menší než v předchozím scénáři. Hořlavá oblast se v místnostech vytvoří rychleji než v předchozím scénáři, protože do bytu se dostává vzduch přímo z venkovního ovzduší (viz. obr. 14). Hasiči ovšem v bytě nejsou a mohou počkat, až se místnosti dostatečně odvětrají a potom zdolávat požár.



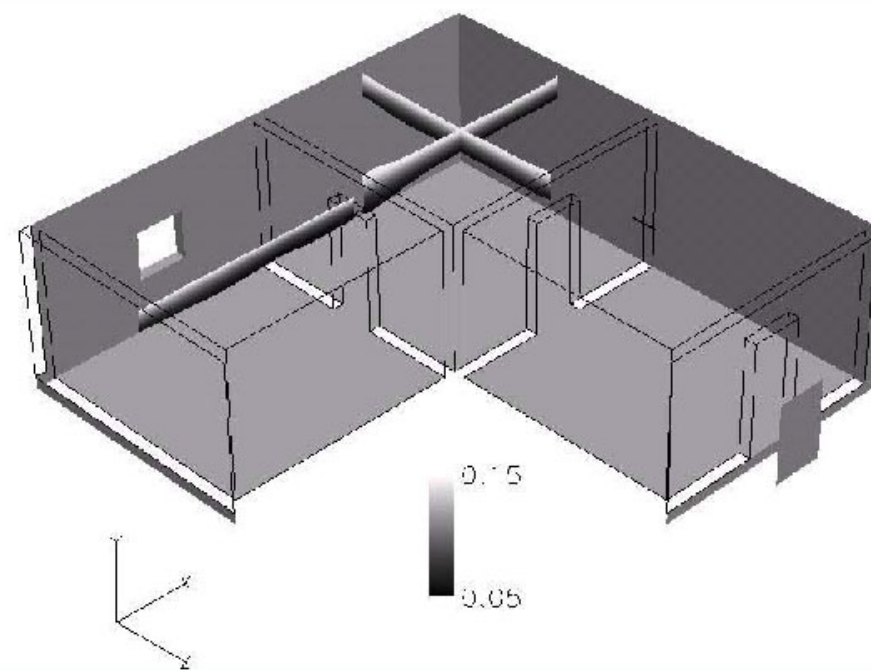
**Obr. 14 – Scénář 3: Hořlavá oblast po 10 sekundách [L8]**

#### **5.5.5 Použití pozitivní přetlakové ventilace – scénář 4**

Používání pozitivní přetlakové ventilace (PPV) se stává stále běžnějším postupem při odvětrání zakouřených prostor. Při použití správného postupu je PPV velmi efektivním nástrojem pro bezpečnější práci hasičů. Ve scénáři 4 je ventilátor umístěn před vstupní dveře a odvětrávacím otvorem je otevřené okno. Spuštění ventilátoru způsobuje v bytě víření, které není v CFD programu dobře simulovatelné. Možnost vzniku backdraftu je vířením vzduchu a tím jeho lepším promícháváním s hořlavými plyny pravděpodobně zvýšena, takže je nutno se jistit vodním proudem. Jak je vidět z obr. 15, vytvoří se v místnostech 1 a 2 několik sekund po aplikaci PPV hořlavá koncentrace plynů. Hlavní efekt PPV – dodávka velkého množství vzduchu do místnosti však způsobí, že je byt rychle zbaven kouře a tím je odstraněna nezbytná podmínka pro vznik backdraftu. Jak je vidět z obr. 16 a z jeho porovnání s obr. 12, je byt po 40 sekundách v podstatě bez nebezpečí vzniku backdraftu.



Obr. 15 – Scénář 4: Hořlavá oblast po 10 sekundách [L8]



Obr. 16 – Scénář 4: Hořlavá oblast po 40 sekundách [L8]

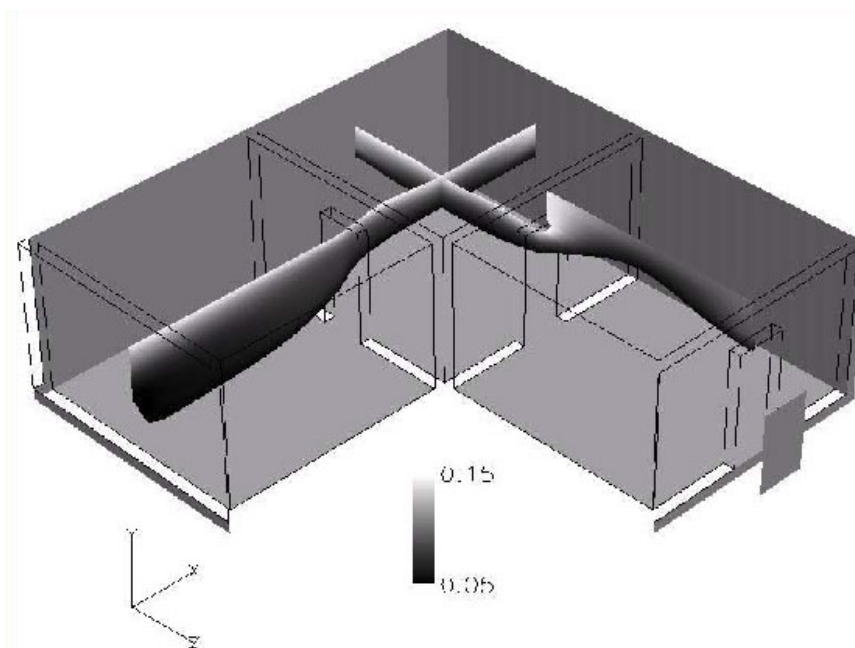
### 5.5.6 Nesprávné použití pozitivní přetlakové ventilace – scénář 5

Při nevhodném použití PPV může dojít k opačnému výsledku, než ve scénáři 4. Pokud je špatný poměr velikostí přívodního a odváděcího otvoru nebo jsou tyto otvory vzájemně špatně situovány, může dodávka čerstvého vzduchu způsobit iniciaci



přítomných hořlavých plynů – backdraft. Jiným nebezpečím je to, že kouř bude natlačen do prozatím kouře prostých místností, kde způsobí nežádoucí škody.

Scénář 5 je podobný scénáři 4. Rozdíl je v uzavřeném okně. Výsledek CFD modelován je znázorněno na obr. 17. Je zřetelně vidět, že na rozdíl od správně provedené PPV z obr. 16 je u nesprávné PPV po 40 sekundách hořlavá oblast přítomna ve všech místnostech i v místnosti 3, kde je velké nebezpečí vzniku backdraftu.



**Obr. 17– Scénář 5: Hořlavá oblast po 40 sekundách [L8]**

## **5.6 Závěry z počítačových simulací**

Ze simulací uvedených v kapitole 5.5 vyplývá, že nejnebezpečnějším situacím se hasiči vystavují v časové tísni, kdy zanedbávají vlastní ochranu a v případě, že špatně provedou odvětrání prostoru přetlakovou ventilací. Naopak nejbezpečnějším postupem je správné odvětrání, ochrana vodním proudem a rozvážný postup při vnikání do bytu.

## 6. ZÁSADY V SITUACI BACKDRAFTU

### 6.1 Objekty s možností vzniku backdraftu

Jak vyplývá z definic backdraftu (viz. odstavec 2.3), může k backdraftu dojít při explozivním hoření hořlavých plynů a par v prostoru, který má určité charakteristiky ovlivňující intenzitu sdílení tepla a ventilaci.

Přítomnost hořlavých plynů a par je možné v dnešní době předpokládat u všech bytových požárů a u většiny požárů v jiných objektech, zejména pokud mají malou půdorysnou plochu, malý objem a dostatečné množství hořlavých hmot. Nakumulování hořlavých hmot je způsobeno masivním používáním plastických hmot ve všech oblastech lidské činnosti. Mimo své výjimečné mechanické vlastnosti, chemickou odolnost a jiné charakteristiky je bohužel většina plastických hmot hořlavých nebo schopných pyrolýzy. Produkty těchto procesů jsou zpravidla toxické a hořlavé. Podle svého chemického složení a podmínek při hoření obsahují oxidy uhlíku, dusíku, síry, fosforu, kyanidové sloučeniny, aminy apod. a při zahřívání uvolňují hořlavé uhlovodíkové produkty. Přítomnost oxidovadla – 21 % objemových kyslíku - v přivedeném čerstvém vzduchu je samozřejmá a předpokládám, že jí není nutné rozvádět.

To, že backdraft nenastává u většiny požárů, je způsobeno dalšími limitujícími podmínkami, které spolu úzce souvisí.

První limitující podmínkou je intenzita sdílení tepla. Pro vznik backdraftu je nezbytně nutné, aby se zplodiny hoření a pyrolýzy udržely po uhasnutí plamenů nad teplotou vznícení. Tuto teplotu předpokládám v hodnotách cca 500° C až 600° C. To znamená, že odvod tepla stavebními konstrukcemi a ventilací bude stejný nebo nižší, než teplo dodávané požárem. Bezplamenné hoření má podstatně nižší množství uvolněného tepla než plamenné z důvodu nedostatku kyslíku pro exotermní reakce. Proto je nezbytnou podmínkou pro vznik backdraftu tepelně izolovaný a uzavřený prostor. Při pokusech s backdraftovými kontejnery (viz. [L5] a [L7]) je to provedeno použitím tepelné izolace s nízkým součinitelem prostupu tepla. Běžně používané stavební konstrukce (cihly, beton, železobeton, plech) tak dobré tepelně izolační vlastnosti postrádají a akumulují popř. odvádějí teplo v takové míře, že teplota v požárem zasaženém prostoru klesne po určitém čase pod teplotu vznícení.

Druhou limitující podmínkou je dostatečné utěsnění prostoru proti přívodu vzduchu, který by udržel plamenné hoření. Tato podmínka vyžaduje, aby byly ohraničující stavební konstrukce celistvé a neměly žádné otevřené stavební otvory (např. okna, ventilační průduchy apod.). Tuto podmínku splňují např. sklepy, místnosti nesousedící s obvodovými zdmi, místnosti bez oken, popř. místnosti, jejichž stavební otvory jsou vybaveny výplněmi s požární odolností a podhledové prostory. I tato podmínka způsobuje výjimečnost backdraftu. Běžně používané výplně oken a dveří udrží v podmínkách požáru celistvost řádově po několik desítek sekund. Poté jsou narušené tak, že jimi do prostoru hoření proniká čerstvý vzduch a ven zplodiny hoření. Pokračuje tak plamenné hoření a backdraft nemůže nastat.

## 6.2 Faktory ovlivňující zásahovou situaci

Při hašení požárů ovlivňuje situaci při zásahu mnoho faktorů. Ty pak předurčují zvolenou taktiku. Jak jsem uvedl v článku 5.6, znamená konkrétní zvolená taktika různé nebezpečí pro zasahující hasiče. K hlavním určujícím faktorům patří:

- čas,
- informace o situaci,
- místo a doba zásahu,
- síly a prostředky zasahujících jednotek,
- zkušenosti velitele zásahu,
- zkušenosti zasahujících hasičů.

Nedostatek času je nejkritičtější faktorem. Rychlost, s jakou je někdy třeba provést nezbytné úkoly při zásahu, nutí hasiče k zanedbávání bezpečnostních opatření. Nejvíce jsou ohroženy průzkumné skupiny, které při získávání informací o situaci vstupují do objektů zasažených požárem. Dále jsou ohroženi hasiči, kteří bez jistění vodním proudem otevírají dveře a okna do místností, v nichž probíhal požár.

Další okolností, která má velký vliv na ohrožení hasičů, jsou informace o situaci na místě zásahu – zejména o ohrožených lidech. Pokud jsou požárem ohroženy osoby, je jejich záchrana prvořadým cílem. Ve snaze o co nejrychlejší splnění tohoto úkolu není často možné zabezpečit zasahující hasiče proti různým nebezpečím, včetně nebezpečí ohrožení backdraftem. Není čas na provedení odvětrání, zjišťování příznaků

potenciálního backdraftu, jištění vodními proudy při vnikání do místností a jiných opatření.

Místo, kde došlo k požáru a doba, kdy probíhá, jsou neméně významné. Je velký rozdíl v taktice zásahu v průmyslovém podniku a v obytné budově. Záleží zejména na množství potenciálně ohrožených osob. Pokud dojde k požáru v noci, je třeba předpokládat zhoršenou orientaci ohrožených osob i hasičů. Zvládnutí takové situace v spojení se zhoršenými optickými podmínkami (zakouření) může způsobit přehlédnutí příznaků možného vzniku backdraftu.

Dostupné síly a prostředky předem určují volbu taktiky. Pokud nepostačují síly pro záchranu osob i pro odvětrávání nebo není-li jednotka vybavena výškovou technikou a ventilátory pro provedení odvětrání, zvyšuje se nebezpečí vzniku backdraftu a tím i ohrožení zasahujících hasičů.

Nebezpečí ohrožení hasičů backdraftem se snižuje zkušenostmi hasičů a zejména jejich velitele. Pokud o nebezpečí backdraftu vědí a znají jeho příznaky, mohou mu předcházet. Pokud má velitel zkušenosti s používáním nových taktických postupů, může nařídit předchozí odvětrání zasaženého prostoru, provést je správným způsobem a tím míru ohrožení snížit.

### **6.3 Příznaky možnosti vzniku backdraftu**

Požáry se obecně vyznačují čtyřmi příznaky. Někdy jsou pozorovatelné všechny, jindy jen některé. Jsou to vývoj kouře, proudění vzduchu, vývin tepla a plameny. Tyto příznaky mají podle [L 13] různé charakteristiky.

Kouř:

- barva,
- hustota,
- množství (objem),
- místo vzniku nebo zpozorování,
- poloha neutrální roviny,
- pulsování kouře okolo dveří a oken.

Proudění vzduchu:

- rychlost,
- směr,
- druh proudění (turbulentní, laminární),
- zvuky.

Vývin tepla:

- zčernání okenních výplní,
- vytváření puchýřů na nátěrech stavebních konstrukcí a uzávěrů otvorů,
- velká intenzita sálavého tepla.

Plameny:

- barva,
- velikost,
- místo vzniku nebo zpozorování.

Mezi těmito příznaky je možno najít i takové, které signalizují možnost vzniku backdraftu. Podle [L4] a [L11] mezi ně patří příznaky patrné zvenčí na stavebních konstrukcích a příznaky, které jsou vidět při pohledu zvenčí do místnosti, kde probíhá hoření. Jsou to:

- Stavební charakteristiky vlastní budovy nebo místnosti, kde hoří. Podle článku 6.1 jsou to budovy s malou možností přirozené ventilace, uzavřenými otvory, stavebními konstrukcemi s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi a s přítomností dostatečného množství hmot, jejichž pyrolýzní produkty jsou hořlavé.
- Olejovitá vrstva pokrývající okna. Tato vrstva je způsobena kondenzací pyrolýzních produktů a zplodin hoření na chladném povrchu skla.
- Zahřáté dveře a kliky.
- Kouř pulsující kolem dveří a v jiných ventilačních otvorech. Pulsování kouře u požárů řízených ventilací je způsobeno výměnou plynů a procesy směšování plynů. Může způsobovat i drnčení okenních výplní.

Výše uvedené příznaky patří do skupiny signálů pozorovatelných na stavebních konstrukcích. Další příznaky jsou pozorovatelné při náhledu dovnitř místnosti. Patří sem:

- Modré a temně červené plameny. Ty provázejí hoření oxidu uhelnatého a nedokonalé hoření. Dalšími jevy, které se vyskytují, jsou tzv. „tančící plameny“ nebo „přízračné plameny“. Přítomnost těchto plamenů je příznakem nedokonalého hoření a tedy požáru řízeného ventilací, který může způsobit vznik backdraftu.
- Kouř „nasávaný“ zpět do místnosti. K tomuto jevu dochází při vnikání čerstvého vzduchu do místnosti. Při požáru proudí horké zplodiny hoření vlivem přetlaku v místnosti horní částí otvorů nebo celými otvory v závislosti na poloze neutrální roviny a ploše a umístění ventilačních otvorů. Po ochlazení pod 50° C kouř klesne k podlaze. Nastane-li vzájemná výměna plynů mezi prostorem požáru a okolím, může být zchlazený kouř stržen proudem čerstvého vzduchu a proudit zpět k místu hoření.
- Hvízdavé a ječivé zvuky, které mohou vznikat při proudění velkého množství stlačených plynů malými a úzkými otvory.
- Dalším možným příznakem je barva kouře. Nespálené uhlovodíky zbarvují kouř do černé barvy a kouř je hustý.

#### **6.4 Možnosti detekování backdraftové situace**

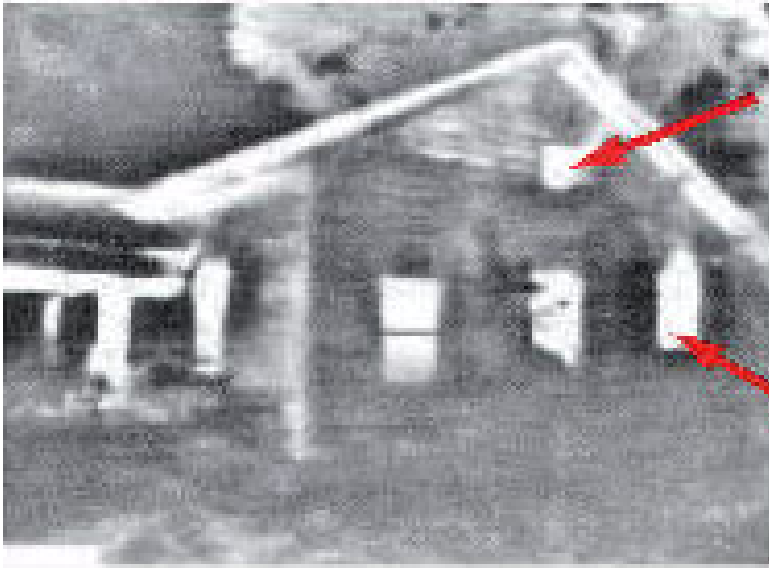
Všechny příznaky uvedené v předchozích článcích jsou za určitých podmínek zjistitelné, ať už lidskými smysly nebo přístroji. Je samozřejmě nutné, aby hasiči tyto příznaky znali a byli je schopni správně vyhodnotit. Možnosti detekce mohou být různými okolnostmi omezeny nebo vyloučeny. Některé příznaky mohou být i nepřesné. Je však vždy lepší připravit se na nebezpečí, které nenastane, než být zaskočen vzniklou nebezpečnou situací.

Detekce backdraftové situace lidskými smysly má výhodu v tom, že je proveditelné vždy. Nevýhoda je v nepřesnosti. Ta je způsobena situací, která panuje na místě zásahu po příjezdu jednotky a která zasahující hasiče ovlivňuje.

Vizuální zjišťování situace závisí zejména na světelných podmínkách. Jiná bude situace ve dne, jiná v noci nebo za soumraku. Pak nemusí být povlak na okenních sklech viditelný. Pokud už viditelný je, pak samozřejmě nejsou vidět příznaky hrozícího backdraftu uvnitř místnosti – např. tančící plameny. Ještě horší zpravidla bývají podmínky uvnitř budov. Nefungující osvětlení a zakouření omezují výhled hasičů na několik metrů či decimetrů a způsobují ztrátu orientace v prostoru. Sluch je při hluku doprovázejícím zásah při požáru prakticky nepoužitelný a zvuky signalizující možnost vzniku backdraftu lze snadno přeslechnout. Jediným smyslem, podle něhož se hasiči mohou orientovat zůstává hmat a konkrétně schopnost vnímat holou rukou zvýšenou teplotu klik a dveří místnosti, kde se nachází horká vrstva spalin a pyrolýzních produktů.

V současnosti je jediným přístrojem, který může pomoci hasičům v reálném čase detekovat backdraftovou situaci, termokamera. Termokamery mají v požární represi možnost širokého využití. Je jimi možno v zakouřeném prostředí (ať už v budovách nebo na volném prostranství) nalézt ohniska požáru, vyhledat osoby, zjistit výšku hladiny kapaliny v zásobníku, látku ve vodním toku apod. V prevenci proti vzniku backdraftu může kamera sloužit pro detekci zahřátých ploch dveří, oken a jiných stavebních konstrukcí (viz. obr. 18). Hasiči se potom mohou připravit na to, že ve zjištěném prostoru se nachází horké hořlavé plyny a přizpůsobit tomu taktiku zásahu. Výhodou termokamer při použití uvnitř zakouřených objektů je i to, že se s jejich pomocí vidět např. proudění horkých a jinak neviditelných zplodin hoření okolo dveří a jejich pohyb pod stropem.

Nevýhodou termokamer je jejich cena. Ovládání není složité, ale je jasné, že hasič ovládající termokameru je nepoužitelný pro jinou práci. To je v podmínkách ČR, kde hasiči vyjíždějí k zásahům v minimálních početních stavech, závažným nedostatkem.



UNIKAJÍCÍ HORKÉ PLYNY

HORKÉ PLOCHY OKENNÍCH  
VÝPLNÍ OZNAČUJÍ MÍSTO, KDE JE  
NEJVYŠŠÍ TEPLOTA

A TAKÉ MOŽNOST VZNIKU  
BACKDRAFTU

**Obr. 18 – Pohled termokamerou na objekt, v němž probíhá požár (obrázek byl převzat z [www.thermalimager.bullard.com](http://www.thermalimager.bullard.com))**



## **7. TAKTIKA ZÁSAHU V SITUACI HROZÍCÍHO BACKDRAFTU**

### **7.1 Prevence vzniku backdraftu**

V preventivních opatřeních pro minimalizaci nebezpečí vzniku backdraftové situace hraje hlavní roli požární bezpečnost staveb. Pokud jsou použita požárně bezpečnostní zařízení (konkrétně elektrická požární signalizace, stabilní hasící zařízení a především zařízení pro odvod kouře a tepla), je vyloučen některý z vrcholů požárního trojúhelníku. Pokud jsou požárně bezpečnostní zařízení správně navržena a fungují, pak plní tyto funkce:

- EPS signalizuje vznik požáru v určitém prostoru a hasiči jsou při vstupu do těchto míst připraveni na nebezpečí.
- Stabilní hasící zařízení dokáže ochladit vrstvu kouře. Protože je však primárně určeno na uhašení nebo lokalizaci počínajícího požáru o malém rozsahu, je tento vliv zanedbatelný. Účelem SHZ je nedopustit vznik rozsáhlejšího požáru a tím backdraftového potenciálu. I když však SHZ nebude fungovat správně, může požár alespoň detekovat a splnit funkci EPS.
- ZOKT je v prevenci backdraftové situace nejúčinnějším nástrojem. Odvedení horkých zplodin hoření mimo chráněný prostor má mimo ochrany osob před intoxikací a zraněním a stavebních konstrukcí před destruktivními a korozivními účinky kouře i vliv na možnost vzniku backdraftu. Při odvádění horkého kouře (a současném přivádění čerstvého vzduchu) se v podstatě udržuje plamenné hoření. Kouřová vrstva má menší výšku a teplotu, čímž se snižuje tepelné namáhání hořlavých hmot a omezuje pyrolýza. Výsledkem je to, že v backdraft nemůže nastat, protože v prostoru není dostatečná teplota a množství hořlavých zplodin hoření a pyrolýzních produktů.

### **7.2 Příklady zásahů s výskytem backdraftu**

Vznik backdraftu se trvale statisticky nesleduje ani v ČR, ani v zahraničí. Fleischmann se v [L5] zmiňuje o soustředování dat po tragickém požáru v anglickém Chathamu (1975), při němž po backdraftu zahynuli dva hasiči. Zkoumání zahrnovalo požárem zaviněné exploze ve Velké Británii, Kanadě a USA za období 1906 až 1976.

Do kategorie backdraftu patřilo celkem 109 případů. Pokud při nich dojde ke zranění hasičů, jsou zahrnuty mezi obecné příčiny zranění – popálení apod. Znamější a propracovanější jsou tak zejména případy backdraftů, které skončily smrtí hasičů a kterými se kromě odborníků na požární ochranu zabývají i příslušné instituce sledující bezpečnost práce (např. americký NIOSH – Národní Institut zdraví a bezpečnosti zaměstnanců). Kromě zmíněného případu v Chathamu se mi tak podařilo získat podrobnější informace o následujících událostech z poslední doby:

- 1994 – New York City – USA, při požáru třípatrového obytného domu zahynuli 3 hasiči a 2 byli zraněni [L2],
- 1996 – Blaina (Gwent) – Velká Británie, při hledání dítěte pohřešovaného v hořícím domě zahynuli 2 hasiči [L10],
- 1998 – Illinois – USA – 2 hasiči byli usmrceni a 3 zraněni při požáru obchodu [L16],
- 1998 – Ohio – USA – 2 hasiči zahynuli při hašení požáru rodinného domku [L17],
- 2002 – Paříž – Francie – při backdraftu zahynulo 5 hasičů.

Na některých z těchto tragických případů se budu snažit poukázat na chyby, kterých se hasiči dopustili a navrhnout správnou taktiku zásahu.

### **7.2.1 Požár v New York City**

Dne 28.3. 1994 v 19,36 byl FDNY informován o požáru ve Watt Street 64. Ohlašovatel zpozoroval jiskry a kouř vycházející z nepoužívaného komína.

K požáru došlo v obytné budově z konce 19. století. Konstrukce byly provedeny z nehořlavých materiálů (cihly). Půdorysné rozměry byly 6,1 m a 14 m. Dům měl 3 nadzemní podlaží a suterén. V domě byly 4 byty s podobným půdorysem. Vstup do bytů byl z chodeb, propojených dřevěným schodištěm. Nad schodištěm byl skleněný světlík. Vchod na plochou střechu byl ze schodiště po žebříku. Nedlouho před požárem proběhla v domě renovace, při které byly instalovány podhledy ve výšce 2,5 m a vyměněny dveře a okna. Bylo provedeno utěsnění spár a izolování vnějších konstrukcí. Dům byl popisován jako „velmi těsný“. Všechny byty měly dřevěné podlahy. V bytě, který byl místem vzniku požáru, byl obývací pokoj s kuchyní, koupelna, sociální zařízení a ložnice. V ložnici byla oddělená pracovna. V bytě byly 2 krby. Jeden (v obývacím pokoji) byl funkční.

Na místo vyjely 3 cisterny a 2 automobilové žebříky. Po příjezdu na ohlášené místo byl vidět jen kouř z komína a žádné další známky požáru, které by umožnily přesně určit prostor, kde hoří. Tři hasiči byli vyčleněni k odvětrání schodiště prostřednictvím světlíku. Další tříčlenné skupiny vytvářely hadicová vedení vchodem ke dveřím bytů v prvním a druhém nadzemním podlaží.

Skupina v prvním podlaží násilím otevřela dveře a v pozdějším hlášení uvedla, že: „do bytu se okamžitě začal hnát vzduch, což bylo následováno teplým (ale ne horkým) výdechem. Po něm vyšlehly z horní části dveří dlouhé plameny a stáčely se nahoru schodišťovým prostorem“. Hasiči z prvního poschodí byli ještě schopni se skrčit pod plameny a ustoupit po schodišti dolů, ale tři muži ve druhém poschodí byli zasaženi plameny, které vyplňovaly celé schodiště, a zahynuli. Podle amatérského videozáznamu pořízeného z protější strany ulice bylo později zjištěno, že plameny vyplňovaly schodiště déle než 6,5 minuty. Tolik ukázal čistý čas záznamu, který byl však několikrát zastaven.

Po ohledání místa požáru byla jako příčina požáru stanovena neopatrnost – plynový sporák ponechaný bez dozoru a hořlavé látky (vysokoprocentní alkohol) v jeho blízkosti. Dveře a okna v bytě byly zavřené, takže se požár rozšířil jen na obývací pokoj s kuchyní a halu. Kouř unikal komínovým sopouchem z nepoužívaného krbu a byl jediným viditelným příznakem hoření. V bytě pravděpodobně probíhalo nedokonalé hoření a většina zplodin a pyrolýzních produktů zůstala uvnitř. Po vyražení dveří došlo k backdraftu a přítomné množství hořlavých plynů stačilo k následnému (více než šestiminutovému) hoření, které zapříčinilo smrt tří hasičů.

Nedošlo k rozšíření požáru na další byty a stavební konstrukce nebyly poškozeny. Dřevěné schodiště z větší části shořelo a skleněné výplně světlíku byly nataveny do podoby dlouhých „rampouchů“, což svědčí o vysoké teplotě panující na schodišti.

Hlavním faktorem, který ovlivnil tento zásah, byl nedostatek informací. Nebylo zřejmé, zda se vůbec jedná o požár a pokud ano, kde je ohnisko požáru. Dále nebylo jisté, zda v některém bytě nezůstali lidé. Největší chybou bylo to, že hasiči otvírali dveře do bytů na obou podlažích zároveň a bez ochrany zavodněným útočným proudem. Současný průzkum bytů byl umožněn dostatečným počtem zasahujících hasičů. Byl však riskantní v tom, že v případě vzniku backdraftu v přízemí byli hasiči ve vyšším podlaží ohroženi všemi negativními jevy, které doprovázejí požáry –

teplotou, plameny a zplodinami hoření. Doba, po kterou byli vystaveni účinkům teplot cca 1000° C a více, byla příliš dlouhá a tepelný tok smrtící.

### 7.2.2 Požár v Blaině

K požáru terasovitého dvoupodlažního obytného domu došlo 1.2. 1996 v ranních hodinách. Časová posloupnost události je popsána v [L10] následovně:

- 05,48 Obyvatel domu objevil požár v kuchyni v přízemí domu.
- 06,00 Celá budova byla zaplněna kouřem i přes izolování kuchyně.
- 06,03 Bylo přijato oznámení o požáru od souseda.
- 06,04 Vyslána první jednotka.
- 06,05 Vypadlo okno v kuchyni.
- 06,06 Druhé oznámení o požáru.
- 06,08 Příjezd první jednotky na místo požáru.
- 06,09 Třetí telefonát hasičům s informací, že „děti jsou dosud uvnitř“.
- 06,10 Vyslána druhá jednotka, první jednotka začala zasahovat.
- 06,11 První dvoučlenná skupina s DP a nezavodněným útočným proudem vyslána přední částí domu.
- 06,12 Neúspěšný pokus o vytvoření útočného proudu zadní částí domu.
- 06,13 První skupina vynesla jedno nalezené dítě.
- 06,15 Požár se rozšířil skrz prohořelý strop do prvního podlaží. První skupina se vrací do domu hledat druhé pohřešované dítě.
- 06,15 Nastal backdraft, při němž se ocitly jak přízemí, tak první podlaží v plamenech.
- 06,17 Druhá skupina s DP proniká do domu, aby zachránila kolegy, kteří jsou uvězněni uvnitř.
- 06,19 Příjezd druhé jednotky o síle 5 hasičů.
- 06,20 Vytvořeno dopravní vedení od hydrantu pro doplňování cisterny.
- 06,20 Třetí skupina s DP proniká do domu, aby pomohla se záchranou.
- 06,25 Třetí skupina se vychází ven a vrací se s dalším útočným proudem.
- 06,27 První zraněný hasič je vynesena z přízemí.
- 06,29 Druhý zraněný hasič je vynesena z přízemí.

Tento případ vyvolal ve Velké Británii aktivitu instituce pro ochranu zdraví a bezpečnosti (Health & Safety Executive), která jej zkoumala a vyvodila z něj určité závěry, uvedené v [L10] jako chyby:

- a) Kapacita jednotky (síly, prostředky, hasiva) – první jednotka byla vyslaná na základě kategorizace oblastí podle nebezpečí (kategorie C). Další jednotky byly vyslány na základě informace o ohrožených dětech, přijely však pozdě.
- b) Přípravenost – zasahující hasiči zřejmě nepočítali se vznikem backdraftu. Pravděpodobně o tomto jevu nevěděli a neznali jeho příčiny, příznaky, následky a ochranu proti němu.
- c) Doba reakce – časový interval mezi vysláním jednotky a započítím hašení byl příliš dlouhý. Vlastní doprava hasiva na požářiště byla provedena druhou jednotkou až po backdraftu při pokusech o záchranu zraněných kolegů. Přitom byla v tomto konkrétním případě dojezdová vzdálenost několik set metrů. Přesto byla reakční doba více než 10 minut a od prvního zpozorování požáru asi půl hodiny.
- d) Doba vyhledávání a záchrany – při dnešních požárech se ve zplodinách hoření vyskytuje zpravidla velké množství pro život a zdraví nebezpečných látek. Pokud je jim člověk vystaven po dostatečně dlouhou dobu, je naděje na jeho záchranu nulová a je zbytečné vystavovat hasiče riziku.
- e) Odvětrání – prostor, kam hasiči vstupovali nebyl žádným způsobem odvětráván
- f) Aplikace vody – v daném případě nebyla použita voda k ochraně prvních zasahujících hasičů.
- g) Výcvik – hasiči nebyli prakticky připravováni na možnost vzniku backdraftu a zásahu s použitím přetlakové ventilace. Rovněž jim byla cizí aplikace vody jinak než přímým útokem.

### **7.2.3 Požár v Ohiu**

Informace o tomto požáru pochází z [L17]. Došlo k němu v nočních hodinách 5.2. 1998. Dobrovolná jednotka byla povolána k požáru 20 let starého, dřevěného, jednopatrového domu. Po příjezdu byl vidět světlý kouř nad střechou. Po proniknutí do domu hasiči zjistili, že místnosti jsou „slabě až středně zakouřeny“ a uhasili menší ohniska požáru v kuchyni. Poté si všimli, že hoří ještě v prostoru podhledu. Viděli „oranžové plameny a bafající kouř“. Jeden z hasičů narušil sekerou podhled, aby

zpřístupnil prostor mezi podhledem a stropem pro hašení. V té chvíli došlo k backdraftu. Desky tvořící podhled zasypaly hasiče a místnost se vyplnila tmavým kouřem. Hasiči ztratili orientaci, nevěděli o sobě vzájemně a nenašli nataženou hadici. Dva byli evakuováni, jednoho se podařilo zachránit, ale dva hasiči zahynuli z důvodu udušení, popálenin a zranění hrudníku. Jejich záchrana nebyla možná, protože jejich kolegové se k nim nemohli kvůli intenzivnímu požáru a nedostatku hasiv pro jeho zdolání dostat.

Incident byl vyšetřován komisí NIOSH, která shledala několik pochybení. Hlavním nedostatkem bylo řízení zásahu. Nebyl stanoven velitel zásahu a většina hasičů neměla komunikační prostředky, takže v podstatě dělali, co je napadlo. Dalším problémem byla nezkušenost hasičů, zejména jejich nepřipravenost na zásahy v uzavřených zakouřených prostorách, odvětrávání prostorů, neznalost příznaků backdraftu a nebezpečí při zborcení stavebních konstrukcí. Vážnou chybou bylo i to, že vodní proud byl po uhašení ohnisek požáru (a před narušením podhledu) odvodněn a hasiči uvnitř o tom nebyli informováni.

Zajímavým jevem v tomto případě bylo místo, kde backdraft vzniknul. Je známo, že nastává při otevírání oken a dveří, ale tento backdraft nastal v prostoru podhledu. Hoření v tomto prostoru však splňuje všechny předpoklady pro takovou situaci. Je v horní části místnost, takže se v něm akumulují zplodiny hoření a pyrolýzní produkty. Pokud je utěsněn, dochází k pomalému ochlazování kouřové vrstvy a při náhlém otevření může k backdraftu dojít. V tomto případě je nebezpečný navíc tím, že tlakové účinky mohou způsobit destrukci konstrukce podhledu, která zasype hasiče pod sebou.

### **7.3 Zásady požární taktiky v případě nebezpečí vzniku backdraftu**

Požární taktiku v situaci hrozby backdraftu je možné rozdělit na dva druhy:

- defenzivní taktické postupy, které slouží primárně pro ochranu hasičů před backdraftem a jeho účinky a
- ofenzivní taktické postupy, které brání vzniku backdraftu.

Výběr konkrétního postupu závisí na okolnostech zásahu – informacích, které jsou k dispozici, čase, množství sil, dostupných technických prostředcích, zkušenostech a schopnostech hasičů a jejich velitele atd. Hlavním účelem výběru taktického postupu je

maximálně chránit zdraví a životy zasahujících hasičů při zachování maximální efektivity zásahu.

Hlavní obecnou zásadou požární taktiky v případě nebezpečí vzniku backdraftu je včas detekovat možnost backdraftové situace. Příznaky hrozícího backdraftu a možnosti jejich zhodnocení jsou uvedeny v kapitole 6.3 a 6.4.

### **7.3.1 Defenzivní taktické postupy**

Základním pravidlem je používání ochranných prostředků, které ochrání uživatele před účinky požáru – tepelným tokem, horkými a toxickými zplodinami hoření, padajícími předměty apod. Hasič, který by mohl být ohrožen backdraftem, musí být vybaven zásahovým oděvem, rukavicemi a obuví, přilbou a dýchacím přístrojem.

Dalším pravidlem je opatrnost při vytváření vstupních otvorů (otevírání dveří, oken) a otvorů pro provedení zásahu (rozebírání podhledových konstrukcí), kdy je riziko vzniku backdraftu nejvyšší (viz. články 5.5.2.a 5.5.3). Preventivním opatřením při každém otevření dveří je nestát proti otevřeným dveřím. Vhodné je stát za rohem nebo se alespoň přikrčit. V případě podezření na backdraftovou situaci se doporučuje chránit hasiče zavodněným vodním proudem. Dunn v [L4] doporučuje dva následující postupy:

- Hasič v plné ochranné výstroji namíří vodní proud ještě před otevřením dveří do místa proudu předpokládaných horkých zplodin hoření. Po otevření dveří voda tyto zplodiny hoření ochladí a srazí tok zplodin hoření.
- Pokud předchozí postup není z nějakého důvodu možný, navrhuje Dunn jiný způsob ochrany hasičů. Do prostoru se vniká oknem. Před vniknutím se připraví dva vodní proudy, které z obou stran pokryjí předpokládanou otevřenou plochu. Poté se skleněná výplň rozbije.

Nejúčinnějším preventivním opatřením, které je však obvykle obtížné použít, je přirozená ventilace (viz. článek 5.5.4). Pokud je nad prostorem vyplněným zplodinami světlík nebo vikýř, je vhodné ho (při zachování předchozích opatření) otevřít nebo rozbít. Horké zplodiny hoření, které jsou ve vznosu, vzniklým otvorem uniknou vzhůru a backdraft při otevření dveří nemůže nastat. Pokud nastane při otevření světlíku, výšleh a tlakové účinky se rozptýlí do prostoru a hasiči nejsou ohroženi.

### 7.3.2 Ofenzivní taktické postupy

Vzniku backdraftu lze zabránit obecnými hasebními postupy. Jako každá termooxidační reakce potřebuje ke svému průběhu 3 základní podmínky – okysličovadlo, zdroj energie (teplo) a vlastní hořlavou látku. Pokud je odstraněna alespoň jedna z těchto podmínek, přeruší se hoření (resp. nenastane backdraft). Vzhledem k tomu, že kyslíku je ve vzduchu vždy dostatečné množství a zabránit jeho průniku do otevíraného prostoru je nemožné, zbývají další dva postupy – odstranění zplodin hoření a pyrolýzních produktů z prostoru, kam hasiči hodlají proniknout (či snížení jejich koncentrace pod dolní mez výbušnosti) anebo ochlazení vrstvy kouře na takovou teplotu, že backdraft nenastane. Oba obecné postupy a jejich taktické varianty rozvedu dále.

#### Větrání

Snížení koncentrace výbušných plynů vzniklých při požáru pod dolní mez výbušnosti (a současné snížení teploty) je možno provést dvěma způsoby.

Přirozená ventilace, která využívá nižší specifické hustoty horkých zplodin hoření a popřípadě tzv. komínový efekt, je částečně popsána v kapitolách 5.5.4 a 7.3.1. Její princip je založen na tom, že plyny v prostoru zasaženém požárem jsou vůči okolnímu vzduchu silně zahřáté a v přetlaku. Mají tedy tendenci při vytvoření jakéhokoliv ventilačního otvoru unikat ven. Tento výron plynů bude nejintenzivnější u nejvýše položených otvorů (jejich částí), kde se uplatní oba vlivy (hustota i tlak). Je to vidět na obrázcích 4 a 5, grafu 6 a vyplývá z toho i taktický postup při otevírání otvorů – příkrčení.

Při vytvoření jediného otvoru v nejvyšší části zasaženého prostoru budou plyny unikat tak dlouho, dokud se nevyrovnají tlaky uvnitř a vně prostoru. Další únik plynů bude způsobován pouze ohříváním místnosti z důvodu pokračujícího hoření.

Pokud budou vytvořeny otvory dva (v nejnižším a nejvyšším místě), bude výměna plynů intenzivnější, protože mimo úniku horkých plynů výše umístěným otvorem bude do prostoru vnikat čerstvý vzduch spodním otvorem. Po vyrovnání tlaků se ustálí tzv. neutrální rovina (rovina na níž je tlak roven vnějšímu tlaku vzduchu). Další výměna plynů bude pomalejší a po ochlazení kouře se téměř zastaví.

Zejména u výškových budov se projevuje tzv. komínový efekt, který je způsoben rozdílnými hodnotami tlaku vzduchu na různých výškových úrovních. Tento rozdíl podporuje intenzitu výměny plynů a takové větrání je mnohem účinnější. Přináší však



také problémy, protože je komplikovanější. Grimwood v [L10] uvádí několik případů, kdy komínový efekt při požáru výškových budov (popisované měly 10 až 15 poschodí) způsobil rozbití skleněných výplní v obvodových konstrukcích a „zpětné šlehnutí“, po kterém se požár rozšířil o dvě až pět poschodí dolů. Hasiči takový následek nečekali a byli zraněni. Využívání komínového efektu u vysokých budov by proto mělo být prováděno velmi obezřetně.

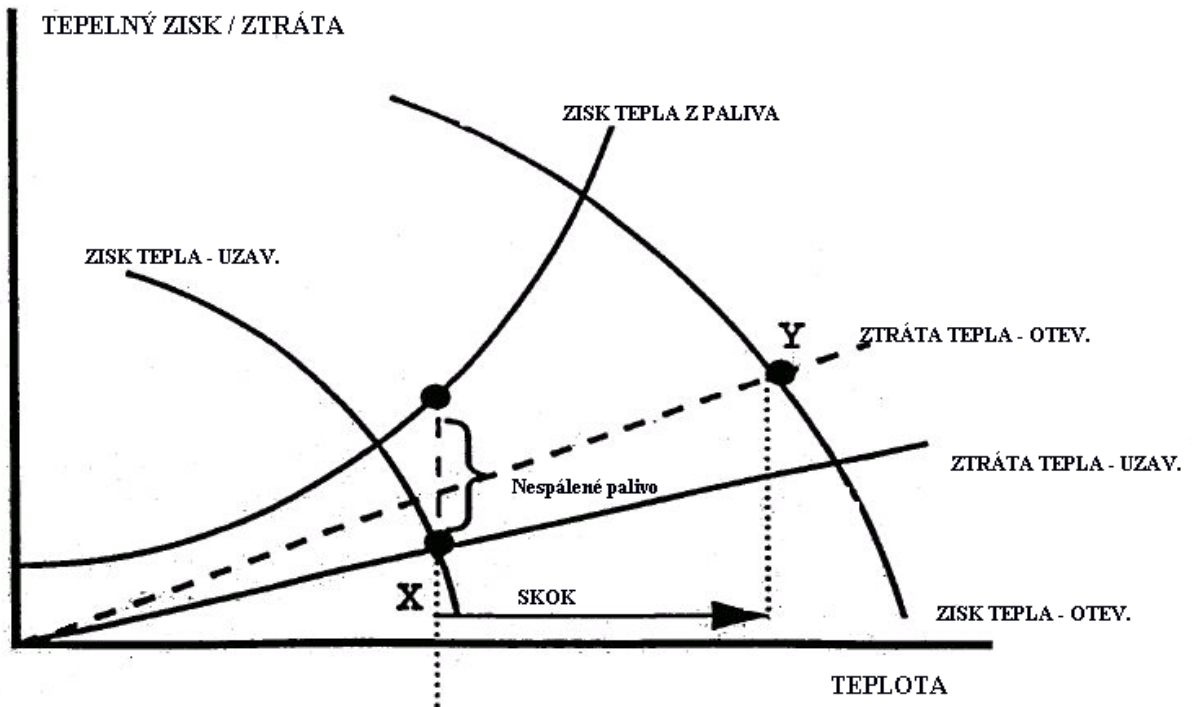
Přetlaková ventilace je používána od 50. let 20. století. Svým principem připomíná komínový efekt. Rozdíl je v tom, že tento efekt vyvoláváme technickými prostředky a působí nejen ve vertikálním ale i v horizontálním směru. Jako zdroj tlaku vzduchu používáme ventilátory, které vhání vzduch pod tlakem do budovy. Vzniklý proud vzduchu potom pístovým efektem a prouděním vytlačuje zplodiny hoření vytvořeným odváděcím otvorem ven.

Při vytváření odváděcího otvoru je nutné dodržovat bezpečnostní pravidla, uvedená v článku 7.3.1, protože při něm může dojít k backdraftu. Vlastní proces větrání provází riziko zvýšení pravděpodobnosti vzniku a rozšíření nebezpečné koncentrace hořlavých plynů, jak je vidět z článku 5.5.5 (obrázek 15). Pokud je však přetlaková ventilace provedena správným způsobem, tj. otvory pro přívod a odvod vzduchu byly vytvořeny ve správném pořadí, jsou vhodně situovány a mají přiměřené rozměry, toto nebezpečí rychle pomíjí (viz. porovnání obrázků 15 a 16). Porovnání přetlakové a přirozené ventilace včetně jejich vlivu na možnost vzniku backdraftu bylo popsáno např. v [L14].

Nevhodně provedená přetlaková ventilace (viz. článek 5.5.6) značně zvyšuje nebezpečí vzniku backdraftu, protože ještě podporuje přirozený proces vnikání vzduchu do místnosti a jeho promíchávání se zplodinami hoření, čímž může vzniknout výbušná směs. Nebezpečí spojená s odvětráváním zakouřeného prostoru v různých fázích požáru jsou znázorněna i na grafech 7 a 8 [L11]. Ty ukazují průběh křivek uvolňování a ztrát tepla. Změny teploty v místnostech jsou prezentovány na bodech X, Y a Z, které znamenají ustálené stavy, tj. stavy, kdy je za daných podmínek teplo uvolňované požárem shodné s teplem, které se sdílí prouděním mimo prostor.

Jak je vidět z grafu 7, je možno iniciovat flashover zvýšenou (dostatečnou) ventilací. Na grafu jsou znázorněny dvě úrovně intenzity ventilace. První je „zisk tepla v uzavřeném prostoru“, který reprezentuje nárůst teploty při požáru v prostoru s malými ventilačními otvory. Za těchto podmínek se požár blíží k stabilnímu stavu

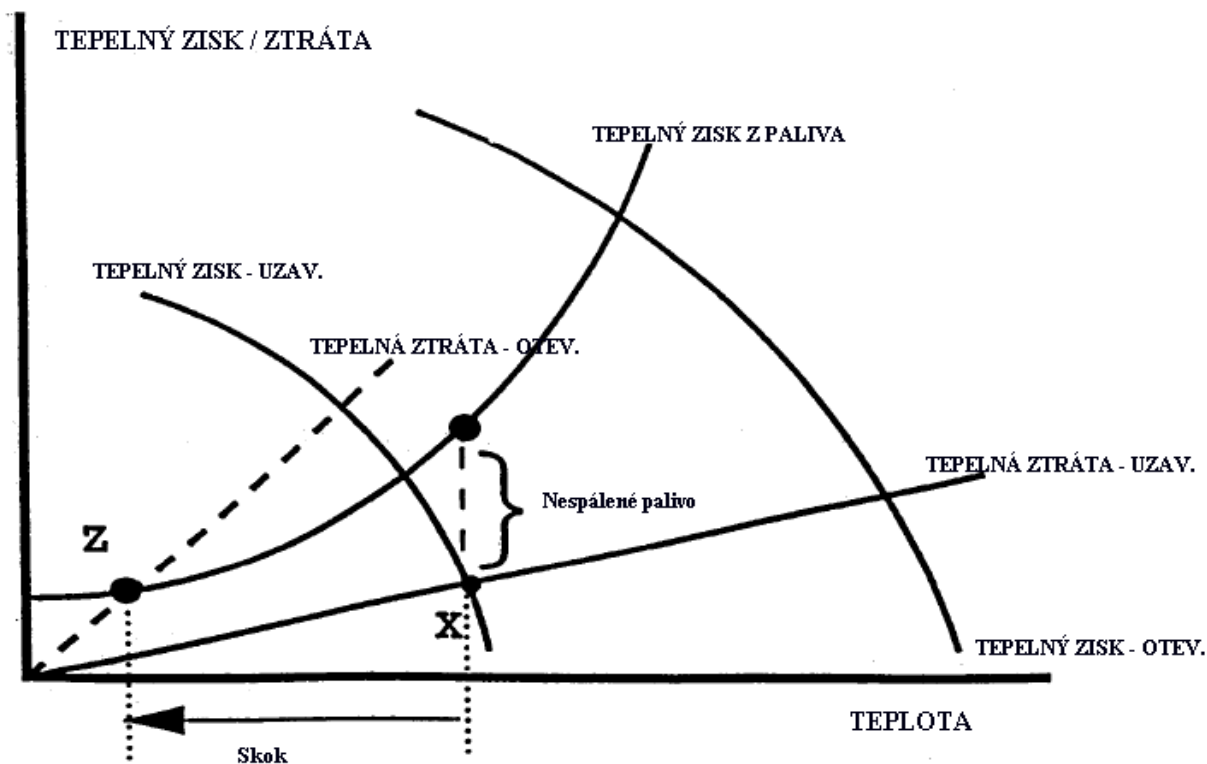
reprezentovanému bodem „X“ (průsečík křivky zisku tepla a přímky ztráty tepla – obojí v uzavřené místnosti).



Graf 7 – Flashover s následným backdraftovým potenciálem [L11]

V případě otevření prostoru dojde ke zvýšení intenzity ventilace a tím ke zvýšení ztrát tepla prouděním otvory. Stabilní stav je pak reprezentován bodem „Y“. Vlastní flashover je znázorněný „skokem teplot“ mezi body X a Y. Výsledkem flashoveru je konečné zvýšení teploty.

Rozdíl mezi křivkami potenciálního zisku tepla z paliva a bodem X na křivce zisku tepla v uzavřeném prostoru je v grafu znázorněn jako „nespálené palivo“. Rozdíl vzniká ještě před změnou charakteru ventilace a je způsoben uvolněním pyrolýzních produktů, které okamžitě neshoří a jsou palivem v případě vzniku backdraftu. Jejich množství ve stavu vyjádřeném bodem Y je samozřejmě vyšší.



Graf 8 - Větrání prostoru s potenciálem backdraftu [L11]

Větrání prostoru s možností vzniku backdraftu je vidět z grafu 8. Ten začíná při stejných podmínkách požáru jako graf 7, tedy ve stejné uzavřené místnosti a v ustáleném stavu, znázorněném bodem „X“. Rozdíl je v přímce znázorňující „ztrátu tepla při otevření místnosti“, která má mnohem strmější charakteristiku. Pak dojde při zvýšení ventilace ke skoku z bodu X do bodu „Z“ (stav, kdy je veškeré teplo uvolněné z paliva odvedeno).

Narozdíl od flashoveru, kde dochází ke skoku mezi dvěma úrovněmi vzniku (zisku) tepla, dojde u backdraftu ke skoku mezi dvěma úrovněmi odvedení (ztráty) tepla v závislosti na ventilaci.

Tímto je znázorněn úspěšný pokus o odvětrání nebo ochlazení prostoru, kdy byly vytvořeny dostatečně velké otvory a vznikla velká tepelná ztráta. Došlo k poklesu teploty a odvedly se veškeré nepálené produkty pyrolýzy.

Podobně by vypadal i graf po proběhnutí backdraftu (neúspěšném větrání). Konečný výsledek by byl stejný. Rozdíl by byl v průběhu teploty v čase vlastního backdraftu (nejprve prudký nárůst a potom pokles).

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že přetlaková ventilace může být za podmínky správného použití velice účinným prostředkem pro snížení pravděpodobnosti

ohrožení hasičů backdraftem. Proto je před jejím použitím nezbytně nutný praktický výcvik v podmínkách, které by realisticky simulovaly podmínky při zásahu. Tato okolnost ve spojení s často konzervativním založením velké části hasičské veřejnosti je příčinou toho, že tato již více než 50 let stará metoda je dosud u nás podceňována a málo využívána.

### **Snížení teploty**

Snížení teploty v zasaženém prostoru je jedním z efektů odvětrávání. Pokud chceme užít ochlazování jako hlavní způsob zabránění vzniku backdraftu, je nejvhodnějším prostředkem aplikace vhodného chladícího média. Nejvhodnějším hasivem, které lidé používají od té doby, co se poprvé pokusili o uhašení ohně, je voda. Vodu lze aplikovat různými způsoby a přidávat do ní různé přísady, které zlepšují její vlastnosti. V dalším textu nastíním charakteristiky a možnosti různých forem dodávky vody.

Nejobvyklejší formou aplikace vody je její dodávání na požářiště přímo ve formě plného proudu. Skupenské teplo výparné je u vody  $2257 \text{ kJ.kg}^{-1}$ . Grimwood v [L9] a [L10] uvádí teoretickou chladicí schopnost vody 2,6 MW při dodávce jednoho litru za sekundu. Této schopnosti však podle něj nelze v praxi dosáhnout a reálná dosažitelná chladicí schopnost vody při této dodávce je 0,84 MW. Reálné hodnoty chladicí schopnosti při různých dodávkách vody udává tabulka 2.

Dodávka vody ( $\text{l.min}^{-1}$ )	50	100	150	200	300	550	800	1000
Chladicí schopnost vody (MW)	0,69	1,39	2,10	2,79	4,20	7,69	11,19	13,99

**Tabulka 2 – Chladicí schopnosti vody při různých intenzitách její dodávky**

Nevýhodou používání plných proudů je značné množství vody (až 80 %), které bez užitku odtéká pryč. S tímto způsobem požárního útoku počítají zejména hasiči v USA, kde je u každého požáru počítáno s dodávkou na naše poměry obrovského množství vody, která má požár doslova „utopit“.

Druhou možností je nepřímá dodávka, kdy je voda ve formě roztříštěného proudu aplikována na horké povrchy zdí a stropu, kde se odpařuje a vytváří 1700-násobek objemu páry ve srovnání s původním objemem vody. Pára, která dosáhne koncentrace

10 až 35 % obj. způsobuje zředění původní koncentrace hořlavých plynů. Účinek takto aplikované vody je podstatně větší než u předchozího způsobu a to způsobuje i menší škody způsobené hasební vodou. Rizikem je tlak, který vzniklá pára vyvine. Ten může vrhnout horkou páru a zplodiny hoření proti hasičům a tím je ohrozit. Dále je možné vytlačení tepla a plamenů mimo doposud zasažené prostory a ohrožení dalších osob. Z těchto důvodů je zatím často převládající používání plných proudů.

Poslední možností dodávky vody je její aplikace ve formě vodní mlhy. Ta je na rozdíl od předchozích metod dodávána na objem místnosti. Její výhody a aspekty používání uvádějí Oster a Wiseman v [L12]:

- Chladicí schopnost vody (absorbce tepelné energie a následná fázová změna) je úměrná jejímu povrchu. Nejlepší je roztříštění na stejně velké kapičky o průměru 0,3 až 1 mm. Při průměru 0,3 mm narůstá povrchová plocha 1400-násobně.
- chladicí schopnost vody závisí na rychlosti, kterou se chladicí médium pohybuje okolo horkých povrchů a plamene. Kapičky jsou pomalejší než plný proud a tak chladí více. Proto je používání mlhových proudnic více než 1000x efektivnější než používání proudnic na kompaktní proudy.

Dále uvádějí, že (po přepočtu na jednotky SI) postačuje 1 dm<sup>3</sup> vody ve formě vodní mlhy ke kontrole 1,5 m<sup>3</sup> prostoru zasaženého požárem. Vychází to z předpokladu, že 1 litr vody vyprodukuje 1500 litrů páry a zároveň absorbuje teplo, které vyprodukuje termooxidační reakce s kyslíkem, který je obsažen v 1500 litrech vzduchu.

Grimwood v [L9] a [L10] naproti tomu podporuje tzv. ofenzivní hašení vodní mlhou, které nemá úplně uhasit požár, ale zajistit maximální ochranu zasahujících hasičů proti flashoveru a backdraftu. Dále uvádí, že efektivita takového užívání vodní mlhy je při praktickém použití asi 41 % a běžná dodávka vody ve formě mlhy je pro objekty kancelářského typu asi 0,5 l.min<sup>-1</sup>.m<sup>-3</sup>. Doporučuje používat pro prvotní zásah proudnici s průtokem až 450 l.min<sup>-1</sup>.

Postup pro hašení požáru s nebezpečím backdraftu je následující:

- pootevření dveří – jeden hasič otevírá a druhý s mlhovou proudnicí je přikrčen u vytvořeného otvoru,

- hasič s proudnicí vyše do prostoru krátký puls vodní mlhy (viz. obr. 19 z [www.firetactics.com](http://www.firetactics.com)),
- druhý hasič rychle zavře dveře,
- po chvíli se celý postup opakuje, dokud si hasiči nejsou jisti, že situace je již bezpečná.

Zásady pro hašení:

- hasiči musí být vybaveni ochrannými oděvy a dýchacím přístrojem,
- hasiči, kteří provádějí hašení, by měli být jištěni dalším vodním proudem,
- dveře se otevírají co možná nejméně,
- délka pulsu vodní mlhy je ideální v rozmezí 0,1 až 0,5 s (backdraft nenastává okamžitě po vytvoření otvoru),
- puls vodní mlhy musí směřovat úhlopříčně od podlahy u dveří do nejbližšího horního rohu místnosti - po nejdelší možné cestě (tak se nejvíce využije jeho potenciálu),
- nestříkat na stěny a stropy – je třeba ochlazovat kouřovou vrstvu,
- mezi jednotlivými pulsy je vhodné počkat minimálně 10 až 20 sekund – teplota v prostoru se po uzavření otvoru snižuje i bez hasebního zásahu (viz. tabulku 3 podle [L9]),

Činnost	Místo měření teploty	Teplota na počátku (°C)	Teplota po 20 sekundách (°C)
Uzavření vstupních dveří	Strop	800	600
	1,524 m nad podlahou	800	400
	0,9144 m nad podlahou	600	300
Otevření vstupních dveří	1,524 m nad podlahou	400	800
Opětné uzavření vstupních dveří	1,524 m nad podlahou	800	450

**Tabulka 3 – Změny teplot v závislosti na otevírání a zavírání ventilačního otvoru v pokusném kontejneru**

- není třeba spěchat s vniknutím do místnosti – pokud je požár v takovém stádiu rozvoje, že hrozí vznik backdraftu, je pravděpodobnost přežití osob v zasaženém prostoru nulová.



**Obr.19 – Vytváření pulsu vodní mlhy**

Hlavní nevýhodou hašení vodní mlhou je nutnost velkých zkušeností, praktického výcviku a dokonale zvládnuté práce s proudnicí.

Problémy, které vznikají při vytváření otvorů pro účely požárního zásahu, by mohlo v některých případech pomoci vyřešit zařízení vyvinuté ve Švédsku, o němž se zmiňují Gojkovic a Bengtsson v [L8]. V angličtině je nazýváno „cutting extinguisher“ – řezací a hasící přístroj. V principu jde o zařízení, které pomocí tlakové vody (300 barů) s přidavkem abrazivních částic dokáže řezat různé materiály nebo hasit vodou (viz. obr. 20). V současnosti je jedno z těchto zařízení používáno HZS hl. města Prahy. Tímto zařízením by bylo možno vyříznout malý otvor do dveří nebo do vhodných stavebních konstrukcí a vzniklým otvorem dodávat do uzavřeného prostoru vodu.



**Obr. 20 – Řezací a hasící přístroj [L8]**

Popsaný přístroj je schopen dodávat vodní mlhu o velikosti kapek přibližně 0,1 mm, takže chladicí efekt by byl velice dobrý (podobně jako u vodní mlhy). Pokud dojde k odpaření veškeré dodané vody, dojde k rychlému zchlazení značného objemu kouře - viz. tabulku 4 z [L9].

původní teplota plynů (°C)	200	300	400	500	600	800
objem plynů ochlazených za 1 sekundu na 100°C	25	15	12	10	9,3	8,2

**Tabulka 4 – Objem plynů zchlazených za 1 sekundu na teplotu 100 °C**



Za největší nevýhodu používání řezacího a hasícího přístroje považuji to, že pokud budou před vytvořeným otvorem překážky bránící průniku vody do celého objemu místnosti, bude chladicí efekt značně snížen. To, že neuhasí požár úplně, neberu jako nevýhodu. Pokud zabrání vzniku backdraftu, nebude už pro hasiče problém uhasit zbylá ohniska požáru. Rovněž obavy autorů o bezpečnost lidí uvnitř jsou podle mého názoru zbytečné. Jak jsem již uvedl, žádní živí lidé tam již být nemohou.

#### **7.4 Výcvik taktických postupů v situaci hrozícího backdraftu**

Teoretická a praktická příprava má pro bezpečnost zasahujících hasičů a pro efektivní provedení zásahu zásadní význam. Teorie musí hasiče naučit zejména správně rozeznat příznaky backdraftové situace a poučit je o provádění defenzivních taktických postupů. Praxe by měla být zaměřena na používání technických prostředků, zejména přetlakových ventilátorů a mlhových proudnic. Výcvik PPV by měl probíhat ve vhodných prostorách a se zakouřením. V žádném případě nestačí spustit ventilátor na volném prostranství a přesvědčit se že funguje. Nepřípravení hasiči pak použijí ventilátor špatně a pokud to přímo nezpůsobí velké komplikace při zásahu, pak je to v nejlepším případě přesvědčí o tom, že je to přístroj k ničemu. Potom ho už budou jen převážet na zásahovém vozidle.

Za vhodný prostředek pro praktický výcvik považuji backdraftové a flashoverové kontejnery, které používají např. hasiči v západní a severní Evropě (viz článek 4.7 a obr. 6 a 21). Na nich si mohou hasiči bezpečným způsobem vyzkoušet, jak tyto jevy v praxi vznikají, jak vypadají, jak se projevují a jak se proti nim lze chránit.

#### **7.5 Závěrečné shrnutí taktických postupů**

Výběr použité taktiky závisí na situaci po příjezdu jednotky na místo zásahu. Pokud budova zasažená požárem skýtá nebezpečí vzniku backdraftu, musí se na to na základě předchozího výcviku připravit. Použití konkrétní taktiky závisí zejména na případném ohrožení lidských životů, které zvyšuje význam faktoru času. Taková situace nutí hasiče podstupovat větší riziko při taktickém postupu, který je rychlejší ale nebezpečnější.

Používání technických prostředků, jako je například přetlakový ventilátor, musí být vázáno na předchozí zkušenosti a kvalitní výcvik. Nevýhodou je i to, že je nutné nasadit větší síly, které nejsou často k dispozici.

Pokud není zjištěno bezprostřední ohrožení osob, je nejvýhodnější použít defenzivní typy taktiky, protože při jejich provedení hrozí jen velmi malé riziko zranění.



**Obr. 21 - Výcvik hasičů na backdraftovém kontejneru**

## 8.ZÁVĚR

Problematika backdraftu je, stejně jako problematika všech jevů souvisejících s požárem, velice složitá a komplexní a přesahuje možnosti jednotlivce. Na jejím řešení pracují vědecká pracoviště na celém světě a výsledky jejich činnosti v praxi využívá jak požární represe, tak i prevence.

Teoretický rozbor průběhu požáru je vcelku dobře prostudovaná problematika, takže jsem měl k dispozici značné množství podkladů.

Dynamika vlastního backdraftu je zatím poměrně málo zkoumaná. Zatím provedené praktické pokusy sice potvrzují teoretické předpoklady, ale bylo by vhodné provádět další zkoušky s hořlavými hmotami, které se nacházejí v místech skutečných požárů. Také by bylo vhodné prostudovat změny rozměrů a rozvržení kontejnerů tak, aby reálně simulovaly např. byty s více pokoji. Za potřebné považuji umístění kontejnerů jinam než na volné prostranství, aby bylo možno zkoumat jeho následky v budovách. Takový výzkum bude samozřejmě velice nákladný a problematický, takže nepředpokládám jeho významný rozvoj v našich podmínkách. Dosavadní znalosti nicméně umožňují navrhnout bezpečné a účinné postupy při zdolávání požárů s nebezpečím backdraftu

Modelování průběhu požáru (včetně nelineárních jevů) je v současnosti ve stádiu vývoje. Některé jevy modelovatelné jsou – pohyb kouře, sdílení tepla. Jiné naopak zatím pro svou složitost a nedostatek podkladů počítačově simulovat nelze – pyrolýza, výbuch, vlastní backdraft. Hodnocení a porovnání reálných situací pomocí simulací je tak omezeno na porovnání dějů, které skrývají riziko následného vzniku backdraftu (vytváření nebezpečných koncentrací hořlavých plynů). Přesto i tato porovnávání a jeho závěry korespondují s praktickými zkušenostmi a je možné je použít při plánování taktik zásahu.

Taktické postupy vycházejí hlavně ze znalostí projevů backdraftu. Ty jsou založené na praktických zkušenostech a fyzikálních zákonech (zejména defenzivní postupy). Pomalu se však v taktice zásahu v situaci backdraftu začínají používat nové postupy vyplývající z nových poznatků a vývoje technických prostředků (přetlaková ventilace, pulsní hašení vodní mlhou).

Používání nových ofenzivních taktických postupů ovšem vyžaduje dobrou přípravu. Jejich nasazení je vzhledem k rizikům, která při nich mohou nastat, podmíněno kvalitním teoretickým a praktickým výcvikem. K teoretické přípravě by mohla napomoci i tato práce, pokud se informace v ní obsažené (a dále rozvíjené) dostanou

k široké odborné veřejnosti. Úplný praktický výcvik není myslitelný bez používání backdraftových kontejnerů, které umožňují „horký trénink“. Nepochybně by stálo za úvahu rozvinout koncepci jejich přípravy a používání i v podmínkách ČR. Spíše než k výcviku hašení by podle mého názoru měly sloužit pro předvedení příznaků backdraftu a možnosti ochrany před jeho účinky.

Mým cílem bylo vytvořit práci, která by v co největší šíři pokryla jev, zvaný backdraft a maximum aspektů zásahu v situaci, kdy může nastat. Tím byla samozřejmě značně omezena možnost detailního zpracování jednotlivých kapitol. Snažil jsem se získat nejnovější informace o výzkumu, které jsou k dispozici a vytvořit práci, na jejímž základě by mohl pokračovat další výzkum v ČR a která by se mohla stát podkladem pro výuku odborníků na požární ochranu a jejich prostřednictvím pro následnou přípravu členů jednotek PO. Smyslem této práce je pomoci zvýšit bezpečnost zasahujících hasičů a kvalitu a rychlost zásahu při požárech.

## SEZNAM LITERATURY:

- [L1] Balog K., Kvarčák M., *Dynamika požáru*, SPBI Spektrum, 1. vyd., Ostrava, 1991, 96 s., ISBN 80-86111-44-X
- [L2] Bukowski R.W., *Modelling a Backdraft Incident: The 62 Watts St. (NY) Fire*, NIST, Building and Fire Research Laboratory, Gaithersburg, MD, USA, dostupné na [www.firetactics.com/watts\\_fj](http://www.firetactics.com/watts_fj)
- [L3] Drysdale D., *An Introduction to Fire Dynamics – Second Edition*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1999, 451 s., ISBN 0-471-97290-8
- [L4] Dunn V., *December Newsletter – Backdraft and flashover, what is the difference?*, dostupné na <http://vincentdunn.com/dunn/newsletters>
- [L5] Fleischmann C. M., *Backdraft Phenomena*, NIST-GCR-94-646, University of California, Berkley, USA, 1994
- [L6] Fleischmann C. M., Mac Grattan K. B., *Numerical and experimental gravity currents*, NIST, Building and Fire Research Laboratory, Gaithersburg, MD, USA, 1999, dostupné na [www.fire.nist.gov/fds\(fds99\)](http://www.fire.nist.gov/fds(fds99))
- [L7] Gojkovic D., *Initial Backdraft Experiments*, Report 3121, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Švédsko, 2000, 54 s., ISSN 1402-3504, dostupné na [www.brand.lth.se/english](http://www.brand.lth.se/english)
- [L8] Gojkovic D., Bengtsson L., *Some Theoretical and Practical Aspectst on Fire Fighting in A Backdraft Situation*, Department of Fire Safety Engineering, Lund University a Helsingborg Fire Department, Švédsko, 2001, dostupné na [www.firetactics.com/interflam2001paper](http://www.firetactics.com/interflam2001paper)
- [L9] Grimwood P., *Flashover & Nozzle Techniques*, Crisis & Emergency Management Centre, Destelbergen, Nizozemí, 2002, dostupné na [www.cemac.org](http://www.cemac.org) nebo na [www.firetactics.com/CEMAC-FLASH&NZZLE](http://www.firetactics.com/CEMAC-FLASH&NZZLE)
- [L10] Grimwood P., *Compartment Firefighting Strategy & Tactics*, příspěvek z Irish IFE Conference, Limerick, 1998, doplněno 2000, dostupné na [www.firetactics.com/IFE1998](http://www.firetactics.com/IFE1998)
- [L11] Chitty R., *A Survey on Backdraught*, Fire Research and Development Group, Fire Research Reports and Memoranda 5/94, Londýn, UK, 1994, ISBN 1-85893-191-6, dostupné na [www.firetactics.com/BACKDRAFT-CHITTY-UK](http://www.firetactics.com/BACKDRAFT-CHITTY-UK)
- [L12] Oster G., Wiseman J. D., *Balanced Fire Attack – Using the Task Force Tips Automatic Fog Nozzles*, dostupné na [www.firetactics.com/Balanced Fire Attack](http://www.firetactics.com/Balanced Fire Attack)
- [L13] Raffel S., *Reading the Fire*, dostupné na [www.firetactics.com/reading\\_the\\_fire](http://www.firetactics.com/reading_the_fire)

- [L14] Tuomisaari M., *Smoke Ventilation in Operational Fire Fighting*, VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology, VTT Publications 326, Espoo, Finsko, 1997, ISBN 951-38-5201-4, dostupné na [www.inf.vtt.fi/pdf](http://www.inf.vtt.fi/pdf)
- [L15] Waterson N. P., *Modelling Fire and Smoke Spread in Enclosed Spaces*, prezentace z konference 1st. QNET – CFD Workshop on Quality and Trust in CFD, Athény, Řecko, 2001, dostupné na [www.qnet-cfd.net/workshop/1st/pdf](http://www.qnet-cfd.net/workshop/1st/pdf)
- [L16] *Backdraft in Commercial Building Claims the Lives of Two Fire Fighters, Injures Three, and Five Firefighters Barely Escape - Illinois*, dostupné na [www.firetactics.com/NIOSH ILLINOIS](http://www.firetactics.com/NIOSH ILLINOIS) nebo [www.cdc.gov/niosh](http://www.cdc.gov/niosh)
- [L17] *Single-Family Dwelling Fire Claims the Lives of Two Volunteer Fire Fighters – Ohio*, dostupné na [www.firetactics.com/NIOSH OHIO](http://www.firetactics.com/NIOSH OHIO) nebo [www.cdc.gov/niosh](http://www.cdc.gov/niosh)
- [L18] Madrzykowski D, Vettori R.L. – *Simulation of the Dynamics of the Fire at 3146 Cherry Road NE, Washington, DC, May 30, 1999*, NIST, Building and Fire Research Laboratory, Fire Safety Engineering Division, NISTIR 6510, Gaithersburg, MD, USA, 2000, dostupné na [www.firetactics.com/CHERRY ROAD FIRE](http://www.firetactics.com/CHERRY ROAD FIRE)
- [L19] *Fire Modelling*, dostupné na [www.firetactics.com/FIRE-MODELLING](http://www.firetactics.com/FIRE-MODELLING)
- [L20] *Modelling fo Fire and Fire Related Phenomena*, University of Ulster, Faculty of Engineering & Built Environment, UK, 2001, dostupné na [www.engj.ulst.ac.uk/FIRESERT/modelling](http://www.engj.ulst.ac.uk/FIRESERT/modelling)
- [L21] *Modelling of Flashover and Backdraught Using Fire Fields Models*, dostupné na <http://fseg.gre.ac.uk/fire/Projects>
- [L22] *Applications to Industry*, dostupné na [www.uclan.ac.uk/facs/destech/builtinv/firecentre/expertis](http://www.uclan.ac.uk/facs/destech/builtinv/firecentre/expertis)
- [L23] *SOFIE Homepage*, dostupné na [www.cranfield.ac.uk/sme/sofie/](http://www.cranfield.ac.uk/sme/sofie/)
- [L24] Pope N., *A dynamic approach to safety*, časopis Fire Prevention & Fire Engineers Journal, str. 33 – 36, May 2002

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 – Vývoj backdraftu v backdraftovém kontejneru [L7]

Příloha 2 – Simulace skutečné události v Amsterdamu (červen 1997) – nástupiště [L15]

Příloha 3 – Simulace skutečné události v Amsterdamu (červen 1997 – hala [L15]

**Příloha 1. – Vývoj backdraftu v backdraftovém kontejneru [L7]**



**Plyny v kontejneru byly iniciovány**



**Neshořelé plyny jsou teplotní expanzí vytlačovány z kontejneru**



**Obr. 8. - Nespálené plyny hoří jako ohnivá koule**



**Příloha 2 – Simulace skutečné události v Amsterdamu (červen 1997) – nástupiště [L15]**



**Počáteční stav na nástupišti**



**Stav po 5 minutách**

**Příloha 3 – Simulace skutečné události v Amsterdamu (červen 1997) - hala [L15]**



**Hala po 10 minutách**



**Hala po 15 minutách**



**Hala po 20 minutách**



**Stav po 10 minutách**