

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva

Technika hašení požárů v uzavřených prostorech

Student: Petr Ošlejšek

Vedoucí diplomové práce: Ing. Marek Sobek

Studijní obor: Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

Datum zadání diplomové práce: 17.října 2007

Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2008

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.

V Mostkovicích dne 15. dubna 2008

Petr Ošlejšek

.....

Poděkování

Děkuji panu Ing. Marku Sobkovi za odborné vedení diplomové práce, panu Ing. Petru Ošlejškovi a panu Ing. Ivo Jahnovi za poskytnutí materiálů a odbornou pomoc, vedoucích k řešení bakalářské práce.

Anotace

OŠLEJŠEK, P. *Technika hašení požárů v uzavřených prostorech*: Bakalářská práce. Ostrava VŠB-Technická Universita Ostrava, 2008. 51s.

Klíčová slova: uzavřené prostory, likvidace požáru, technika 3D vodní mlhy, aplikace hasiva, požární taktika, Flashover, Backdraft.

Bakalářská práce se zabývá problematikou techniky hašení požárů v uzavřených prostorech.

V první části práce je uveden popis chování požáru v uzavřených prostorách od jeho vzniku, postupné rozšiřování, a jevy spojené s těmito požáry. V další části jsou uvedeny obecné principy hašení požárů jednotkami požární ochrany. Dále následuje analýza současných poznatků o hašení požárů v uzavřených prostorách v ČR a v zahraničí a používaných technik. V závěru práce je zvolena optimální technika hašení požárů v uzavřených prostorech použitelná v ČR, která je popsána včetně technických prostředků a výcviku.

Annotation

Ošlejšek, P. *The method of fire-fighting in closed places*. Bachelor Paper. Ostrava VŠB - Technical University of Ostrava, 2008, 51p

Key words: closed places, fire adjustment, three-dimensional technology of water fog, application of fire extinguisher, fire tactic, Flashover, Backdraft

The bachelor paper deals with problems concerning the method of fire-fighting in closed places.

First part of the paper includes the description of fire behaviour in closed places since its beginning, it investigates the gradual spread and certain events connected with the fire. Second part states general principles of fire-fighting used by fire services. The analysis of present-day information about fire-fighting in closed place in the Czech Republic and abroad follows including the methods used. Final part suggests an ideal method of fire-fighting applicable in the Czech Republic in closed places including the use of technical instruments and training.

Obsah

1	Úvod	6
2	Rešerše literatury	8
3	Statistika požárů v České republice	10
3.1	Požáry podle vybraných odvětví	10
3.2	Škody při požárech	11
3.3	Zranění a usmrcení při požárech	11
4	Specifikace požárů v uzavřených prostorech	13
4.1	Volný rozvoj požáru	13
4.2	Produkty hoření a jejich vlastnosti, proudění plynů při požáru	14
4.3	Vliv stavebních konstrukcí na rozvoj požáru	16
4.4	Požáry řízené ventilací	17
4.5	Flashover	18
4.6	Smoke Explosion	19
4.7	Backdraft	20
5	Vybraná nebezpečí působící na zasahující hasiče při požáru	22
5.1	Tepelné záření	22
5.2	Nebezpečí ztráty orientace	23
5.3	Nebezpečí opaření	24
5.4	Nebezpečí zřícení konstrukcí	25
5.5	Nebezpečí vyvolané specifickými jevy při požárech v uzavřených prostorech	27
6	Hašení požárů jednotkami požární ochrany	29
6.1	Metody hašení	29
6.2	Voda jako hasební látka	30
6.3	Hasební efekty vody	31
6.4	Aplikace vody na požár	31
7	Hašení požárů v uzavřených prostorech v ČR - současný stav	33
7.1	Metodika hašení požárů v uzavřených prostorech	33
7.2	Vývoj technik hašení požárů v uzavřených prostorech s ohledem na ochranné a technické prostředky	33
8	Zkušenosti z hašení požárů v uzavřených prostorech v zahraničí ..	35
8.1	3D vodní mlha	36
8.2	Vývoj metod hašení požárů v uzavřených prostorech v zahraničí	38
9	Porovnání užívaných technik	39
10	Výběr vhodné techniky pro hašení požárů v uzavřených prostorech, využitelné v České republice	41
10.1	Technické prostředky a osobní ochranné pomůcky nutné pro užití metody hašení 3D vodní mlhou	42
10.2	Taktika vedení zásahu při užití 3D vodní mlhy	43
10.3	Výcvik	45
10.3.1	Praktický výcvik ve Flashover kontejneru podle [16]	46
11	Závěr	46
	Seznam literatury	48
	Seznam příloh	50

Úvod

Přestože požáry v České republice tvoří asi jen pětinu všech zásahů jednotek požární ochrany (dále jen JPO) a požáry v uzavřených prostorech představují jen menší část z těchto událostí, patří zásahy u těchto požárů k těm nejnebezpečnějším a nejsložitějším. Velký podíl na tom má současný trend výstavby, kdy je snaha docílit co nejmenší tepelné ztráty budov při jejich běžném užívání. Tato opatření se ale mohou negativně projevit při vzniku požáru a představují nebezpečí pro zasahující. Zasahující jednotky jsou vystaveny mnoha nebezpečím, které plynou z pohybu v neznámých zakouřených prostorech, také použití vody jako hasební látky představuje nebezpečí, hlavně v podobě vodní páry, která vzniká a kumuluje se v prostoru během celého hasebního zásahu. Velké nebezpečí představuje i množství hořlavých látek vyskytujících se v uzavřených prostorech.

Jednotky jsou ohrožovány nejen výše uvedenými nebezpečími. V mnoha případech dochází u požárů v uzavřených prostorech k výskytu specifických jevů. Tyto jevy, nejen že mohou zásadním způsobem ovlivnit efektivitu záchranných prací, ale mohou i ohrozit zasahující hasiče. Mezi zmíněné jevy patří především:

- Backdraft,
- Flashover,
- Smoke Explosion.

Nejčastěji dochází k požárům v uzavřených prostorech, v objektech určených k bydlení. Z toho důvodu uvádím na začátku práce statistické vyhodnocení požárů bytového fondu v období let 2000 až 2007. Proto, aby bylo možné lépe pochopit některé jevy, které vznikají při požárech v uzavřených prostorech, uvedu ve své práci obecné poznatky z dynamiky požáru. Právě pochopení rozvoje požáru, zejména vlastnosti a pohyb produktů hoření, jsou důležité nejen pro úspěšné hašení požáru, ale i pro zajištění bezpečnosti zasahujících. Hlavním přínosem práce má být zhodnocení současných poznatků o technikách hašení požárů v uzavřených prostorech. Právě správná technika hašení je jedním ze základních předpokladů pro bezpečné a úspěšné hašení požárů. Technika hašení se dá popsat jako správný způsob aplikace hasební látky, s cílem co možná nejvyšší účinnosti hašení, snížení nebezpečí pro zasahující a omezení škod.

V této práci se budu snažit vyhodnotit metodiku hašení požárů v České republice a v zahraničí. Na základě vyhodnocení a srovnání jednotlivých metod hašení, navrhu optimální techniku hašení požárů v uzavřených prostorech, využitelnou v rámci jednotek PO v České republice. Návrh bude obsahovat podrobný popis techniky hašení. Budou zde

uvedeny požadavky na osobní ochranné prostředky (dále jen OOP) a technické prostředky nutné k úspěšné a bezpečné likvidaci požáru v uzavřeném prostoru.

Rešerše literatury

Pro popis dané problematiky jsem provedl literární rešerši odborné literatury a textů. Informace jsem vyhledával v tištěných materiálech a na Internetu. Mezi hlavní zdroje mé práce patří především:

- KVARČÁK, M., *Základy požární ochrany*. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 2005. 134 s. ISBN 80-86634-76-0

Publikace vysvětluje základní principy vzniku požáru a působení na okolí. Vysvětluje základní chemické a fyzikální mechanismy hoření. Popisuje jevy, které doprovází hoření, jako je Backdraft, Flashover. Popisuje jednoduché postupy pro likvidaci požárů

- KOLEKTIV AUTORŮ., *Bojový řád jednotek požární ochrany*. Praha, Ministerstvo vnitra Generální ředitelství HZS ČR, 2002< <http://www.mvcr.cz/hasici> >.

Materiál definuje základní taktické postupy jednotek požární ochrany při zdolávání mimořádných událostí. Bojový řád jednotek se skládá z metodických listů, které jsou členěny do kapitol. Kromě popisu základních nebezpečí obsahuje i postupy konkrétních činností při zásahu jednotky u mimořádné události.

- VONÁSEK, V., *Statistické ročenky*, Generální ředitelství HZS ČR, Praha 2001-2007, dostupné z: <<http://www.mvcr.cz/statistiky/pozary.html>>.

Statistická ročenka shrnuje každoročně informace z provedených zásahů za předchozí kalendářní rok. Je zde statisticky uveden podíl jednotlivých druhů zásahů v různém členění. Zásahová činnost je rozdělena podle měsíců, zasahujících jednotek, krajů a okresů.

- Paul Grimwood – www.firetactics.com

Autor těchto stránek je ve světě uznávaný odborník na požární taktiku. Internetová stránka zabývající se požární taktikou. Výzkumem a vývojem v oblasti taktiky hašení 3D vodní mlhou a vývojem technických prostředků. Zabývá se také problémy Flashoveru a Backdraftu

Z uvedených publikací se při mé práci nejvíce vhodnou jevila kniha z edice SPBI: *Základy požární ochrany* a informace na internetu: www.firetactics.com, které jsem jako zdroje při zpracování této bakalářské práce použil.

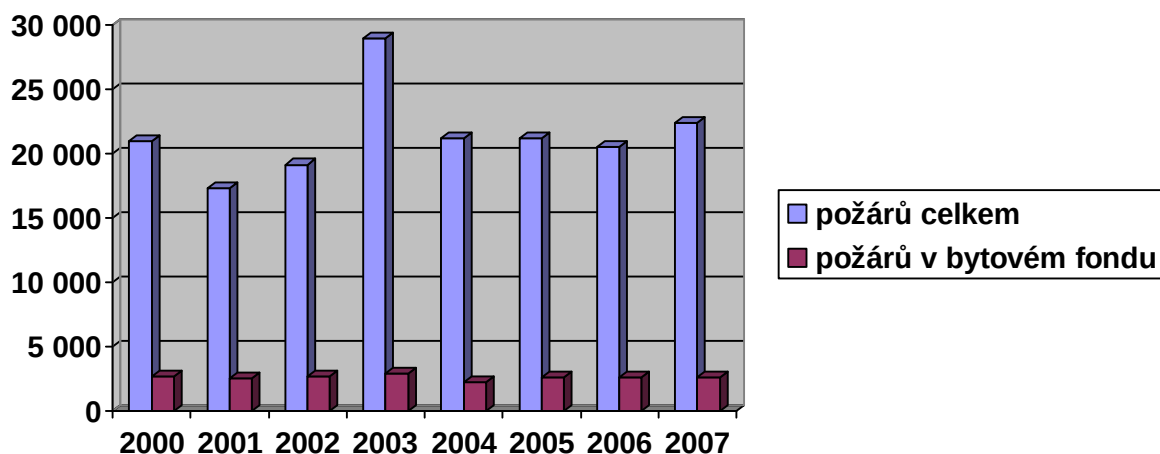
Statistika požárů v České republice

Požáry podle vybraných odvětví

Statistické údaje o mimořádných událostech a činnosti jednotek požární ochrany zpracovává Ministerstvo vnitra - generální ředitelství HZS ČR. Pro potřeby této práce jsem se zabýval požáry bytového fondu.

Tab. 1: Počet požárů v ČR v letech 2000 až 2007. [19 - 25]

Rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Celkový počet požárů	20 919	17 285	19 132	28 937	21 191	20 183	20 540	22 394
Počet požárů bytového fondu	2 712	2 534	2 718	2 963	2 616	2 614	2 631	2 652
Zastoupení v %	12,96	14,66	14,20	10,23	12,34	12,95	12,80	11,84



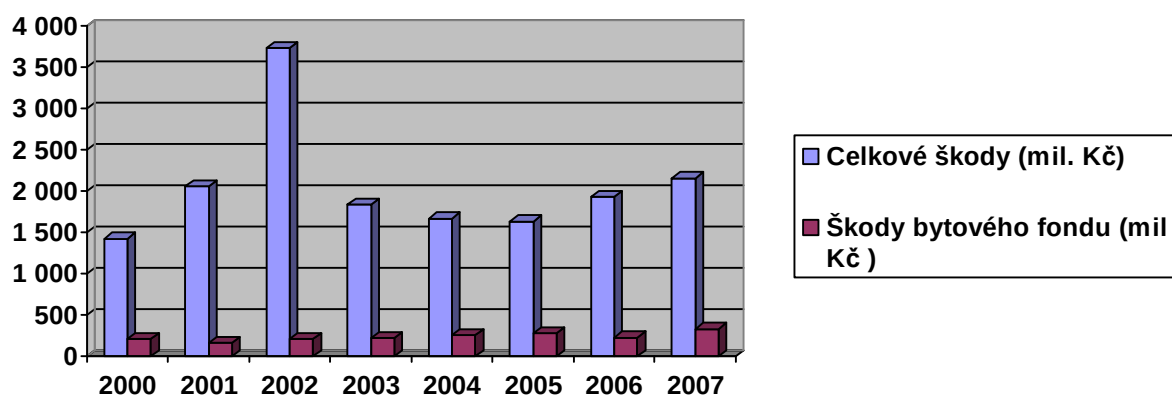
Obr. 1: Počet požárů v ČR v letech 2000 až 2007.

Jak uvádí tab. 1, došlo v období 2000 a 2007 celkem ke 169 696 požárům, z čehož 19 174 požárů bylo v bytovém fondu, tj. 11,29 %.

Škody při požárech

Tab. 2: Výše škod při požárech v ČR v letech 2000 až 2007. [19 - 25]

Rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Celkové škody při požárech (mil. Kč)	1 426	2 055	3 732	1 836	1 669	1 634	1 933	2 158
Škody při požárech bytového fondu (mil. Kč)	217	171	217	222	256	279	232	336
Zastoupení v %	15,21	8,31	5,81	12,09	15,33	17,07	12,00	15,56



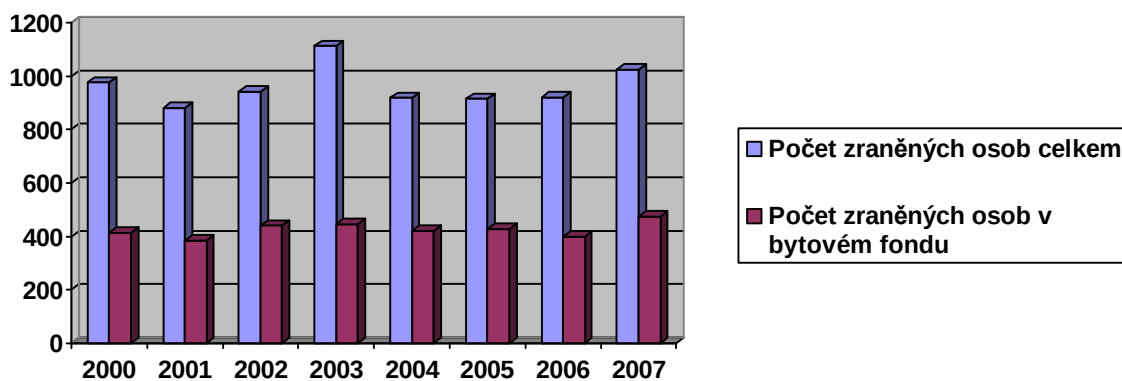
Obr. 2: Výše škod při požárech v ČR v letech 2000 až 2007.

Jak uvádí tab.2 v období 2000 a 2007 byly škody napáchané požáry v celkové výši 16 443 milionů korun, z čehož 1 930 milionů korun bylo při požárech v bytovém fondu.

Zranění a usmrcení při požárech

Tab. 3: Počet zraněných osob při požárech v ČR v letech 2000 až 2007. [19 - 25]

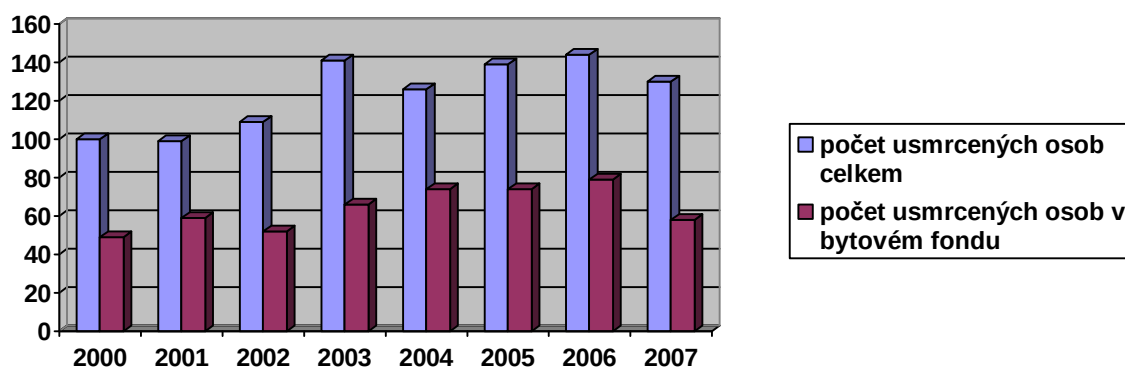
Rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Celkový počet zraněných osob při požárech	975	881	942	1 112	918	914	919	1 023
Počet zraněných osob při požárech v bytovém fondu	413	386	440	447	420	424	398	473
Zastoupení v %	42,35	43,81	46,71	40,19	45,75	46,38	43,30	46,23



Obr. 3: Počet zraněných osob při požárech v ČR v letech 2000 až 2007.

Tab. 4: Počet usmrcených osob při požárech v ČR v letech 2000 až 2007. [19 - 25]

Rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Celkový počet usmrcených osob při požárech	100	99	109	141	126	139	144	130
Počet usmrcených osob při požárech v bytovém fondu	49	59	57	66	74	74	79	58
Zastoupení v %	49	59,59	52,29	46,80	58,73	53,23	54,86	44,61



Obr. 4: Počet usmrcených osob při požárech v ČR v letech 2000 až 2007.

Přesto, že požáry v bytovém fondu tvoří jen 11% z celkového počtu požárů, počet zraněných a usmrcených osob při bytových požárech tvoří téměř 50%.

Specifikace požárů v uzavřených prostorech

Volný rozvoj požáru

Šíření požáru v uzavřeném prostoru ovlivňuje mnoho faktorů, zejména množství a rozložení hořlavých látek, ventilace a další. Na směr a rychlost šíření požáru má velký vliv rozložení hořlavých látek v objektu a také jejich požárně technické vlastnosti. Zde platí, že největší rychlost šíření požáru vykazují látky, které mají vysokou hodnotu rychlosti odhořívání.

Požáry v uzavřených prostorech jsou specifické i z pohledu sdílení tepla. Vznikající teplo působí na okolní látky, které zahřívá a připravuje je tak k hoření. Velké množství tepla je do prostoru šířeno prostřednictvím spalín vznikajících při hoření a jejich následným prouděním v prostoru. Při proudění spalín také dochází k přenášení malých hořících nebo žhnoucích částecí, které mohou iniciovat hoření v místech vzdálených několik desítek metrů od samotného požáru. Hořlavé materiály, vlivem působícího tepla, uvolňují látky, jež ve směsi se vzduchem hoří. Nejvýznamnější složkou sdílení tepla při požárech v uzavřených prostorech představuje konvekce. Přenos tepla zářením je markantní až u teplot požáru převyšujících 800°C.

Proces rozvoje požáru je možné rozdělit do tří charakteristických fází[11]:

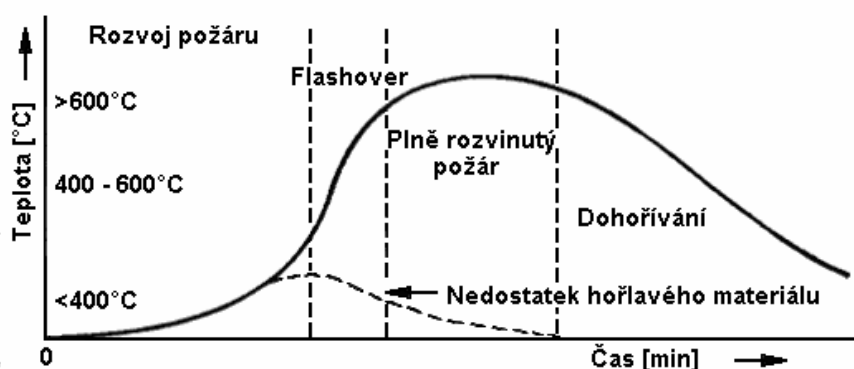
- I. Dochází k rozvoji požáru, tedy k šíření ohně, jenž zachvacuje podstatnou část všech hořlavých materiálů
- II. Je dosaženo maximální rychlosti odhořívání hořlavých látek a požár se projevuje aktivním plamenným hořením a konstantní rychlostí odhořívání, oheň je plně rozvinut
- III. Rychlost odhořívání klesá a dochází k dohořívání tlejících a žhnoucích částí hořlavých materiálů.

Jedná-li se o požár v uzavřených prostorech, pak k ovlivnění jeho průběhu vnějšími vlivy nedochází. V I. fázi dochází ke zvyšování teploty a velkému vývinu spalín, které se v prostoru shromažďují. Pokud jejich koncentrace dosáhne spodní meze hořlavosti, může dojít k jejich celkovému vzplanutí a jevu, označovanému jako Flashover.

Pokud se v prostoru nenachází dostatečné množství vzduchu, dojde k nedokonalému hoření. Při nedokonalém hoření vzniká v prostoru velké množství oxidu uhelnatého. Tak, jak ubývá v prostoru vzduch, tedy oxidační činidlo, dochází i k poklesu intenzity hoření. Je-li náhle do prostoru hoření přiveden vzduch, nastává prudká změna. Kyslík způsobí zvýšení intenzity hoření a za určitých podmínek může nastat jev, označovaný jako backdraft.

Ve II. fázi je prostor kompletně zasažen požárem a je dosahováno maximálních hodnot teploty a rychlosti hoření. V tomto okamžiku není možné zajistit bezpečný pobyt osob v daném prostoru, ani za pomoci ochranných prostředků. V této situaci je i samostatný hasební zásah velmi komplikovaný a nebezpečný.

Při postupném vyhořívání všech hořlavých látek se požár dostává do III. fáze, kdy je intenzita hoření velmi malá. Dochází k postupnému snižování rychlosti odhořívání. Prostor je zaplněn spalinami, jež v sobě kumulují teplo, stejně jako okolní nehořlavé materiály, teplota se snižuje jen minimálně. Dochází k postupnému a pomalému posunu neutrální roviny směrem ke stropu, což způsobuje pomalý únik spalin netěsnostmi a otvory ven z prostoru hoření.

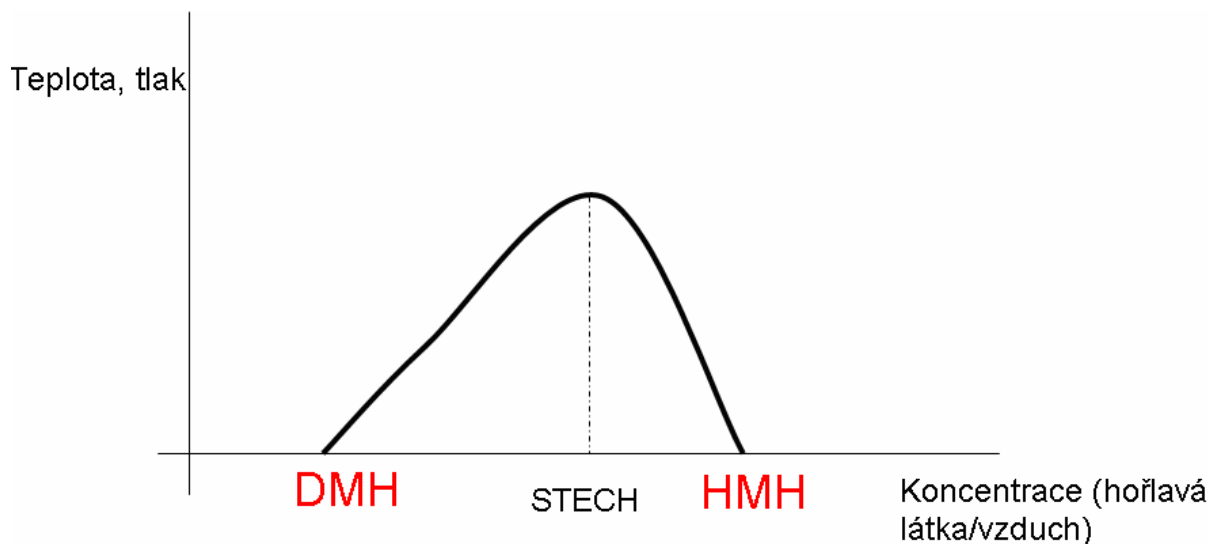


Obr. 5: Schéma rozvoje a průběhu požáru [18].

Produkty hoření a jejich vlastnosti, proudění plynů při požáru

Hoření je fyzikálněchemická reakce, při které dochází k postupné přeměně látek vstupujících do reakce na látky z reakce vystupující. Žádná částice látky není úplně zničena, ale pouze dojde k přeměně na látku jinou. Požár je charakteristický: vývinem tepla, světla, kouře, hořlavými nespálenými plyny a nespálenými tuhými zbytky (popel) [11].

Při hoření vzniká mnoho produktů, z nichž velká část je pro lidské tělo velmi nebezpečná. Množství a druh těchto nebezpečných produktů je ovlivněn druhem hořlavé látky a množstvím kyslíku, jako oxidačního činidla, které do reakce vystupuje. V případě malého množství kyslíku, dochází k nedokonalému spalování, což vede k prudkému nárůstu koncentrace nebezpečných produktů, především oxidu uhelnatého. Při nedokonalém spalování vznikají dále oxidy dusíku, síry a fosforu. Všechny tyto produkty jsou pro lidské tělo velmi nebezpečné, a to i v minimálních koncentracích.



Obr. 6: Produkty pyrolýzy a jejich hořlavost. [14]

Další významnou složkou, obsaženou v kouři, jsou páry kapalin. Je-li teplota kouře vyšší než teplota kondenzace těchto par, chovají se páry v kouři jako plyny. Při poklesu teploty pod teplotu kondenzace se začnou páry postupně měnit v kapalinu a vytvářet malé kapky na stěnách.

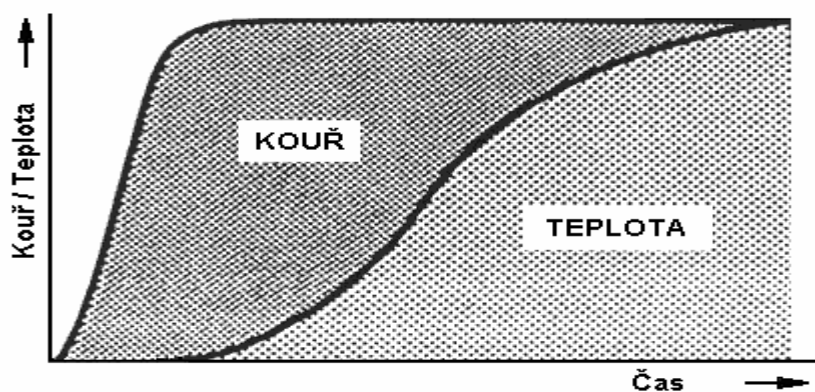
Všechny produkty hoření v sobě kumulují teplo vznikající hořením. Důsledkem kumulace tepla je nárůst objemu. Nárůstem objemu dochází ke snížení jejich měrné hmotnosti a stávají se lehčí než vzduch, což má za následek jejich stoupání vzhůru, ke stropu[11]. S rostoucí teplotou roste i rychlost pohybu proudu kouře a proud kouře tím dostává turbulentní charakter. Následkem toho je přisáván okolní vzduchu do objemu kouře.

Při požárech v uzavřených prostorech dochází vlivem narůstající teploty v místě hoření k proudění zplodin do vrchní části prostoru. Prostor je postupně zaplňován zplodinami směrem od stropu k podlaze. V prostoru se nachází pás, který odděluje pásmo kouře od pásma nezakouřeného. Místo, kde je rozhraní mezi těmito dvěma pásmy, se říká neutrální rovina. Tato se při vzniku požáru nachází těsně pod stropem a s postupným rozvojem požáru a kumulací zplodin hoření se začíná posunovat směrem k podlaze.

S nárůstem teploty kouře v uzavřeném prostoru je spojen i nárůst objemu a tlaku. Největší nárůst tlaku je u stropu. Tlak vně uzavřeného prostoru je konstantní a vůči prostoru zasaženému požárem se vytváří tlakový gradient. Vznik tlakového gradientu má za následek postupné pronikání kouře různými netěsnostmi z hořícího prostoru do okolí s konstantním tlakem. Toto proudění horkých plynů a spalín ven z prostoru způsobuje snižování tlaku v dolní části prostoru. Tento pokles tlaku vůči konstantnímu tlaku v okolí má za následek

postupné přisávání vzduchu do hořícího prostoru. Velké množství tepla je do okolí šířeno prostřednictvím spalin vznikajících při hoření a jejich následným prouděním v prostoru. Při proudění spalin také dochází k přenášení malých hořících nebo žhnoucích částeczek, které mohou iniciovat hoření v místech vzdálených několik desítek metrů od samotného požáru.

Výměna plynu je u požárů v uzavřených prostorech velmi složitá a je ovlivněna několika faktory, tím nejdůležitějším je stavební řešení daného objektu, zejména: výška místnosti, rozmístění otvoru, počet otvorů, rozměry otvorů apod. Nachází-li se v objektu více otvorů v různých úrovních výšky, pak se poloha neutrální roviny ustálí takovým způsobem, že spodními otvory je nasáván čistý vzduch a horními otvory se dostává z prostoru kouř. V případě, že se v místnosti nachází pouze jediný otvor, pak výměna plynů probíhá skrze tento otvor a to tak, že spodní částí otvoru je nasáván čistý vzduch do prostoru hoření a horní části otvoru se dostává kouř z místnosti ven[11]. Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím proudění plynů je rychlost a směr větru, který má přímý vliv na polohu neutrální roviny. Ta se na straně závětrné straně nachází níže než na straně návětrné.



Obr. 7: Schéma tvorby kouře a růstu teploty při požáru. [18].

Vliv stavebních konstrukcí na rozvoj požáru

Problematika likvidace požárů v uzavřených prostorech je stále obohacována o nové poznatky spojené se stavebním řešením a konstrukcí nově budovaných objektů. Tyto budovy v určitém směru představují větší nebezpečí, než budovy, které byly postaveny dříve. Hlavní problémy jsou spojeny především s jejich rozměry a vlastnostmi stavebních hmot používaných v novostavbách. Většinou se jedná o vysoké budovy, tvořené prostory bez přirozených otvorů, kterými může vnikat vzduch. Na druhé straně jsou budovány rozsáhlé prostory obchodních galerií a komerčních center, kde je použito takových výplní stavebních otvorů, které jsou schopny více odolávat požáru. Tím, že není zabezpečen dostatečný přívod

vzduchu, například porušením skleněných výplní oken, mají většinou požáry v těchto objektech specifický průběh doprovázený vznikem Flashoveru nebo Backdraftu.

Velký vliv na šíření požáru má také využití nových materiálů při bytové výstavbě, což vede ke zvýšení produkce zplodin hoření a také ke zvýšení rychlosti šíření požáru v prostoru.

Použití nových stavebních technologií má velký význam na pozdější likvidaci případného požáru. Použití oken opatřených termo-izolačním sklem přináší vysoké energetické úspory při běžném užívání, při požáru ale okna díky své odolnosti zabraňují úniku spalin ven z objektu. Tyto spaliny se hromadí v prostoru hoření a nastává riziko vzniku nelineárního rozvoje požáru.

Požáry řízené ventilací

Mezi tyto požáry lze zařadit všechny požáry, které probíhají v uzavřených prostorech. Pouze požáry, které probíhají v rozsáhlých výrobních, montážních a skladovacích halách, mají podobný průběh jako požáry na otevřeném prostranství. Pro požáry řízené ventilací je charakteristické omezení obsahu oxidačního činidla, které se v uzavřeném prostoru vyskytuje a také do prostor hoření proniká z okolního prostředí. Přísun kyslíku z okolního prostředí vstupuje do prostoru hoření zpravidla otevřenými stavebními otvory, netěsnostmi v konstrukcích a uzávěrech, popřípadě prostřednictvím vzduchotechniky. Není-li zabezpečen dostatečný přívod vzduchu, může mít požár tzv. nelineární průběh doprovázený jevy, jakými jsou Flashover, Backdraft nebo Smoke Explosion. Tyto jevy jsou spojeny především s rozvojem požáru a jejich projevy jsou v mnoha případech podobné. Důsledkem těchto jevů je vždy rozšíření požáru a rychlý nárůst teploty.

V případě dostatečného množství vzduchu dochází téměř k dokonalému spalování v prostoru hoření, při němž uhlík oxiduje na oxid uhličitý. Dokonalé spalování je provázeno vznikem velkých plamenů, nárůstem teploty a intenzivní výměnou plynů s okolím. Pokud teplota překročí rozmezí 500°C až 600°C[11] dochází k okamžitému prostorovému vznícení směsi, která je tvořena zplodinami hoření, produkty teplotní degradace a oxidačního činidla. Při prostorovém vznícení dochází k prudkému nárůstu teploty a rychlému rozšíření požáru do celého prostoru. Tento jev se označuje jako Flashover. Prudký nárůst teploty a rozšíření požáru může vést k narušení celistvosti a izolační schopnosti oken, dveří a jiných uzávěrů otvorů. V důsledku porušení těsnosti uzavřeného prostoru dochází k většímu přísunu kyslíku do prostoru hoření a požár se začne chovat téměř jako požár na otevřeném prostranství.

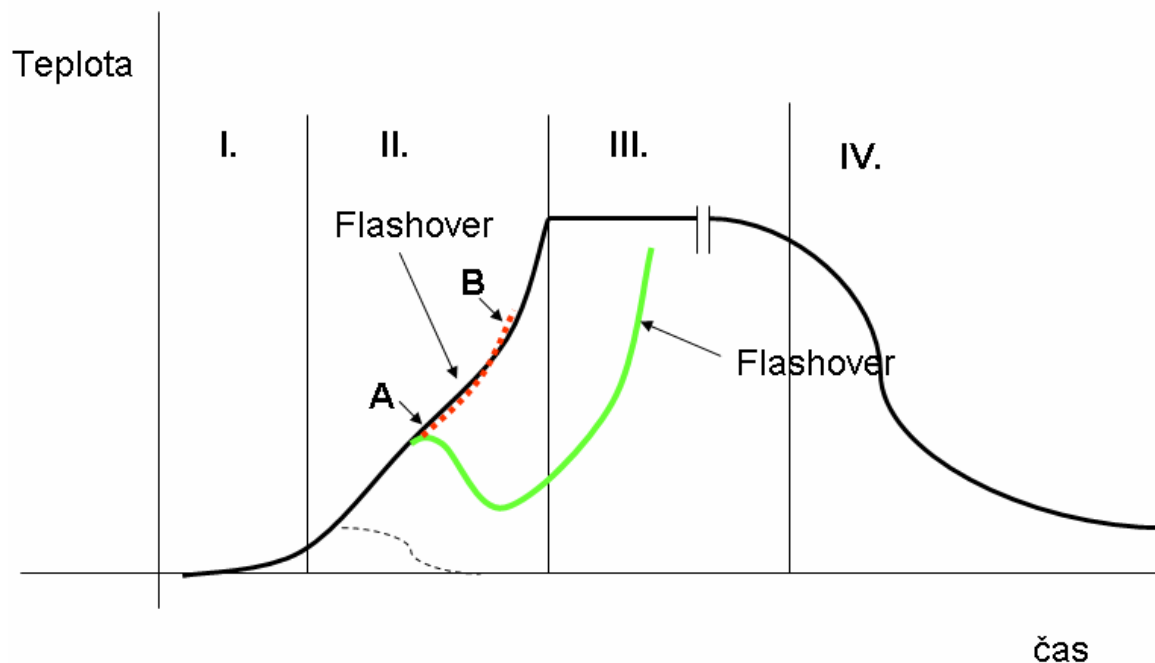
Pokud však mají stavební otvory dostatečnou požární odolnost, nebo se v prostoru nevyskytují, nemohou jejich porušením vzniknout cesty, kterými by se kyslík do prostoru dostával. Pak obsah kyslíku v prostoru začne prudce klesat a hoření začne přecházet na nedokonalé spalování, které vede až k postupnému bezplamennému hoření. Začne se zvyšovat koncentrace oxidu uhelnatého v prostoru[11]. V případě, že nedojde k přísunu kyslíku do prostoru hoření, dojde k pomalému snižování teploty, vrstva kouře začne klesat a požár pomalu ustane. V opačném případě, kdy dojde k vytvoření otvoru, kterým do prostoru vnikne dostatečné množství vzduchu a teplota v prostoru neklesla pod hranici teploty vznícení produktů hoření, může dojít k jevu označovanému jako Backdraft.

Flashover

Flashover je nelineární proces, do češtiny je možné tento jev přeložit jako celkové vzplanutí, nebo přeskok ohně [3]. Většina požárů vzniká v jednom ohnisku. Z tohoto ohniska se potom požár dále šíří do okolí. Požár se šíří rozšiřováním plamene po povrchu hořlavých látek, které se v prostoru vyskytují. Při hoření se uvolňuje velké množství tepla, které je dále sdíleno do okolí. Teplo je jednak vedeno uvnitř látky, dále je plameny a zahřátými povrchy vyzařováno do okolí. A teplo je také do prostoru sdíleno prostřednictvím proudění vznikajících spalin. Tyto spaliny se díky své vysoké teplotě shromažďují pod stropem a tím posouvají neutrální rovinu směrem k podlaze. S postupným rozvojem požáru dochází k zvyšování teploty v prostoru a zvyšování objemu kouře. Zahřáté zplodiny hoření začínají zahřívat látky, které jsou ve větší vzdálenosti od ohniska požáru. S dalším rozvojem se teplota zahřívání látek neustále zvyšuje a v látkách dochází k intenzivnímu tepelnému rozkladu. Jakmile se z hořlavých látek uvolní dostatečné množství hořlavých produktů, dojde k jejich vzplanutí a přenesení plamene. Za určitých podmínek se vytvoří směs hořlavých produktů pyrolýzy a vzduchu v celém objemu prostoru. Během krátké doby dojde k vzplanutí celého prostoru. Požár se rozšíří na většinu hořlavých látek v místnosti. Tento jev je označován jako Flashover. Flashover vzniká při teplotách v rozmezí 500°C – 600°C. a tepelném toku 20 000 W.m⁻² [11]. V zahraničí existuje několik definic pro Flashover níže uvádím několik z nich.

„Požár se ve svém stádiu rozvoje chová tak, že vlivem tepelného sálání a proudění (kouř, horké plyny a zahřáté stěny) dojde k zapálení všech hořlavých látek v celém prostoru. Tento rychlý a náhlý přechod požáru z fáze rozhořívání do fáze intenzivního hoření se označuje jako flashover.“ (Fire Research Station - UK 1993)

„Rychlý přenos ohně z hořícího materiálu na všechny hořlavé látky nacházející se v místnosti.“ (International Standards Organisation – ISO 1990)



Obr. 8: Teplotní křivka požáru a jevu Flashover. [14]

Smoke Explosion

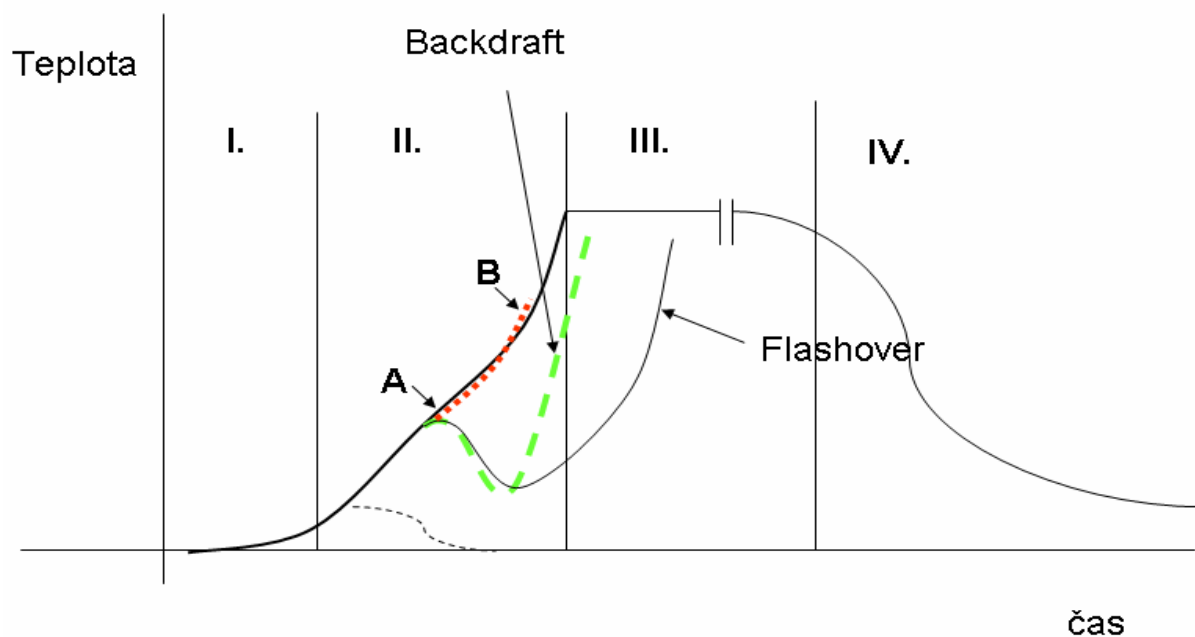
Jev Smoke Explosion je děj probíhající především v prostorech, ve kterých je omezen přívod vzduchu. Děj probíhá následujícím způsobem. Po vzniku se požár šíří do okolí a plameny pohlcojí další a další látky. Tímto se uvolňuje teplo a toto teplo je sdíleno do okolí. V prostoru se začíná zvětšovat teplota a obsah kouře. Poloha neutrální roviny se začíná posunovat směrem k podlaze. V důsledku těsnosti uzavřeného prostoru se začíná snižovat koncentrace kyslíku a hoření začíná ustávat. Začíná nedokonalé hoření, které produkuje velké množství hořlavých plynů, které se hromadí v prostoru. V uzavřeném prostoru narůstá i tlak spalin způsobený teplotní roztažností. Při porušení těsnosti uzavřeného prostoru dochází v prostoru k prudké výměně plynů. Horké plyny, které jsou pod větším tlakem, začínají pronikat do sousedních prostor, kde se smísí s kyslíkem a vytvářejí hořlavou směs. Směs je zahřátá na vysokou teplotu a má tedy dostatečnou energii na zahájení hoření. Toto hoření probíhá velmi vysokou rychlostí, jedná se o explozivní hoření.

Backdraft

Jev Backdraft probíhá podobným způsobem jako jev Smoke Explosion. Při porušení těsnosti prostoru v době, kdy se ještě neutrální rovina nepřiblížila k podlaze dojde v horní části otvoru k rychlému proudění kouře ven z prostoru do navazujících částí a ve spodní části otvoru dojde k nasávání čerstvého vzduchu do prostoru hoření. Nasátím čistého vzduchu spodní částí se zvýší koncentrace kyslíku v prostoru hoření a po smísení s hořlavými plyny a parami dojde k vytvoření hořlavé směsi, která začne okamžitě hořet. Tím dochází k prudkému rozvoji požáru doprovázenému vývinem velkého množství tepla a produktů hoření. Při jevu Backdraft se teplota pod stropem skokově zvýší až na 800°C [1]. Backdraft je jev, který může nastat při požárech v uzavřených prostorech, kdy dojde k náhlé poruše těsnosti a do prostoru hoření se dostane velké množství kyslíku. Zde uvádím několik definic jevu Backdraft.

“Při požáru v uzavřeném prostoru se vlivem nedostatečného přívodu vzduchu vyvíjí velké množství hořlavých plynů (nedokonale shořelé složky hořlavých látek a neshořelé produkty pyrolýzy). Pokud do této směsi hořlavých plynů přivedeme vzduch, například otevřením dveří, dochází k náhlé deflagraci (prudkému vznícení). Produkty hoření a vlastní plamen vychází ven otevřeným otvorem – tento jev je označován jako backdraft”. (Fire Research Station – UK 1993).

“Explosivní nebo velmi rychlé shoření přehřátých plynů, které vystupují ven. Jev nastává při požárech s nedostatečným větráním, jestliže je do prostoru přiveden kyslík”. (National Fire Protection Association – USA)



Obr. 9: Teplotní křivka požáru a jevu Backdraft. [14]

Podle [3] jsou dány základní čtyři rozdíly mezi Backdraftem a Flashoverem.

- 1) Četnost výskytu. Backdraft je u požárů v uzavřených prostorech jev, který se vyskytuje méně často než jev Flashoveru.
- 2) Tlakové účinky. Backdraft je doprovázen tlakovými účinky, které mohou vést k destrukci oken, dveří, konstrukcí a povalení osob. U jevu Flashover se nevyskytují a dochází pouze k prostorovému vzplanutí.
- 3) Příčina vzniku. K Backdraftu dochází tehdy, je-li přítomna hořlavá látka o dostatečné teplotě, ale nedostatku okysličovadla. Po náhlém přivedení okysličovadla dojde k vzplanutí. Flashover nastává za podmínek, kdy je přítomna hořlavá látka a dostatečné množství okysličovadla.
- 4) Fáze požáru, při kterém jev nastává. Backdraft nastává ve fázi, kdy je prostor hustě zakouřen, zahřátý a v prostoru je bezplamenné hoření, což odpovídá podmínkám třetího úseku. Zatímco jev Flashover nastává v prvním úseku v době přechodu do druhého úseku. Je možné počítat výjimečně s Backdraftem i v prvním úseku a to v situaci za nedostatku okysličovadla, kdy nedojde k plamennému hoření.

Vybraná nebezpečí působící na zasahující hasiče při požáru

Tepelné záření

Při likvidaci požáru jsou v prostoru hoření, a nebo v jeho blízkosti, přítomni zasahující hasiči a také zachraňované osoby, na které působí účinky požáru přímo. Hasiči jsou vystaveni nejen tepelnému působení plamenů, ale také tepelnému působení rozžhavených nehořlavých materiálů obsažených nejen ve stavebních konstrukcích. Při působení tepla na lidskou pokožku dochází k nárůstu teploty. Při překročení teploty 45°C [1] je překročen práh lidské bolesti, pokračuje-li tepelné namáhání dále, dochází k tvorbě popálenin v nebezpečnější formě. Při výzkumu působení tepla na lidský organismus bylo provedeno velké množství pokusů, testů a měření. V těchto testech byli lidé vystaveni tepelnému působení a byly zjišťovány jejich pocity a účinky tepelného působení na lidskou kůži. Údaje získané v souvislosti s působením tepla na lidský organismus jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab. 5: Hodnoty hustoty tepelného toku v závislosti na čase při ohrožení unikajících osob. [1]

Hustota tepelného toku [W.m ⁻²]	Doba působení [s]
9 600	5
5 900	10
3 800	20
2 900	30
2 500	40

Tab. 6: Hodnoty hustoty tepelného toku v závislosti na době působení a pocitu bolesti osob. [1]

Hustota tepelného toku [W.m ⁻²]	Doba působení [s]
280 - 550	Neomezená
625 - 1 050	180 - 3 00
1 100 - 1 600	40 - 60

1 680 - 2 200	20 - 30
2 200 - 2 800	12 - 14
2 800 - 3 100	7 - 10
nad 3 500	2 - 5

Tab. 7: Hodnoty hustoty tepelného toku v závislosti na pocitu člověka . [1]

Hustota tepelného toku [W.m ⁻²]	Pocit člověka
60 - 100	Vnímá teplo
200 - 600	Pocit'uje teplo
1 000 - 2 300	Pocit'uje horko
3 000 - 5 000	Pocit'uje bolest

Podle [12] je přípustná hodnota hustoty tepelného toku při krátkodobém působení 1050 W.m⁻² , při působení dlouhodobém 540 W.m⁻². Pro mobilní požární techniku, u které se nacházejí obsluhující hasiči v zásahovém obleku, jsou kritické podle [1] hodnoty toku udávány v rozmezí 12 600 – 12 800 W.m⁻².

Při hašení požáru se snažíme o snížení vývinu tepla, popřípadě o omezení jeho působení na lidský organismus nebo požární techniku.

Nebezpečí ztráty orientace

Požáry v uzavřených prostorech jsou charakteristické svoji obtížnou likvidací, při které hrozí zasahujícím mnoho nebezpečí. Jedním z hlavních nebezpečí při zásazích u požáru v uzavřených prostorech je ztráta orientace. Nebezpečné jsou především neznámé zakouřené prostory, kde je viditelnost téměř nulová. Ztráta orientace vede ke ztížení průzkumu, obtížnějšímu provedení záchrany osob vyskytujících se v objektu, znemožňuje rychlý ústup a zásah hasičů v případě jiných nebezpečí. Ztráta orientace vede k nejistotě a panice zachraňovaných osob a zvířat. Nejistota a strach se může projevit i u zasahujících hasičů, kteří potom mohou dělat i závažné chyby. Nebezpečí ztráty orientace hrozí hlavně v podzemních garážích, podzemních podlažích, sklepech, složitě členěných objektech a prostorech.

Ztráta orientace je vyvolána z těchto důvodů [10]:

- a) špatná, nebo nulová viditelnost pro silný vývin kouře a zplodin hoření,
- b) velká členitost objektu, prostorů a terénu a jejich neznalost,
- c) přerušení osvětlení objektu a prostor včetně evakuačních a zásahových cest, komunikací, evakuačních a požárních výtahů,
- d) selhání nouzového osvětlení, nebo selhání osvětlovací techniky hasičů,
- e) nečitelnost označení únikových a zásahových cest, nebo jejich neprůchodnost,
- f) intenzivního prostorového a plošného plamenného hoření,
- g) destrukce stavebních konstrukcí,
- h) zviřeného prachu v důsledku výbuchu, nebo činnosti zasahujících jednotek,
- i) zneprůhlednění zorníků ochranných masek a obleků.

Proti ztrátě orientace se dá chránit nasazením vhodné taktiky zdolávání požáru. Je nutné zajistit dokonalé odvětrání zakouřených prostor. Zajistit co nejlepší osvětlení objektu včetně zásahových a únikových cest. Při zajištění průzkumu zvolit větší počet průzkumných skupin v rámci jednotlivých úseků. Vyžádat si veškerou možnou dokumentaci k danému objektu. Pro zabránění ztráty orientace se využívají zejména vodící lana, osobní svítilny a další prostředky. Při postupu v zakouřeném prostoru je výhodné pohybovat se pod neutrální rovinou, v oblasti nezasažené kouřem a udržovat neustálý kontakt se stěnou. Nezbytné je i vybavení průzkumné skupiny útočným proudem, hadicová vedení mohou sloužit i jako prostředek pro orientaci.

Nebezpečí opaření

Většina hasebních zásahů se provádí nejdostupnějším a nejlevnějším hasivem, kterým je voda. Při zásahu proto hrozí celá řada nebezpečí, která jsou spojena s použitím vody jako hasební látky a vysokou teplotou na místě požáru. Při styku vody s horkými povrchy, nebo při aplikaci vody do horkého prostředí vzniká velké množství páry. Je všeobecně známo, že z jednoho litru vody zahřáté na 100°C vznikne 1 700 litrů páry, která se kumuluje v prostoru[10].

Při použití mlhových a sprchových proudů vzniká velké množství páry, která má velmi vysokou teplotu. Tato pára se v prostoru hoření shromažďuje a zvětšuje se proto její tlak, což může vést k tomu, že horké plyny jsou hnány přes všechny vrstvy ochranného zásahového obleku a dochází ke styku horké páry s pokožkou.

Při přeměně vody na páru se také mění teplotní podmínky v prostoru hoření, což vede k přemístění horkých plynů směrem od stropu k podlaze. Tyto plyny potom přímo působí nejen na zasahující hasiče, kteří se v prostoru podlahy pohybují, ale také na zachraňované osoby, které nemají takovou ochranu jako zasahující hasiči. Vznikají tak vážná poranění. zapříčiněná opařením.

Popáleniny způsobené párou se nazývají opařeniny. Tyto opařeniny se vyznačují několika společnými znaky, jako jsou silná a pronikavá bolest, zarudnutí opařené kůže, na jehož místě postupně vzniká bolestivý puchýř. Některé vážnější opařeniny mohou vést až k tomu, že postižený upadne do šoku.

Nebezpečí opaření neplyne jen z páry, která vzniká při zásahu, ale je spousta dalších zdrojů tohoto nebezpečí. Jsou to především všechny poruchy těsnosti parovodů, rozvodů horké vody, rozvodů horkých olejů. Dále je také možné opaření vodou unikající z rozvodů studené vody, která později přichází do styku s rozžhavenými povrchy. Další nebezpečí opaření může být způsobeno i činností stabilního hasícího zařízení.

Z hlediska taktiky jednotek při zásahu spočívá ochrana životů a zdraví hasičů před nebezpečím opaření zejména v následujících zásadách[10]:

- b) sledovat zdroje nebezpečí opaření na zásahových cestách(produktovody, parovody, odtékající voda),
- c) pokud možno udržovat v suchém stavu rukavice a ochranný oděv pro hasiče, mokré nevystavovat styku s horkými povrchy,
- d) při hašení sprchovými a mlhovými proudy vhodně aplikovat vodu do prostoru tak aby horké plameny tlačené proudem nezasáhly ostatní hasiče,
- e) pohybovat se co nejblíže podlaze,
- f) vyvarovat se prudkému ochlazení parovodů, produktovodů,
- g) při požárech sklepních prostor uzavřít v co nejkratším čase přívod vody a nezdržovat se pod rozvody vody,
- h) používat veškeré možné ochranné pomůcky jako jsou OOP a také prostředky pro odvětrání prostor.

Nebezpečí zřícení konstrukcí

Při požáru je toto nebezpečí způsobeno změnou únosnosti a stability stavebních konstrukcí vlivem působícího tepla. Jak na konstrukční systém nosný, tak na konstrukční

systém nenosný jsou kladeny požadavky definované požární bezpečností staveb. Tyto požadavky jsou odstupňovány jednak podle stupně požární bezpečnosti, ale také podle významu a polohy dané konstrukce. Důležitý je jaký vliv na celkovou stabilitu objektu bude mít porušení dané konstrukce a jak porušení této konstrukce umožní další šíření požáru. Pro konstrukce nosné je důležité aby měly co nejlepší únosnost a stabilitu a konstrukce nenosné musí mít dobrou celistvost[10]. Při působení požáru na konstrukce se tyto vlastnosti snižují a pokud doba působení překročí stanovenou mez, dochází ke zřícení konstrukcí. Další příčinou zřícení konstrukcí bývá jejich nadměrné zatížení spojené se zahříváním. Zatížení zvyšují zasahující hasiči, ale také voda používaná na hašení.

Při zřícení konstrukcí většinou dochází dalším následným komplikacím a nebezpečím, která ohrožují zasahující hasiče. Zde je nutno počítat hlavně se zraněním padajícími kusy a částmi konstrukcí jak zasahujících hasičů, tak osob postižených. Následkem zřícení konstrukcí bývá také znemožněn ústup a únik způsobený zavalením únikových a zásahových cest. Po pádu konstrukcí následuje rozvíření prachu v prostoru, což může vést ke ztrátě orientace v objektu a také k udušení. Při samotném procesu zřícení konstrukcí dochází k odletu a odstřelování drobných částíček, které se prostorem pohybují obrovskou rychlostí a představují velké nebezpečí. Po pádu konstrukce dojde téměř vždy k porušení elektrického vedení v objektu. Nebezpečí představují živé přetrhané dráty, které ční ze sutin a představují nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Podobná situace nastává u rozvodů vody, páry a plynu, jejichž těsnost je následkem pádu konstrukce porušena a tyto poté volně a nekontrolovatelně unikají do prostoru, což vede k přímému ohrožení jak zasahujících jednotek, tak osob zachraňovaných.

Způsob a míra poškození konstrukcí vedoucích k jejich zřícení je dána hlavně materiálem, z něhož jsou dané konstrukce vyrobeny. Je známo, že některé materiály jsou vůči působení tepla odolnější, některé méně. U ocelových konstrukcí dochází ke změnám mechanických vlastností již od teplot 350°C[17]. Pro ocelové konstrukce je kritická teplota 500 °C. V rozmezí teplot 500°C – 700°C[17] ocel ztrácí téměř úplně svoji únosnost. Dřevěné konstrukce vykazují při požáru lepší vlastnosti než konstrukce ocelové. Na dřevěné konstrukce působí nejhůře namáhání na ohyb. Konstrukce betonové jsou při tepelném namáhání náchylné k odpraskávání a odlupování jednotlivých vrstev betonu, což pomalu vede k úplné ztrátě stability.

Zřícení konstrukcí má své určité příznaky. Zřícení konstrukcí je možné očekávat po dlouhém tepelném působení na nosné konstrukce, což vede k odpadávání ochranných vrstev a tvorbě viditelných prasklin na povrchu. Dojde-li k viditelnému průhybu nosných částí jako

jsou sloupy a pilíře, pak hrozí bezprostřední zřícení a je nutno provést opatření k ochraně zasahujících hasičů. Dalším příznakem pádu konstrukce jsou různé zvukové efekty, jako jsou skřípání, praskání, vrzání a také citelné vibrace konstrukcí.

Z hlediska taktiky vedení zásahu spočívá ochrana zdraví a životů zasahujících hasičů v tom, že se s možností zřícení počítá při volbě směru a místa nasazení hasičů a požární techniky. Mezi další opatření patří zejména [10]:.

- a) trvale a pozorně sledovat okolí, změny stavu konstrukcí a příznaky zřícení,
- b) nestříkat kompaktními vodními proudy přímo na rozžhavené ocelové konstrukce a na konstrukce z předpjatého betonu,
- c) nevyžaduje-li to záchrana osob, pak nenasazovat jednotky do místa možného pádu konstrukcí,
- d) nenasazovat jednotky tam, kde se již doba tepelného namáhání blíží předpokládané požární odolnosti,
- e) zajistit zpevnění konstrukcí hrozících zřícením,
- f) zajistit možnost rychlého a účinného varování a stažení zasahujících jednotek,
- g) nepohybovat se zbytečně nad ohniskem požáru a nesrocovat se do větších skupin,
- h) sledovat zatížení konstrukcí činností zasahujících jednotek, jako je shromažďování vody její zamrzání na konstrukci.

Nebezpečí vyvolané specifickými jevy při požárech v uzavřených prostorech.

Každý požár má své specifické nebezpečí, Intenzita nebezpečí je závislá na mnoha aspektech, jakými jsou například hořlavé materiály, charakter prostoru, použité stavební konstrukce a další. Do těchto nebezpečí patří třeba výše uvedené nebezpečí zřícení konstrukcí, nebezpečí opaření a nebezpečí ztráty orientace. Některé požáry jsou provázeny jevy, které nejsou časté, ale jsou o to intenzivnější a nebezpečnější. S těmito jevy se setkáme u požáru s tzv. nelineárním rozvojem. Reprezentovány jsou zejména jevy označovanými jako Flashover, Backdraft a Smoke Explosion. Při těchto jevech dochází k náhlému nárůstu teploty. Během krátké doby může dojít k rozšíření požáru na celý prostor místnosti. Právě tyto skutečnosti mohou překvapit hasiče a zvýšit intenzitu nebezpečí popálení, opaření, ztráty orientace, nebo narušit stabilitu a únosnost stavebních konstrukcí. Flashover nemusí za určitých podmínek, zejména při dostatečném odvodu tepla, nastat okamžitě při vstupu hasičů

do hořícího prostoru. Hasiči vstoupí do místnosti a provádí průzkum a lokalizaci požáru. Během krátké doby ale může dojít k tomu, že požár zesílí a mohou nastat podmínky, při kterých vznikne flashover. Právě tyto situace jsou pro zasahující hasiče nejnebezpečnější.

Při jevu Backdraft může dojít k nárůstu tlaku, který může mít destruktivní účinky. Jev Backdraft je také doprovázen silnými tlakovými účinky, které mohou mít destrukční účinky pro okolí.:

Tab. 8: Účinky exploze v závislosti na výbuchovém tlaku . [11]

Efekt exploze	Destrukční tlak [Pa]
Roztříštění skla	0 – 35 000
Sražení člověka	6 900
Zřícení dřevěné přepážky	6 900 – 13 800
Zřícení zdi z plynosilikátu	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

Hašení požárů jednotkami požární ochrany

Teorie přerušení hoření je založena na omezení jednoho ze tří činitelů potřebných k hoření (hořlavá látka, iniciační zdroj a oxidační činidlo). Podle působení hasebních látek na proces hoření se rozlišují tři základní mechanismy hašení, a to fyzikální, chemický a kombinovaný. K přerušení hoření se používá základních opatření, mezi něž patří snižování teploty, přerušení probíhající chemické reakce, odstranění hořlavých látek, nebo zamezení přístupu kyslíku do prostoru hoření. V případě bezplamenného hoření existují jen tři základní opatření vedoucí k přerušení bezplamenného hoření. Mezi tyto metody patří zamezení přístupu kyslíku, snížení teploty a odstranění hořlavých látek. V České republice se v praxi na hašení požárů v uzavřených prostorech používá převážně metod založených na snížení teploty, snížení obsahu kyslíků v prostoru (ředění) a odstranění hořlavých látek[17].



Obr. 10: Trojúhelník hoření

Metody hašení

Metoda založená na snižování obsahu kyslíku v prostoru (ředění) vychází ze snížení obsahu kyslíku jako oxidačního činidla v prostoru hoření. Pokud se podaří dosáhnout snížení až pod limitní obsah kyslíku, dojde v prostoru k přerušení hoření. Po určitou dobu musí být zajištěno, aby se obsah kyslíku nezačal opět zvyšovat a požár nezačal opětovně hořet.

Zředování kyslíku se provádí několika způsoby. Tím nejznámějším je inertizace prostoru hoření pomocí inertních plynů, mezi které patří N_2 , CO_2 , Ar. Speciálním způsobem je inertizace prostředí vodní párou. Další možností, jak zabránit přísunu kyslíku je oddělení hořlavé látky od okolního prostředí. Pro toto oddělení se používá vrstva pěny aplikovaná na povrch látek.

Metoda odstraňování hořlavých látek z prostoru je využitelná jen zřídka, a to hlavně pokud je požár zachycen ve své první fázi a umožňuje pobyt hasičů v prostoru hoření, za použití OOP a dýchací techniky. Tato metoda se využívá převážně k zamezení šíření požáru do okolí. Z míst možného rozšíření požáru jsou evakuovány všechny hořlavé materiály, které mohou šířit hoření dále do prostoru. Této metody se využívá i v případech nedostatku sil a prostředků na hašení, provádíme-li požární obranu. Například rozebíráním stavebních konstrukcí apod.

Metoda snížení teploty je nejpoužívanější pro svoji jednoduchost. Podstatou je snížení rychlosti vývinu hořlavých plynů a par hořlavých látek, toho je docíleno ochlazováním hořlavých látek. Pro hasební látky je charakteristické velké výparné a měrné teplo a malé povrchové napětí. Nejčastěji používaným hasivem je v tomto případě voda, která má výborné vlastnosti.

Voda jako hasební látka

Voda je jako hasební látka užívána z mnoha důvodů. Ty nejvýznamnější jsou hlavně dostupnost, cena a chemické vlastnosti. Voda se vyznačuje hlavně ochlazujícím a izolačním hasebním efektem[13]. Je-li voda ve formě páry, může mít i efekt inertizační. Pro zlepšení hasebního efektu vody se přidává různých přísad, jako například na snížení povrchového napětí, pro zvýšení mrazuvzdornosti, snížení korozivních vlastností apod. Voda má jednu velmi špatnou a nebezpečnou vlastnost, a to je vysoká elektrická vodivost, která s obsahem solí roste [13]. Elektrická vodivost se zvyšuje i přidáváním různých přísad pro zlepšení hasícího účinku.

Hasební efekty vody

Voda má především tyto hasební efekty:

- dusivý hasební efekt je dán hlavně vzniklou vodní párou, která se hromadí v prostoru. Z jednoho litru vody při teplotě 100 °C vznikne 1 700 litrů páry. Dle [6] při teplotě 600 °C, která odpovídá skutečným teplotám požáru, vznikne 3 980 litrů páry.
- chladicí hasební efekt je dán hlavně hodnotou výparného tepla, která je až 2 257 KJ.Kg⁻¹ [13].
- dělící hasební efekt je dán schopností vody oddělit hořlavé látky od zdroje hoření a bránit sálání tepla.
- zředovací hasební efekt je dán schopností vody mísit se ze spoustou kapalných (polárních) látek. Tím dochází ke zmenšení objemu odpařených par a plynů.

Voda jako hasební látka je nevhodná pro některé druhy požárů. Mezi tyto patří požáry tavenin železa a požáry lehkých kovů, kdy použití vody vede k vzniku výbušného vodíku. Dále se voda jako hasební látka nesmí používat na likvidaci požárů elektrických zařízení pod napětím a na požáry tuků a olejů.

Aplikace vody na požár

Voda jako hasební látka se zpravidla aplikuje do prostoru požáru:

- pod tlakem 0,4 – 0,6 – Mpa
 - o plným kompaktním proudem
 - o roztržitým sprchovým proudem (mlhou)
- pod tlakem 21 MPa
 - o roztržitým proudem

Aplikace roztržitého vodního proudu (mlhy) je omezena dostřikem proudu, který je v porovnání s kompaktním proudem podstatně menší. Naopak oproti kompaktnímu proudu proud roztržitý pokryje větší plochu hašení, což umožňuje lepší ochlazování. To je způsobeno tím, že se voda tříští na malé kapičky s velkým povrchem. Díky velkému povrchu vodních kapek dochází k lepšímu přestupu tepla z prostoru hoření a rychlejšímu ochlazování prostředí. Většina kapiček vody se odpaří, při přeměně z kapalné fáze do plynné se odebere

největší množství tepla. Vzhledem k tomu, že většina vody dodávaná do prostoru hoření ve formě roztráštěného proudu se odpaří, jsou následné škody způsobené odtékající vodou minimální. Kompaktní proud nemá takový měrný povrch, tudíž nedochází k takovému přestupu tepla jako u roztráštěného proudu, většina vody se neodpaří a odtéká z požářiště. Z pohledu spotřeby vody na hašení je použití roztráštěného proudu efektivnější, než použití kompaktního proudu. Velkou nevýhodou při použití mlhy při požárech v uzavřených prostorech je prudký vývin páry, která se shromažďuje v prostorech a představuje pro zasahující hasiče nebezpečí opaření, případně ztráty orientace vlivem snížené viditelnosti v prostředí.

Aplikace plným kompaktním proudem se vyznačuje dlouhým dostřikem, který je vhodný převážně u požárů, kde se není možné přiblížit k ohnisku například z důvodu vysoké teploty apod. Kompaktní proud má velkou kinetickou energii, která umožňuje dopravit vodu na větší vzdálenost, popřípadě i mechanicky narušit hořlavé látky. Kompaktní proud je vhodný hlavně na ochlazování ohrožených sousedních objektů. Vysoká rychlost vodního proudu zamezuje jeho použití u požárů sypkých a práškových látek, které jsou kompaktním proudem rozvířeny a stávají se zdrojem dalšího nebezpečí.

Aplikace vysokotlaké vody umožňuje celkem daleký dostřik a vysoké rozptýlení vodního proudu na povrch hořlavých látek a lepší odpaření vody a tím i větší ochlazení prostoru. Tento způsob hašení se využívá při potřebě maximálního hasebního efektu při minimální spotřebě vody a minimálních škodách způsobených hašením. Nevýhodou vysokotlakého proudu je nutnost použít speciální tlakové hadice.

Hašení požárů v uzavřených prostorech v ČR - současný stav

Metodika hašení požárů v uzavřených prostorech

V současné době v České republice není dostupná literatura nebo metodika, která by se podrobně zabývala zdoláváním požárů v uzavřených prostorech. Je pouze několik textů, které řeší obecně problematiku některých typů zásahů spojených s uzavřenými prostory. Popisují zde zásady pohybu v zakouřeném prostoru, zásady při užití ventilace, ale text, který by přesně a podrobně popisoval práci s proudnicí a přesný způsob aplikace vody na požár prozatím chybí.

Doporučení a postupy při likvidaci některých druhů požárů v uzavřených prostorech jsou uvedeny v několika metodických listech bojového řádu jednotek požární ochrany. Jedná se především o listy P 9 – Hašení požárů při silném zakouření, P 11 -Hašení požárů ve sklepních prostorech budov, P 12 – Hašení bytových požárů, P 13 - Hašení požárů v podkroví a v půdním prostoru, P 14 - Požáry garáží a P 15 - Požáry vícepodlažních a výškových budov[10].

U požárů v uzavřených prostorech se jednotky setkávají s nutností užití ventilace. Otázka ventilace je řešena také v bojovém řádu jednotek požární ochrany, a to jmenovitě metodickými listy P 9 – Přetlaková ventilace při zdolávání požáru, odvedení horkého kouře a P 10 – Přetlaková ventilace při zdolávání požáru, odvedení studeného kouře. [10].

Nebezpečí spojené s likvidací požárů v uzavřených prostorech je nastíněno hlavně v metodickém listu N 5 – nebezpečí opaření, N 18 – nebezpečí zřícení konstrukcí a N 19 – nebezpečí ztráty orientace.

Vývoj technik hašení požárů v uzavřených prostorech s ohledem na ochranné a technické prostředky

Hašení požáru v uzavřených prostorech se v České republice odvíjelo především od vybavení zasahujících hasičů technickými prostředky a osobními ochrannými prostředky. Užívání klasických starších mlhových proudnic nebo zastaralých kombinovaných proudnic umožňovalo jen minimální ovládání průtoku a tvaru proudu. V devadesátých letech 20. století se začalo používat dokonalejších kombinovaných proudnic typu „TURBO JET“. Proudnice

tohoto typu umožňují aplikaci vody plným, nebo sprchovým proudem. Během hašení je možné tento proud měnit. Měnit je možné i úhel výstřikového kužele, zpravidla od 0° až po 120°. Na současném trhu je velké množství proudnic tohoto typu, liší se od sebe zpravidla ovládáním průtoku a tvarem. V současnosti je využívána i kombinovaná proudnice s označením „RAMBO JET“, která kromě klasických výhod kombinované proudnice umožňuje i přimísení smáčedel ve formě kartuší.

Užití vysokotlaké proudnice umožňuje aplikaci vody pod vysokým tlakem, díky kterému dochází k tvorbě mlhy. Mlha je tvořena velmi malými kapičkami s velkým povrchem a má lepší ochlazující účinky. Omezení použití je délkou vysokotlaké hadice.

Velký vliv na vývoj hašení požárů v uzavřených prostorech mělo také postupné zdokonalování vybavení zasahujících hasičů ochrannými prostředky. V minulosti používané zásahové obleky a rukavice poskytovaly jen minimální ochranu před vysokými teplotami a dalšími účinky požáru a přilby nezajišťovaly ochranu celé hlavy. Tato výstroj tedy nebyla vhodná pro likvidaci požárů přímo v hořícím prostoru. Hasiči zasahovali většinou z vnějšku budovy přes stavební otvory.

S postupem času se začal vývoj zásahových obleků a dalších ochranných prostředků posouvat kupředu a obleky poskytovaly zasahujícím hasičům větší komfort a ochranu před působením požáru. Hasiči se mohli dostat i dovnitř hořícího objektu a efektivněji hasit z menší vzdálenosti od ohniska. Velký vliv na taktiku zdolávání požárů v uzavřených prostorech mělo postupné zavádění izolačních dýchacích přístrojů. Ty se začaly masivně používat počátkem osmdesátých let. Díky jim mohli hasiči začít vstupovat dovnitř hořících objektů.

Zkušenosti z hašení požárů v uzavřených prostorech v zahraničí

V zahraničí je problematice likvidace požárů v uzavřených prostorech věnována velká pozornost. Pro výzkum v této oblasti je užíváno nejen různých simulátorů, ale také počítačových programů pro simulaci chování požáru. V praxi jsou užívány tři základní metody likvidace požárů v uzavřených prostorech.

První metodou je tzv. přímý útok na ohnisko požáru. Tato metoda využívá úzkého vodního proudu, který je tvořen malými kapičkami vody. Proud kapiček je aplikován do prostoru plamenů a na ohnisko přímo při postupu zasahujících hasičů. Metoda přímého útoku je vhodná především pro počáteční úsek první fáze volného rozvoje požáru[12].

Druhá metoda, tzv. nepřímý útok, spočívá v aplikaci vodního proudu na rozžhavené povrchy. Po dopadu vody na žhavý povrch dojde k jejímu odpaření a vzniku páry, která působí inertizačním účinkem a dochází ke snížení intenzity hoření, vlivem omezeného přístupu kyslíku. Metoda nepřímého útoku je preferována hlavně pro plně rozvinuté požáry[12].

Tyto metody nelze použít na všechny druhy požárů v uzavřených prostorech. Zde je uvedeno několik scénářů, kdy nelze tyto výše uvedené metody bezpečně použít:

- situace, kdy je nespálený kouř velmi horký a je blízko bodu vznícení. Bez okamžitého ochlazení nebo naředění horkého kouře může dojít k zapálení a přeskoku plamene a zapálení okolních hořlavých materiálů (Flashover) [8].
- při hašení požárů, při kterých vzniká jev Backdraft. Po vyhoření vzduchu a kumulaci tepla v uzavřeném nevětraném prostoru dojde po vstupu hasičů k vyšlehnutí ohnivé koule a tlakové vlny.
- při hašení v uzavřených vnitřních prostorech, kdy jsou plameny chráněny konstrukcemi. -- -
- dále tehdy jestliže se nachází více ohnisek požáru, které jsou rozprostřeny v prostoru, a dále také tam kde plameny nejsou dostatečně viditelné[15].

Třetí metodou, která je ve světě užívána je metoda ofenzivního boje proti požáru za pomoci 3D vodní mlhy[12]. Tato metoda byla vyvinuta ve Švédsku a nyní je užívána hasiči na celém světě. Metoda se liší od klasické aplikace vodní mlhy do prostoru tím, že voda je aplikována pomocí krátkých rychlých pulsů. Aplikace se provádí kombinovanou proudnicí, která je namířena ke stropu. Tím dochází k odpaření vody pouze v pásmu, kde se nachází horké plyny (ve volném 3D prostoru). Nedochozí zde k odpařování vody na rozžhavených nebo hořlavých materiálech.

Ob.: 11 Schéma hašení

Taktiku hašení 3D vodní mlhou je možné využít jak při útoku, tak při obraně. Nejlepší vlastnost 3D vodní mlhy jsou zjištěny při obraně. Hasiči využívají 3D vodní mlhu k vytvoření prostředí, ve kterém je možno se pohybovat co nejblíže k požáru. Dále je nepřímého útoku užíváno při ochraně před jevy Flashover a Backdraft. Používáním krátkých a rychlých pulzů na proudnici dochází k vytváření vodní mlhy. Vodní mlha je tvořena malými kapičkami vody, které se odpaří ještě před dopadem na zem. Vodní mlha je směřována do horní části místnosti, kde se nachází proud hořlavých plynů. Opakovaná aplikace pulsů vodní mlhy zajistí dodávku optimálního množství vody. Délka aplikace se mění podle geometrického uspořádání prostoru zasaženého požárem [6]. Efekt této techniky je určen hlavně parametry proudnice (velikost kapiček, průtok, rychlost a úhel proudu) a zvládnutím správné techniky jejího ovládání [7].

3D vodní mlha

Vlastnosti a hasební efekt 3D vodní mlhy je závislý na několika faktorech. Důležitým faktorem ovlivňujícím vlastnosti 3D vodní mlhy je použitá proudnice (objemový průtok, výstřiková tryska) a způsob zvládnutí techniky hašení vodní mlhou (schopnost rozložit mlhu v prostoru). V případě kapiček platí u 3D vodní mlhy pravidlo, že čím jsou kapičky menší, tím lepší účinek mají při chlazení a zředování.

Tab. 9: Závislost celkové plochy kapiček na jejich velikosti . [7]

Velikost kapiček v(μm)	1000	100	10
Celkový počet kapiček	1.91×10^6	1.91×10^9	1.91×10^{12}
Celková plocha povrchu	6	60	600

Z tabulky vyplývá, že v jednom litru vody se redukcí kapiček z 100 μm na 10 μm celková plocha povrchu zvýší až desetkrát. Proto dochází k lepšímu odpařování a rychlejší absorpci tepla. Jak vyplývá z následující tabulky, tak s menší velikostí kapiček se zkracuje také doba jejich existence, tedy rychleji se odpařují.

Tab. 10: Závislost doby existence kapiček na jejich velikosti a okolní teplotě. [7]

T ($^{\circ}\text{C}$)	100 (μm)	200 (μm)	300 (μm)	500 (μm)	1000 (μm)
200	0,8 s	1,6 s	2,4 s	4,0 s	8,0 s
300	0,533 s	1,06	1,6 s	2,66 s	5,33 s
400	0,4 s	0,8 s	1,2 s	2,0 s	4,0 s
600	0,36 s	0,52 s	0,78 s	1,3 s	2,6 s
800	0,2 s	0,4 s	0,6 s	1,0 s	2,0 s
1000	0,16 s	0,32 s	0,48 s	0,8 s	1,6 s

Velký význam na účinnost 3D vodní mlhy má také doba, kterou kapička vody stráví v horkých plynech. Tady platí, že čím delší dobu kapička v horkých plynech stráví, tím lepší chladicí efekt má 3D vodní mlha. Doba, kterou kapička ve spalínách stráví je závislá na rychlosti, kterou opouští proudnici, její velikosti a dráze, kterou kapička musí urazit.

Tab. 11: Čas potřebný k dopadu kapičky na podlahu při prostupové vzdálenosti 3 metry. [7]

Výstupní tlak (MPa)	5	10	30	68
200	3 s	2 s	1.12 s	0.74 s
300	2.7 s	1.75 s	0.96 s	0.64 s
500	1.16s	0.77 s	0.41 s	0.27 s
1000	0.86 s	0.57 s	0.3 s	0.2 s

Faktor, který velice ovlivňuje chladicí efekt 3D vodní mlhy je objem vody, která se do prostoru aplikuje, úhel pod kterým je do prostoru rozstříkována (rozstříkový úhel). Při změně rozstříkového úhlu dochází ke zvětšování objemu a plochy do které je voda aplikována

a se změnou úhlu pod kterým je voda do prostoru vstřikována se mění prostupová vzdálenost kapiček. Roli zde hraje i poloha proudnice vůči neutrální rovině, tedy pod jakým úhlem dopadá proud vody do prostoru zplodin hoření.

S rostoucím objemem vstřikované vody se zvýší chladicí efekt 3D vodní mlhy, pokud se však objem vody zvýší příliš, pak již část vody nepůsobí chladícím efektem, ale začíná se hromadit na podlaze.

Tab. 12: Závislost prostupnosti kapiček na úhlu pod kterým jsou kapičky do prostoru vstřikovány. [7]

Rozstříkový úhel proudu (°)	30	60	90
Objem proudu (m ³) (Prostup 2m)	0,3	1,39	4,18
Objem proudu (m ³) (Prostup 3m)	0,676	3,14	9,42

Z údajů uvedených v předešlých tabulkách vyplývá, že technika 3D vodní mlhy vykazuje oproti technice kompaktního proudu výborné chladicí a ředící schopnosti, které vyplývají z toho, že 3D vodní mlhy je tvořena malými kapičkami a také na širokém rozstříkovém úhlu, pod kterým jsou tyto malé kapičky do prostoru rozstříkovány. Zjednodušeně lze označit za 3D vodní mlhu takovou, jejichž kapičky vydrží ve vznosu cca 3-4 vteřiny.

Vývoj metod hašení požárů v uzavřených prostorech v zahraničí

Základní taktický postup v boji proti požárům je založen na konceptu LOYD – LAYMANova přímého útoku na rozvíjející se požár[7]. Ve Švédsku roku 1982[7] umírají při požáru doprovázeném jevem Backdraft dva hasiči. Na tuto událost reagoval Švédský FIRE SERVICE a uvedl inovačně přepracovanou metodu LOYD – LAYMANova přímého útoku, která se jmenovala ofenzivní boj proti požáru a později byla přejmenována na útok 3D vodní mlhou.

Výzkum byl směřován i do oblasti výcviku hasičů. Ve Stockholmu byla navrženo zařízení, skládající se z tepelně izolovaných přepravních kontejnerů, ve kterých je možné

simulovat rozvoj požáru a nacvičovat techniku hašení [7]. Zejména je možné simulovat jevy podobné Flashoveru. Toto zařízení bylo později označeno jako Flashover simulátor[7].

V roce 1984 začali zkoumat techniku hašení 3D vodní mlhou také hasiči v Londýně [13]. Později byla tato metoda oficiálně přijata Anglickou požární službou[4]. V roce 1990 [13] začala techniku hašení 3D vodní mlhou testovat i Americká námořní policie společně s vojenským námořnictvem. Technika 3D vodní mlhy byla užita v systému hasícího zařízení, které využívá malé množství vody aplikované do prostoru ve formě 3D vodní mlhy.

Se vstupem do nového tisíciletí bylo užití techniky hašení 3D vodní mlhou zkoumáno požárními úřady nejen v Evropě, ale také v USA a Austrálii. V únoru 2001 [7] dokončil hasičský sbor města Austin úspěšně 146 pokusných měření v trenažéru a po vyhodnocení všech získaných výsledků ocenil užití techniky hašení 3D vodní mlhou v každé zkoumané situaci [6]. Bylo zjištěno, že u některých druhů požáru by mohlo být jeho šíření tak rychlé, že by bylo nedostačující použití 3D vodní mlhy. Tato situace může nastat hlavně tehdy, pokud množství uvolněného tepla by bylo několikanásobně větší, než množství odváděného tepla. Tato situace může nastat při požárech v rozsáhlých prostorech s velkým množstvím hořlavých látek. [7].

Závěrem testovacích požárů řekl jeden z organizátorů testů: “Věřím tomu, že užití metody hašení 3D vodní mlhou bylo správnou volbou ve většině ze 146 požárů, se kterými jsme se při měření setkali. S podobnými situacemi se setkáváme i u skutečných zásahů. Použití pulsního proudu a techniky hašení 3D vodní mlhou jsou nejbezpečnější a nejefektivnější ve srovnání s ostatními metodami likvidace požáru v uzavřených prostorech, ačkoliv to neplatí pro všechny situace při požáru. My teď užití této techniky učíme ostatní hasiče.”

Zajímavý výzkum provedl Švédský vědec na Universitě Lund [5]. Ten při svém výzkum použil počítačový model, na kterém demonstroval a předpověděl efekty během požáru, při použití ventilace. Výsledkem jeho výzkumu bylo, že metoda hašení 3D vodní mlhou se prokázala jako nejbezpečnější a nejefektivnější ze všech tří zkoumaných metod.

Porovnání užívaných technik

Jak je uvedeno v [12], byly provedeny porovnávací zkoušky při třech různých požárech. Bylo užito techniky hašení 3D vodní mlhou a technika hašení kompaktním proudem.

První požár se rozšiřoval do okolí, zdroje hoření byly rozptýleny po celém prostoru. U stropu se nacházela vrstva kouře, ve které byly viditelné plameny. Teplota v této vrstvě dosahovala teplot 400 – 600 °C [12]. Podmínky byly shodné s podmínkami nutnými pro vytvoření jevu Flashover. V prostoru hoření byly také umístěny překážky. Po vstupu hasičů do prostoru hoření bylo zahájeno přímé hašení požáru hašení. V prostoru požáru nastaly, podmínky které ohrožovaly zasahující hasiče, zejména vysoká teplota. V druhém simulovaném požáru byly podmínky totožné jako u první simulace. Jediný rozdíl byl v tom, že v prostoru nebyly rozmístěny překážky, což umožňovalo zahájit hašení, aniž by jednotky musely vstupovat do prostoru hoření, kde byla vysoká teplota. Při třetí simulaci nebyly plameny přímo viditelné a zdroje hoření byly rozmístěny po celém prostoru.

Na likvidaci všech tří požárů bylo užito hadice o průměru 38 mm a proudnice o průtoku 380 l/min. Vodní mlha byla aplikována pod úhlem 60° a sklon proudnice byl 45°. Při útoku kompaktním proudem byl proud vody do prostoru vstřikován pod úhlem 30°.

Vyhodnocení, která uvádí [12] jasně ukazují, že při požáru, kde byly rozmístěny překážky a bylo nutné proniknout do prostoru hoření, vykazovala technika hašení 3D vodní mlhou jasné výhody oproti klasické technice plného proudu. Výhoda byla především v rychlém ochlazení prostoru způsobeném odpaření 3D vodní mlhy. Pomocí několika krátkých pulsů které trvaly 2 – 3 sekundy [12] došlo k uhašení plamenů v horní části prostoru. Tím došlo ke snížení teploty kouře a tím i prostředí na teplotu 200 až 250 °C a teplota se neustále snižovala. Při technice přímého proudu se teplota také zprvu snižovala, ale poté došlo k rychlému návratu k původním hodnotám. Technika 3D vodní mlhy také vykazovala menší množství vygenerované vodní páry, což vedlo ke snížení nebezpečí opáření. Naopak technika přímého proudu měla za následek vznik obrovského množství horké pronikavé páry, která způsobila silná opáření na rukách, zápěstí a dalších částech těla. Výhoda techniky 3D vodní mlhy se ukázala také při sledování tepelného toku, kde se neprojevovalo významné narušení přirozeného proudění spalin. Při testech s plným proudem docházelo často k narušení přirozeného proudění spalin. Při testech, kde se v prostoru nenacházely překážky se ani jedna z odzkoušených technik nejevila jako obzvláště výhodná. Výhoda techniky 3D vodní mlhy byla kompenzována schopností kompaktního proudu, který rychle zmírnil intenzitu hoření při jeho okamžitém použití. Při situaci s nízkou viditelností obě techniky prokázaly téměř shodné

účinky a efektivitu. Proto v tomto případě požáru nebyl možno říci, že by jedna z technik poskytovala nějak obzvláště velké výhody.

Další významné srovnání bylo provedeno Americkou námořní laboratoří [9], která provedla výzkum porovnávající poměr srdečního tepu k teplotě těla hasiče. Měření teploty bylo provedeno během zásahu. Teplota byla měřena na horních končetinách, hrudníku a stehnech. Provedené testy ukázaly, že při užití techniky 3D vodní mlhy byla teplota kouře snížena a byla urychlena řízená tepelná bilance. Lokalizace požáru a jeho následné uhašení proběhlo rychleji zhruba o dvě minuty, než při užití klasické metody plného vodního proudu. Snížení teploty prostředí vedlo k menšímu zatížení zasahujících hasičů. Testy ověřily, že poměr srdečního tepu a teploty těla zasahujících hasičů byl u techniky 3 D vodní mlhy mnohem nižší, než tomu bylo u klasické techniky plného proudu.

Další testy provedené laboratoří (NRL) [15] potvrdily, že technika hašení 3D vodní mlhou může být použita ke lokalizaci a požárů, u kterých dochází k neustálému rozšiřování, ale ještě nebyl zasažen celý prostor. Útok může být veden přímo do ohniska požáru.

Výběr vhodné techniky pro hašení požárů v uzavřených prostorech, využitelné v České republice

Na základě vyhodnocení všech používaných metod v zahraničí se jeví jako nejvhodnější a nejvíce užitečná technika hašení 3D vodní mlhou. Roli zde hraje i to, že většina budov v ČR je tvořena převážně z nehořlavých konstrukčních materiálů a není tedy nutné brát ohled na problematiku ochlazování hořlavých materiálů v konstrukcích. V zemích, kde byla tato technika vyvinuta je většina budov tvořena dřevěnými konstrukcemi, u kterých se provádí jejich ochlazování, tak aby se zmírnilo působení tepla a uvolňování hořlavých látek.

Technické prostředky a osobní ochranné pomůcky nutné pro užití metody hašení 3D vodní mlhou

Osobní ochranné pomůcky.

Při zásahu je nutno užití vícevrstvých zásahových obleků, které splňují požadavky dle ČSN EN 469, dále je nutné užití zásahové přilby, která splňuje požadavky dle ČSN EN 443, užití rukavic splňujících požadavky ČSN EN 659, nezbytné je správně kombinovat zásahové rukavice a zásahové kabáty. Nekombinovat rukavice s krátkým úpletem s kabátem, který má pouze palečníci a nemá rukávový úplet přes celou dlaň. Obuv použitá při zásahu musí splňovat požadavky ČSN EN 345. Dále je nutné použití izolačního dýchacího přístroje. Otázka nastává při použití kukly. Ta výrazně ovlivňuje vnímání okolních parametrů. V [8] se hovoří o tom, že kukla navozuje falešný pocit bezpečí a hasiči se nevědomky vystavují většímu riziku. Při klasickém výcviku ve Flashover simulátorech je užití kukly bezpodmínečné.

Hadice.

Při likvidaci požárů v uzavřených prostorech se nejčastěji užívá útočného proudu, který je tvořen hadicí C 52, C 42 a C38. Pro hadice C 38 a C42 jsou charakteristické vysoké tlakové ztráty, které vznikají třením[7]. Při volbě druhu hadice, která tvoří útočný proud vycházíme především z požadavku na jednoduchou manipulaci s útočným proudem.

Proudnice.

Nejužívanější a nejvhodnější proudnice je kombinovaná proudnice s prstencovou mlhovou tryskou „TURBOJET“. Tato proudnice umožňuje plynule regulovat průtok, druh proudu a úhel výstřiku Další proudnicí, která je vhodná pro aplikaci 3D vodní mlhy je tzv. automatická proudnice[6]. Ta je specifická svou samočinnou regulací průtoku a to tak, aby byl na výstřikové trysce dostatečný tlak. Pokud dojde k poklesu tlaku, okamžitě se omezí

průtok a pokud dojde k nárůstu tlaku dochází okamžitě ke zvýšení průtoku, což vede k tomu, že vodní mlha má stále optimální parametry.

Taktika vedení zásahu při užití 3D vodní mlhy

Bezpečnost při vstupu do uzavřených neznámých prostor: skupina vstupující do takových prostor je tvořena dvěma až třemi hasiči. Tato skupina je jistěna dalšími dvěma hasiči, kteří se nachází na bezpečném místě a pro případ rychlého zásahu jsou vybavení izolačními dýchacími přístroji zavodněným proudem, který je opatřen vhodnou kombinovanou proudnicí.

Postup vedení zásahu:

Kontrola dveří před vstupem

Aplikací krátkého pulsu vodní mlhy na horní polovinu dveří a prostor nad dveřmi. Pomocí odpařování vody jsme schopni odhadnout teplotu za dveřmi. Polohu neutrální roviny poznáme dle kouře unikajícího mezi zárubněmi, případně dle rozložení teplot, které lze odečíst při odpařování. Aplikace pulsu také slouží jako preventivní opatření proti vzplanutí kouře přede dveřmi.

Chlazení prostoru za dveřmi

Pro vytvoření bezpečného prostoru za dveřmi a získání dalších informací o rozložení teplot a kouře v uzavřeném prostoru je hasič č. 1 v podřepu připraven s proudnicí mimo profil dveří a hasič č.2 opatrně otevře dveře, přitom sleduje unikající kouřové zplodiny a kryje se za dveřmi. Hasič č.1 se přemístí na úroveň dveří a provede chlazení kouřové vrstvy, po ochlazení ustoupí zpět do původního postavení. Během ochlazování sleduje kouřovou vrstvu a její reakci na dodávanou vodní mlhu. Tímto postupem se sníží teplota v prostoru hoření, inertizuje se kouřová vrstva a tím se preventivně působí proti vzplanutí kouřové vrstvy za dveřmi.

Pokud se nepodaří za dveřmi dostatečně snížit teplotu, opakujeme chlazení.

Vstup a pohyb v místnosti a nalezení ohniska

Po vniknutí do zakouřeného prostoru se pohybujeme pod neutrální rovinou. Při postupu neustále sledujeme teplotu kouřové vrstvy a dle potřeby aplikujeme 3D vodní mlhu, tak abychom se neustále pohybovali v prostoru zajištěném proti vzplanutí kouřové vrstvy. Hasič č.2 sleduje i stav kouřové vrstvy za postupující skupinou. Hasič č.1 provádí v pravidelných intervalech „otevření kouřové vrstvy“ krátkými pulsy směřujícími do kouřové

vrstvy ve směru postupu. Díky tomu lze jednoduše zjistit situaci uvnitř kouřové vrstvy. Toto lze spojit se zaběhlými postupy pro vyhledávání osob.

Vzplanutí kouřové vrstvy

Vzhledem k dynamice kouřové vrstvy není možné úplně vyloučit její vzplanutí. Pokud k této situaci dojde, nachází se hasiči v kritické situaci, kterou je potřeba okamžitě řešit. Hasiči čelí prudkému zvýšení teploty a tepelného příkonu, což může vést až k Flashoveru. V případě vzplanutí kouřové vrstvy se použije jeden z níže uvedených kroků:

- a) ústup do bezpečných pozic (vně budovy, vně místnosti)
- b) úkryt za vodní clonou
 - i. Hasič č. 1 nastaví na proudnici nejširší úhel rozstříku a namíří proudnici směrem k vyšlehnutí. Proud vytvoří ochrannou vodní clonu.
 - ii. Hasič č. 2 sleduje kouřovou vrstvu za skupinou a kryje se před účinky sálavého tepla za hasičem č. 1
 - iii. Skupina získá čas pro rozhodnutí o dalším postupu (ad. a, c, d)
- c) krátký puls
 - i. Hasič č. 1 aplikuje krátké pulsy do plamenů v kouřové vrstvě, přitom sleduje reakci kouřové vrstvy a účinek na plameny.
 - ii. Hasič č. 2 sleduje kouřovou vrstvu za skupinou a kryje se před účinky sálavého tepla za hasičem č. 1
- d) dlouhý puls
 - i. Hasič č. 1 namíří proudnici směrem k plamenům. Vodním proudem pokryje celý hořící prostor. Hasič č. 1 nastaví na proudnici nejširší úhel rozstříku. Postupně úhel mění až k plně kompaktnímu proudu. Plameny postupně sevře uprostřed proudu. Pokud vodní proud nepokryje úplně hořící část kouřové vrstvy, je nutné pohybovat proudnicí. Cílem je pokrýt celý prostor.

Přímé hašení

Po přiblížení se k ohnisku požáru přistoupíme k přímému ochlazování hořících předmětů. Pokud se nedostaneme až do těsné blízkosti ohniska, použijeme krátké pulsy téměř kompaktního proudu aplikované pod neutrální rovinou na ohnisko. Pokud hasíme z těsné blízkosti, použijeme nastavení minimálního průtoku a postupně ochlazujeme celý hořící předmět.

Odvětrání prostoru.

Správné užití přetlakové ventilace usnadňuje využití 3D vodní mlhy. Přetlaková ventilace zvyšuje viditelnost v prostoru a snižuje riziko opaření vodní parou. Při užití přetlakové ventilace je nutno užívat kvalitní ventilátory, které vytvářejí rovnoměrný kužel vzduchu, což umožňuje pokrytí celých výstupních otvorů. V současné době se hojně využívá turboventilátorů, které využívají vyšší rychlosti proudícího vzduchu, což vede k rychlejšímu odvětrávání.

Pro aplikaci vody je dle [8] optimální průtok pro likvidaci požárů v běžných bytových prostorech v rozmezí 120 – 180 l/min. Z proudnice vychází proud pod úhlem rozstřiku 60°. Proudnice je pod úhlem 45° k rovině kouře a pomocí krátkých pulsů je mlha aplikována do prostoru kde se nachází zplodiny hoření.



Obr12: Správná aplikace vodní mlhy. [8]

Výcvik

Výcvik jednotek požární ochrany v boji proti požárům v uzavřených prostorech je důležitý nejen pro dobré zvládnutí techniky hašení, ale také pro bezpečnost zasahujících hasičů. Výcvik sestává z praktické a teoretické části.

Praktická část se zaměřuje na zvládnutí správné techniky používání proudnic a pohybu v místě požáru. Pro tento výcvik je vhodné užívat prostory, kde lze nasimulovat reálné podmínky požáru. Nejvhodnější je užití Flashoverového kontejneru, např. toho, který vlastní

HZS Olomouckého kraje, Územní odbor Prostějov. V tomto kontejneru mají hasiči možnost bezpečně si vyzkoušet a shlédnout jak vznikají jevy Backdraft a Flashover, jak působí na okolí a na samotné hasiče a jak je možné se před těmito jevy chránit. Teoretická část je zaměřena na problematiku vzniku a následného šíření požáru v uzavřených prostorech. Vysvětlení možnosti vzniku jevů Flashover a Backdraft, rozpoznání prostor, kde hrozí vznik těchto jevů a zásady chování při těchto jevech..



Obr.13: Výcvik ve Flashover kontejneru (HZS Olomouckého kraje)

Praktický výcvik ve Flashover kontejneru podle [16]

Při tomto výcviku je technika hašení 3D vodní mlhou využívána jako hlavní postup při ofenzivním útoku. Nejprve dojde k pětisekundovému otevření dveří a vycházející horké kouřové plyny se ochladí pomocí dvou krátkých rychlých pulsů.. Následkem toho je uhašení postupujícího ohně. Poté jsou dveře opět zavřeny a po chvíli se celá procedura opakuje znovu. Z proudnice vychází proud pod úhlem rozstříku 60°. Proudnice je pod úhlem 45° k rovině kouře a pomocí krátkých pulsů je mlha aplikována do prostoru, kde se nachází zplodiny hoření a tím je ochlazuje. Po ochlazení spalin se proud o průtoku 100 l/min používá k ochlazení stropů, zdí a také ke snížení koncentrace kouře. Tento výcvik probíhá ve Švédsku od roku 1986, kdy bylo potvrzeno, že je pomocí techniky 3D vodní mlhy požár a následný jev Flashover lépe zvládnutelný.

Závěr

Všechny taktické postupy užívané ve světě i v ČR vycházejí ze znalostí dynamiky požáru v uzavřených prostorech a dynamiky jevů Backdraft a Flashover. Po celém světě bylo provedeno velké množství pokusů a měření, které se problematikou hašení požárů v uzavřených prostorech zabývaly. Důsledkem byl vznik mnoha nových hasebních metod, které doposud v ČR nebyly využívány.

Při výběru vhodné metodiky hašení požárů v uzavřených prostorech, která by byla využitelná v celé ČR byl hlavním aspektem způsob výstavby domů a hlavně druh stavebních materiálů. Při výsledném návrhu bylo přihlédnuto na fakt, že v ČR je velké množství domů, bytů a jiných budov vybudováno z nehořlavých materiálů, které velkou měrou ovlivňují vznik a šíření požáru.

Pro návrh bylo využito poznatků o různých technikách hašení požárů v uzavřených prostorech, které jsou užívány po celém Světě. Nejvíce bylo využito techniky hašení 3D vodní mlhou, která se jevila jako nejvhodnější a to především z důvodu rozsáhlého celosvětového využití. V měřeních, které byly provedeny v zahraničí tato technika hašení vykazovala nejlepší vlastnosti.

Efektivní a bezpečné užití techniky hašení 3D vodní mlhou vyžaduje kvalitní odborný výcvik, pro který je nutno teoretické pochopení vzniku a šíření požáru, účinků požáru na osoby a také jevy, které se při požárech v uzavřených prostorech mohou vyskytovat. Je nutné aby hasič uměl poznat situaci, kdy může nastat některý z jevů jako je Flashover nebo Backdraft a na základě toho byl schopen rychle reagovat. Pochopení mechanismů hoření a přerušení hoření je nezbytné pro úspěšné hašení požárů.

Praktický výcvik, při kterém je možno bezpečně předvést a nasimulovat skutečné podmínky požáru v uzavřených prostorech si vyžaduje využití Flashover kontejnerů. Bohužel takový kontejner se v ČR nachází pouze jeden, a to ve výcvikovém středisku HZS Olomouckého kraje, kde probíhá nejen praktický, ale také teoretický výcvik pod dohledem zkušených instruktorů.

Mým cílem bylo vytvořit práci, která by v co největším rozsahu pokryla problematiku hašení požárů v uzavřených prostorech v podmínkách ČR, ale také aby popisovala vznik požáru, jeho šíření a působení na lidi a v neposlední řadě jevy spojené s těmito požáry. Při tvorbě práce jsem se snažil využít těch nejnovějších informací dostupných v literatuře, ale hlavně na internetu tak, aby bylo možno tuto práci poskytnout k následnému využití při výcviku jednotek požární ochrany ve výcvikovém zařízení HZS Olomouckého kraje.

Seznam literatury

:

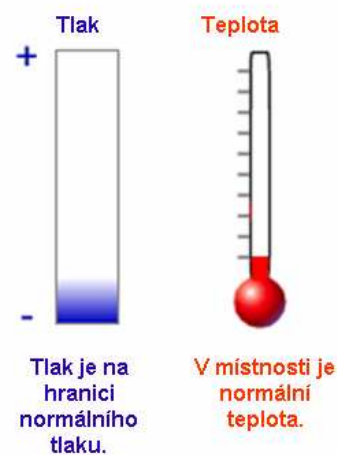
- [1] BALOG, K., KVARČÁK, M., *Dynamika požáru*. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 1999. 118 s. ISBN 80-86111-44-X.
- [2] CARLSSON, J., *Modeling Using CFD-An information for Fire safety Engineers*. Výzkumná zpráva č. 5025. Lund: Dept. of Fire Safety Engineering Lund university. 1999, 123s
- [3] DUNN, V., *December Newsletter-Backdraft and Falshover. what is the diference?*, staženo z <http://vincentdunn.com/dunn/newsletters>
- [4] Fire Service Manual . Volume 2 (1997) .*Compartment Fires & Tactical Ventilation*. HMFSI
- [5] GOJKOVIC, D., & BENGSTON, L., *Some Theoretical and Practical Aspects on Fire Fighting in A Backdraft Situation*, Department of Fire Safety Engineering, Lund University a Helsingborg Fire Department, Švédsko, www.firetactics.com
- [6] GRIMWOOD, P., *Fog Attack* . www.firetactics.com,
- [7] GRIMWOOD, P., *Tactical firefighting*:www.firetactics.com
- [8] GRIMWOOD, P., *New Wave 3-D Water Fog Tactics*: www.firetactic.com
- [9] HAGAN, R. D., BERNHARD, R. D., JACOBS, K. A., FARLEY, J. R., RAMIREZ, L. R., FEITH, S. J., AND HODGDON, J. A., *Ofenzive Fog Water Attack Reduces Firefighting Time and Heat Strain During Shipboard Firefighting*. Naval Health Research Center, Report No. 96 – 22, 19996
- [10] KOLEKTIV AUTORŮ., *Bojový řád jednotek požární ochrany*. Praha: Ministerstvo vnitra Generální ředitelství HZS ČR, 2002
- [11] KVARČÁK, M., *Základy požární ochrany*. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 2005. 134 s. ISBN 80-86634-76-0
- [12] LIU, Z., KASHEF, A., LOUGHEED, G. D., a BENICHOU, N., *Review of Three Dimensional Water Fog Techniques for Firefighting*. Výzkumná zpráva. Ottawa: National Research Council Canada, 2002. 18 s.
- [13] ORLÍKOVÁ, K., *Hasební látky*. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 2001. 90 s. ISBN 80-902001-0-9.
- [14] OŠLEJŠEK, P., *Požáry v uzavřených prostorech*: Výuková prezentace. Prostějov: HZS Olomouckého kraje, 2007. 83s.

- [15]. SCHEFFEY, J. P., SIEGMANN, C. W., TOOMEY, T. A., "1994 Attack Team Workshop: Phase E -Full-Scale Offensive Fog Attack Tests," Naval Research Laboratory, NRL/MR/6180-977944,1997
- [16] SCHNELL, L. G., *Flashover Training in Sweden*, Fire Engineers Journal, NOV. 1996, pp. 25 – 28
- [17] ŠENOVSKEÝ, M., *Základy požární taktiky*. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 2001. 80 s. ISBN 80-86111-73-3.
- [18] ŠŇUPÁREK, R., *Zajištění přístupových komunikací pro jednotky požární ochrany na sídlištích a místech soustředění velkého počtu obytných budov*. Diplomová práce. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 74 s.
- [19] VONÁSEK, V., *Statistická ročenka 2001*. Praha: GŘ HZS ČR, 2002. 32 s.
- [20] VONÁSEK, V., *Statistická ročenka 2002*. Praha: GŘ HZS ČR, 2003. 32 s.
- [21] VONÁSEK, V., *Statistická ročenka 2003*. Praha: GŘ HZS ČR, 2004. 32 s.
- [22] VONÁSEK, V., *Statistická ročenka 2004*. Praha: GŘ HZS ČR, 2005. 36 s.
- [23] VONÁSEK, V., *Statistická ročenka 2005*. Praha: GŘ HZS ČR, 2006. 36 s.
- [24] VONÁSEK, V. *Statistická ročenka 2006*. Praha: GŘ HZS ČR, 2007. 39 s.
- [25] VONÁSEK, V., *Statistická ročenka 2007*. Praha: GŘ HZS ČR, 2008. 39 s.

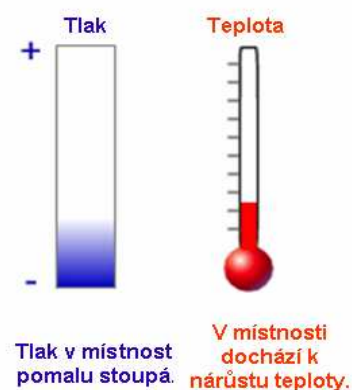
Seznam příloh

Příloha 1	Průběh jevu Backdraft.
Příloha 2	Průběh jevu Flashover.
Příloha 3	Efekt rozdílné velikosti kapek vody.
Příloha 4	Taktika vedení zásahu.

.

Průběh jevu Backdraft. [14]1 / 6 **Vznik ohniska**

Ohnisko vzniklo na pohovce (špatně uhašená cigareta, zápalka apod.). Objevuje se malý plamínek.

 2 / 6 **Šíření plamene**

Plamen se rozšiřuje. Hoření způsobuje uvolnění kouře, který se nahromadí u stropu. Místnost nemá žádný otvor kudy může kouř unikat.



3 / 6

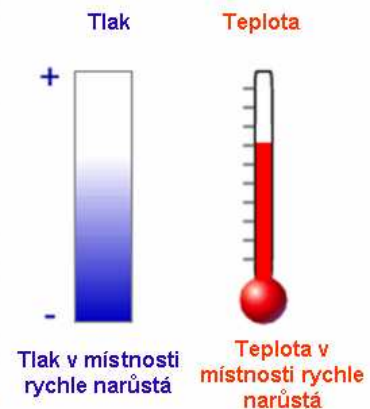


Šíření požáru

Oheň se šíří po pohovce a způsobuje uvolnění teplého a hustého kouře, hoření způsobuje úbytek vzduchu. Kouř se shromažďuje u stropu, dochází k poklesu neutrální roviny.



4 / 6



Nárůst tepla a tlaku

Oheň se rozšiřuje na celou pohovku a uvolňuje stále velké množství neprůhledného kouře, který zaplňuje celou místnost. Dochází k významnému nárůstu teploty.



Stabilizace jevu

Oheň je ve fázi přípravy. Strídá mezi dvěma fázemi.

1. Úbytek kyslíku způsobí snížení intenzity hoření a teploty. Vlivem vysokého tlaku dochází k úniku kouře kolem dveří a oken.
2. Vzniklý přetlak a vznik podtlaku u stopu způsobený snížením teploty vyvolá podtlak a nasátí vzduchu. Přívodem vzduchu se zvýší intenzita hoření a dochází k nárůstu teploty.

Tento cyklus pulsace potrvá až do otevření nějakého otvoru.



Backdraft

Náhlý přívod vzduchu dovnitř místnosti (otevření dveří, rozbité okno), vyvolaný prudkým snížením tlaku. Na rozhraní přiváděného vzduchu a kouřové vrstvy vzniká intenzivní hoření. (rychlost šíření více než 20 m/s) Dochází k celkovému vzplanutí v místnosti.

Průběh jevu Flashover. [14]

1 / 6

**Vznik ohniska požáru**

Ohnisko požáru vzniká na pohovce (špatně uhašená cigareta, zápalka). Začíná se objevovat malý plamínek.

2 / 6

**Rozšiřování ohniska požáru**

Plamen se stále více a více zvětšuje, vzniká kouř, který se hromadí u stropu a začne slabě unikat vstupními dveřmi.



Šíření plamene

Plamen se šíří po pohovce, uvolňuje se hustý a zahřátý kouř, dochází k úbytku vzduchu. Vlivem ventilace uniká kouř ven a dovnitř vnika dveřmi do místnosti vzduch. Tato ventilace udržuje vlastní hoření. U stropu se hromadí nahřátý kouř, neutrální rovina se posouvá směrem dolů.



Nárůst teploty

Plameny se rozšířili na celou pohovku. U stropu se hromadí nahřátý kouř, neutrální rovina se posouvá směrem dolů. Vznikající teplo působí v okolí vlastního hoření a způsobuje tepelný rozklad hořlavých materiálů, lokálně se objevují další plameny („tančící andělé“). Ohnisko se stále rozšiřuje díky vzduchu přiváděného dveřmi.



5 / 6

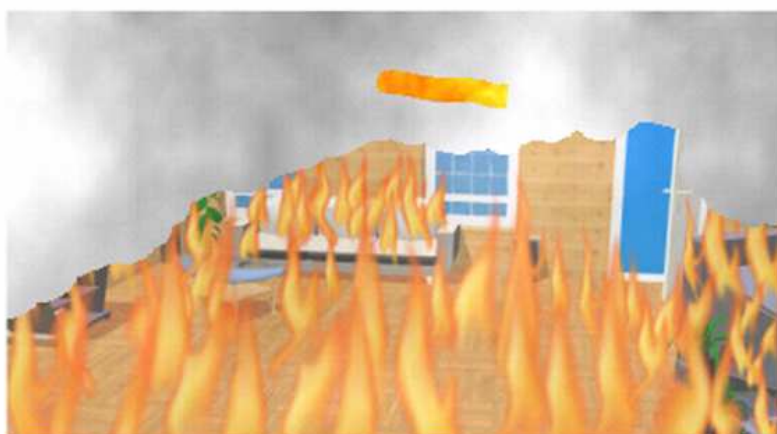


Rollover

Vstupující vzduch zvyšuje intenzitu hoření. V místnosti je vysoká teplota, teplo působí na hořlavé látky (nábytek, podlaha..), tepelným rozkladem se uvolňují hořlavé produkty. Nahřáté produkty se hromadí v místnosti a jsou předvěstí celkového vzplanutí. Kouř se stále více nahřívá, houstne, neutrální rovina se snižuje. Záblesky plamenů se promění do stále hořícího sloupce.



6 / 6

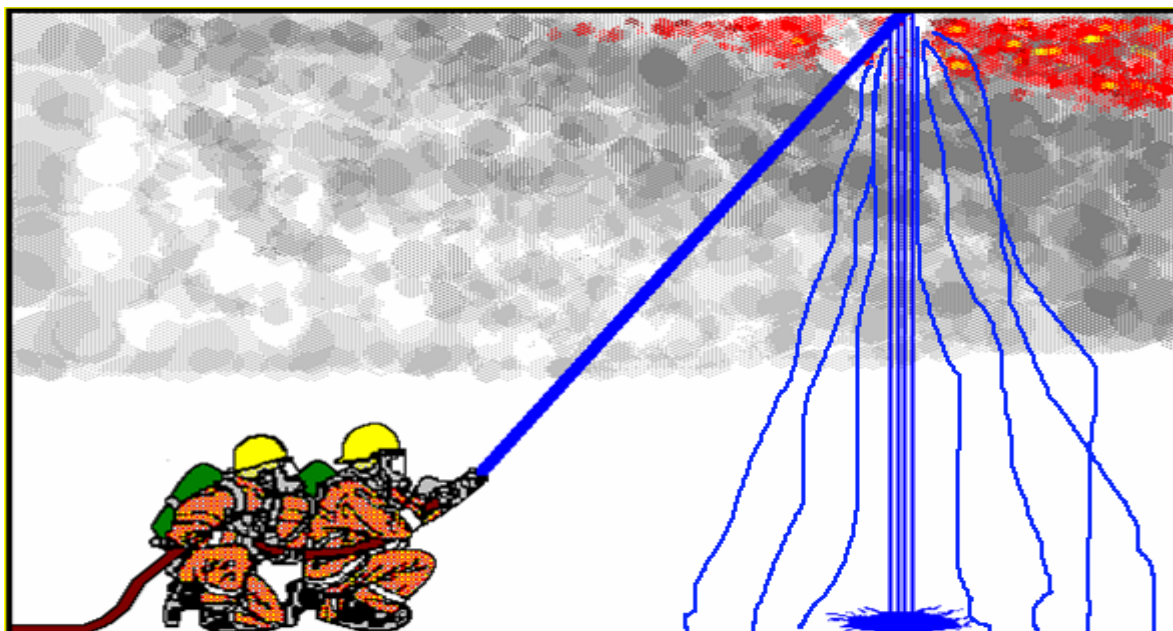


Celkové vzplanutí

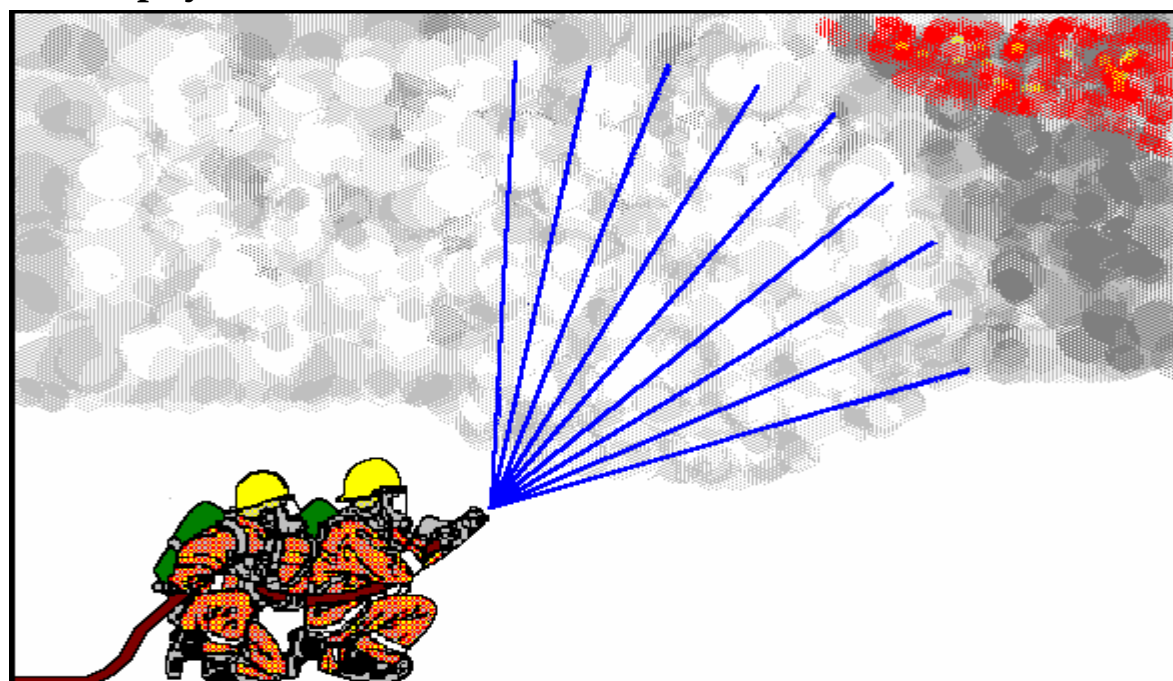
Celý prostor je naplněn produkty pyrolýzy, teplota v místnosti je vysoká. Nahřáté produkty pyrolýzy překročily v místnosti spodní mez výbušnosti a dochází k celkovému vzplanutí.

Efekt rozdílné velikosti kapek vody. [14]

Velké kapky



Malé kapky



Široký úhel

Taktika vedení zásahu. [14]

1. Kontrola dveří před vstupem

Bezpečná pozice přede dveřmi



Před vstupem

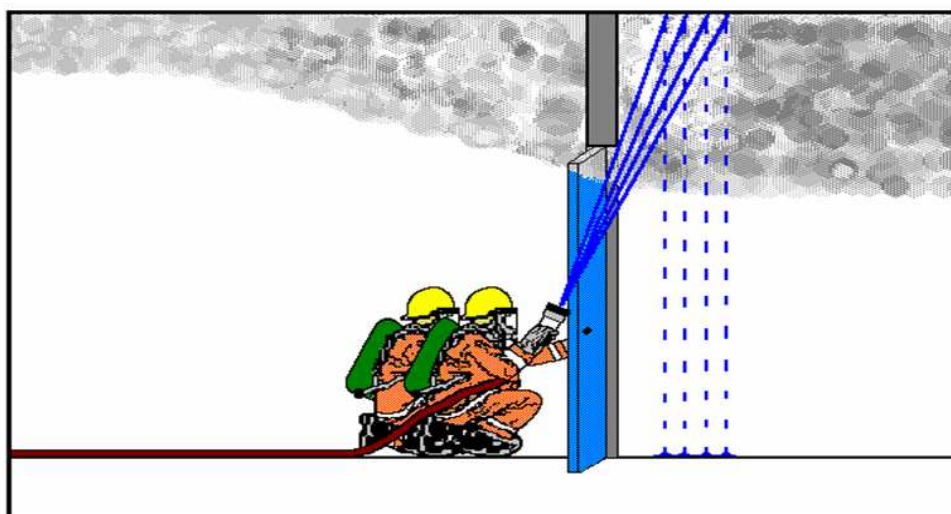


Před vstupem



2. Chlazení prostoru za dveřmi

Kontrola teploty vně a uvnitř

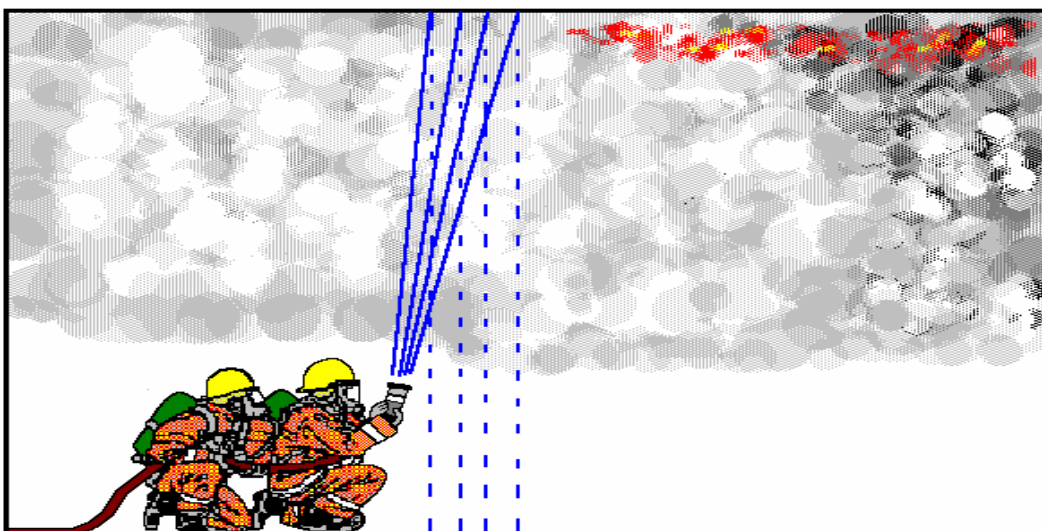


3. Vstup a pohyb v místnosti, nalezení ohniska

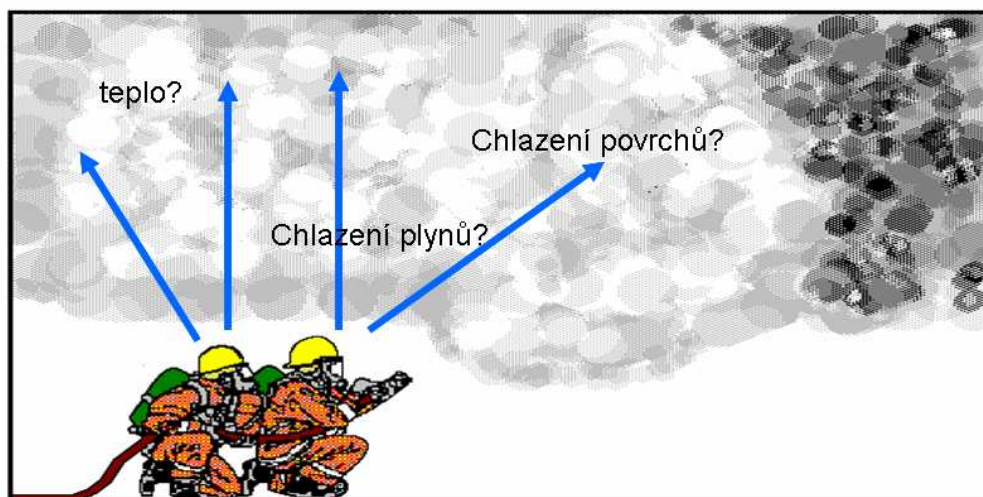
Při zemi



“Otevření kouřové vrstvy”

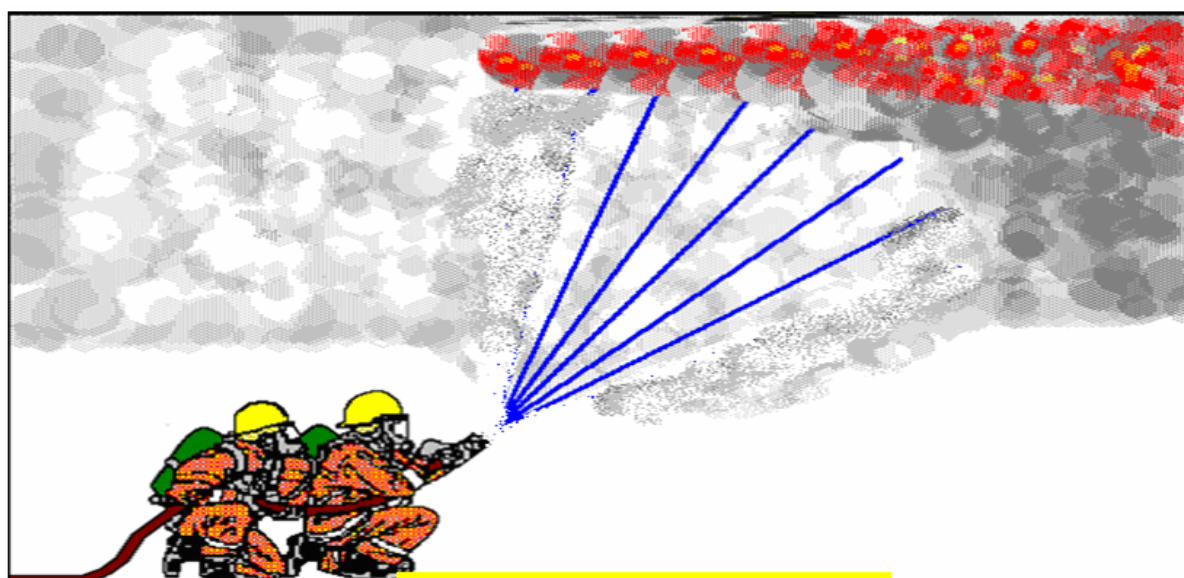


Sleduj chování požáru a použij vodu jak to nejlépe jde



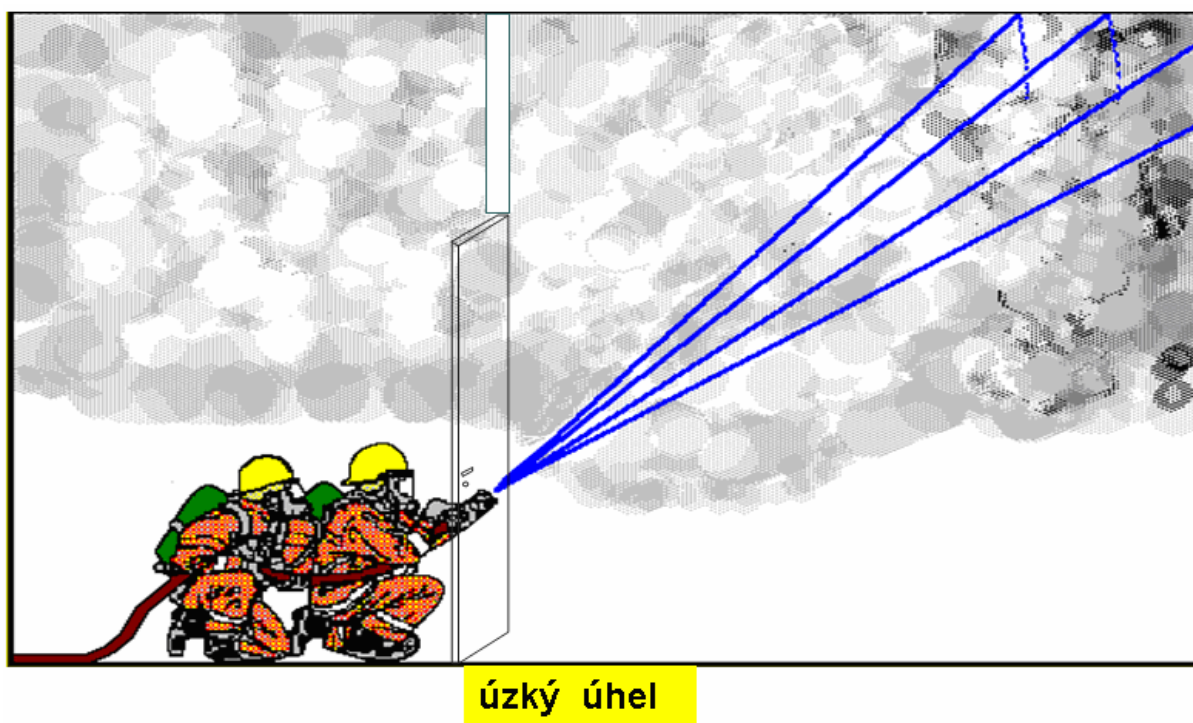
4. Vzplanutí kouřové vrstvy

Krátký puls



široký úhel – krátké pulsy

Dlouhý puls



5. Přímé hašení



