

Požáry v uzavřených prostorech



plk.Ing.Petr Ošlejšek

Hasičský záchranný sbor Olomouckého kraje

Požáry v uzavřených prostorech - charakteristika

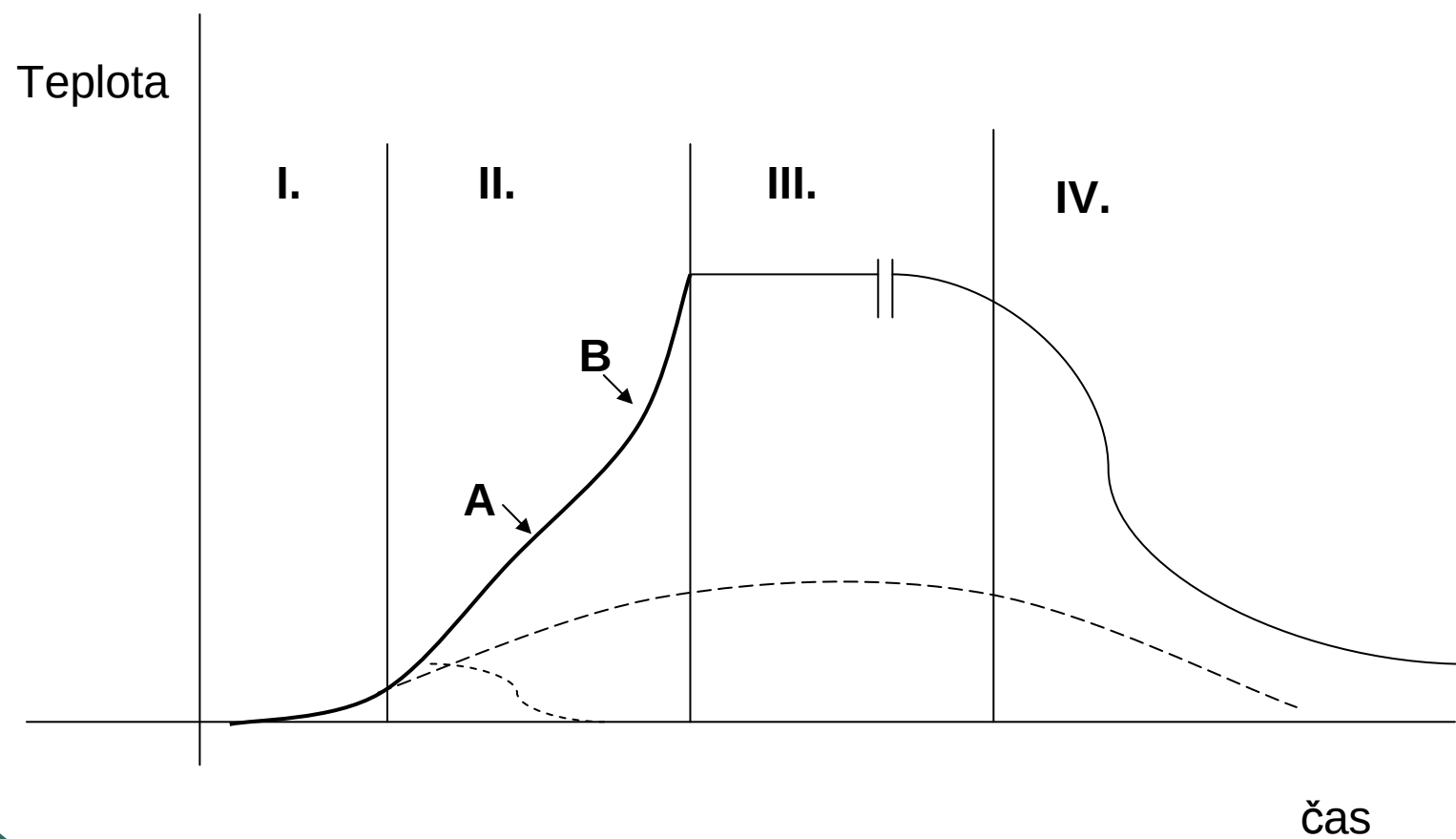
- **Mnoho**
 - hořlavých látek
 - produktů pyrolýzy
- **Málo**
 - vzduchu
- **Požár ovlivněn**
 - ventilací
 - geometrií prostoru
 - sdílením tepla
- **Specifické jevy**
 - vznícení produktu pyrolýzy
 - rollover
 - flashover
 - backdraft

Požáry v uzavřených prostorech flashover, backdraft - omyly

- pouze teorie
- málo pravděpodobné
- pouze v laboratorních podmínkách
- nepůsobí na hasiče
- ???????

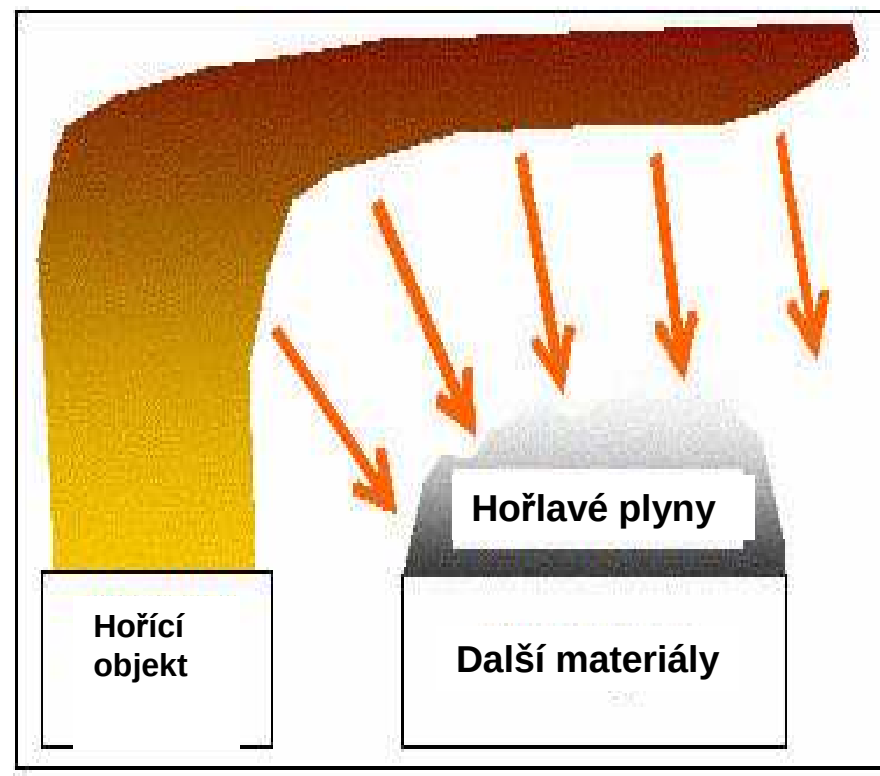
[VIDEO](#)

Teplovní křivka požáru a fáze požáru



Sdílení tepla při požáru

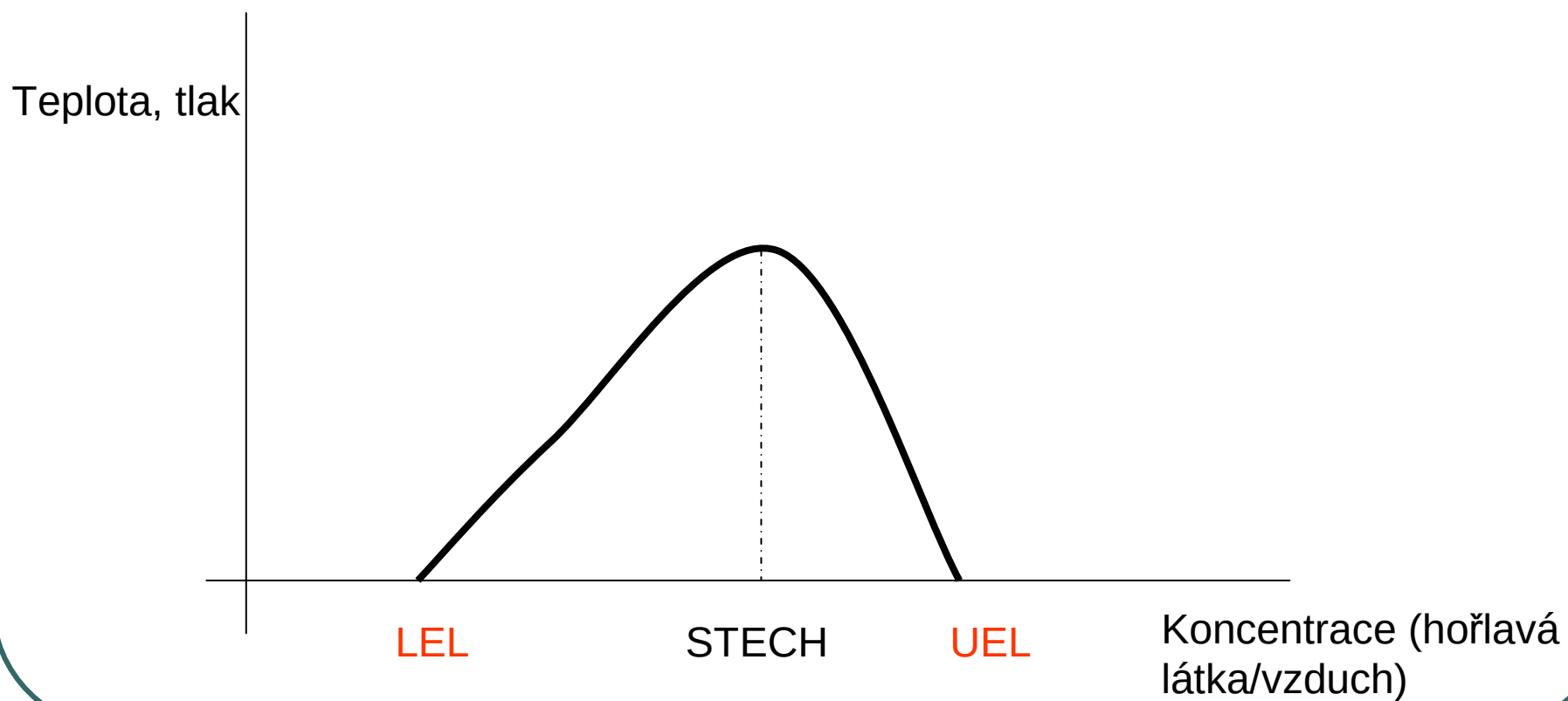
- **Konvekce (70%)**
- **Radiace (30%)**
- **Kondukce**



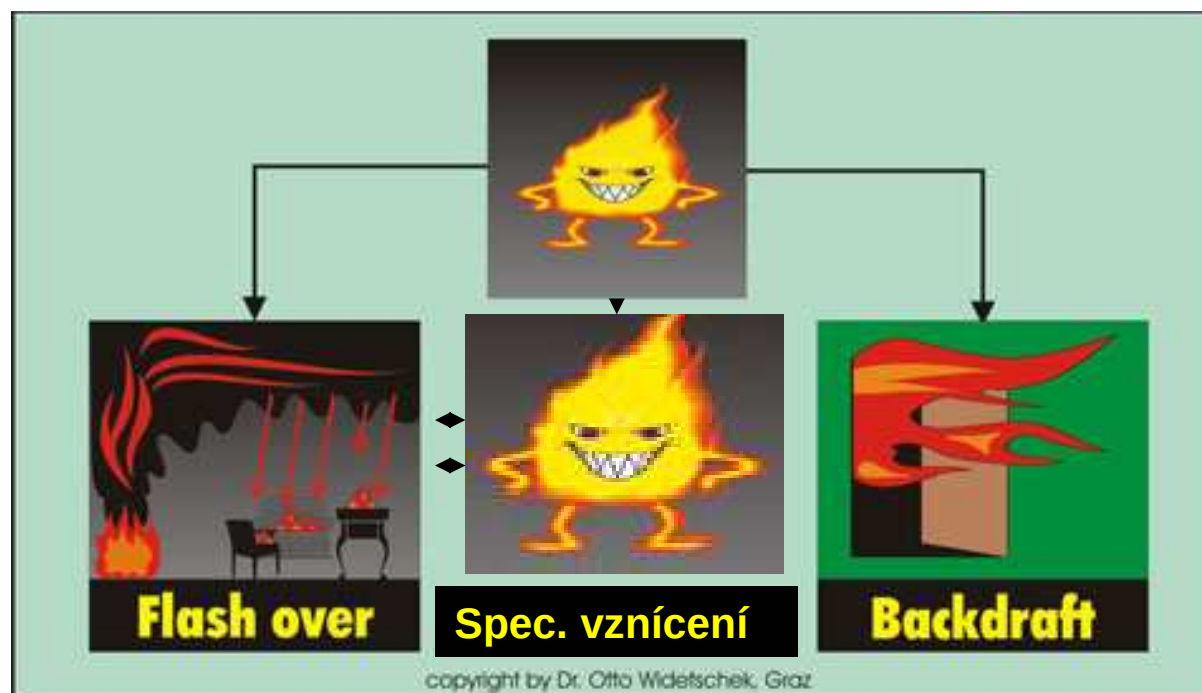
Produkty pyrolýzy a jejich hořlavost

- **Pevné hořlavé látky se působením tepla rozkládají – pyrolýza.**
- **Uvolněné produkty se mísí se vzduchem a za určitých podmínek reagují (hoří).**
- **Rychlost hoření je závislá především na jejich koncentraci.**

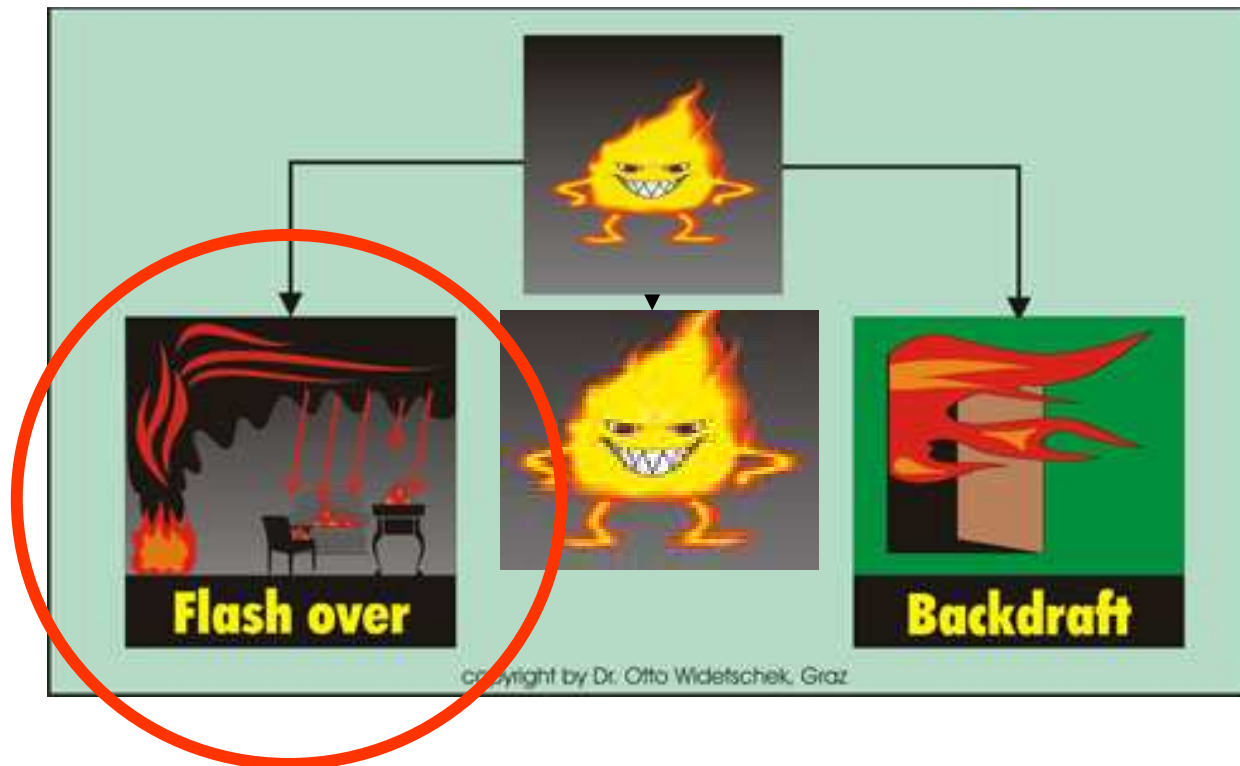
Produkty pyrolýzy a jejich hořlavost



Produkty pyrolýzy a jejich vznícení ve fázi intenzivního rozvoje požáru



FLASHOVER



Flashover - definice

- *„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)

Flashover

1 / 6 



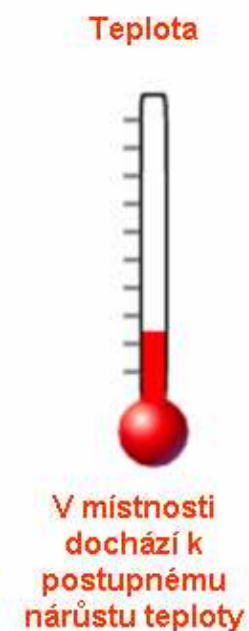
Vznik ohniska požáru

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

Flashover



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.

Flashover

3 / 6



Tlak
+
-
Tlak je na
hranici
normálního
tlaku

Teplota
Teplota v
místnosti
stoupá.

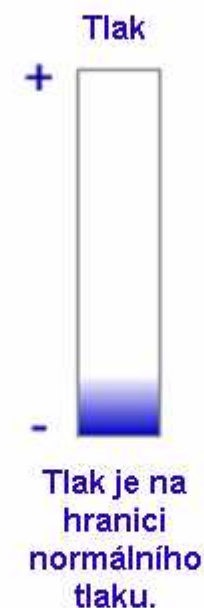
Šíření plamene

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

Flashover



4 / 6



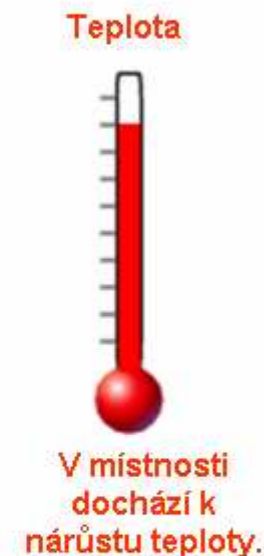
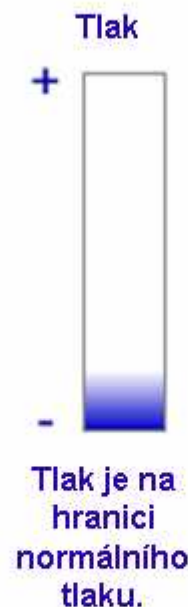
Nárůst teploty

Plameny se **rozšířily** 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.

Flashover



5 / 6



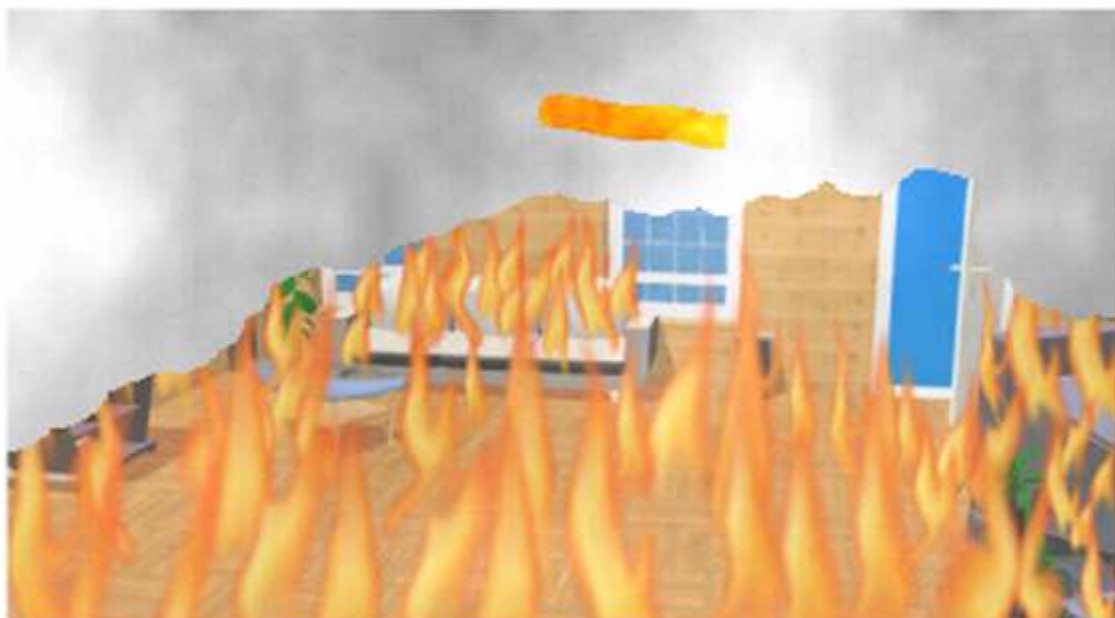
Rollover

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.

Flashover



6 / 6

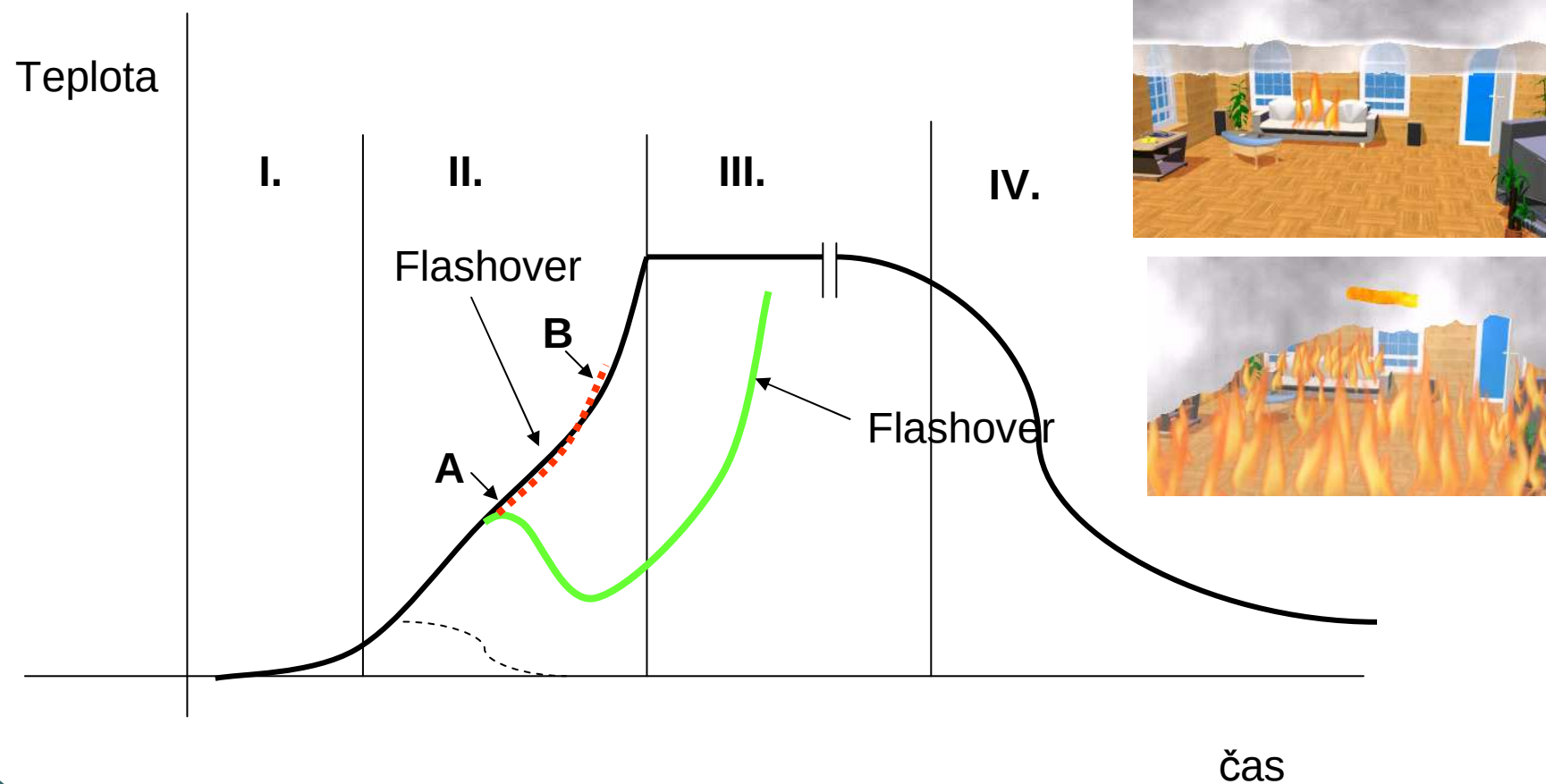


Celkové vzplanutí

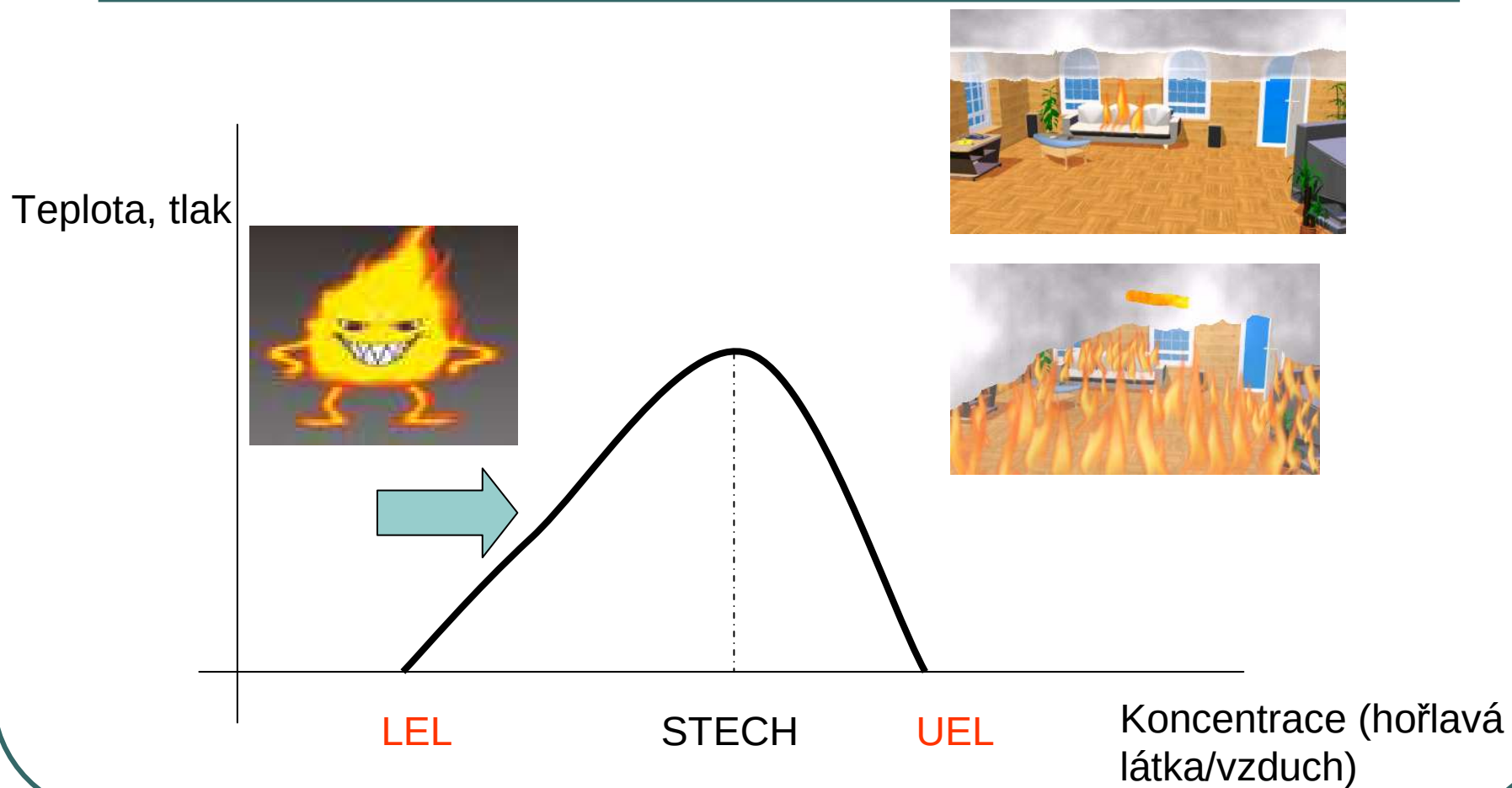
Celý prostor je naplněn produkty pyrolýzy, teplota v místnosti je vysoká. Nahřáté produkty pyrolýzy překročily v místnosti spodní mez výbušnosti a dochází k celkovému vzplanutí.



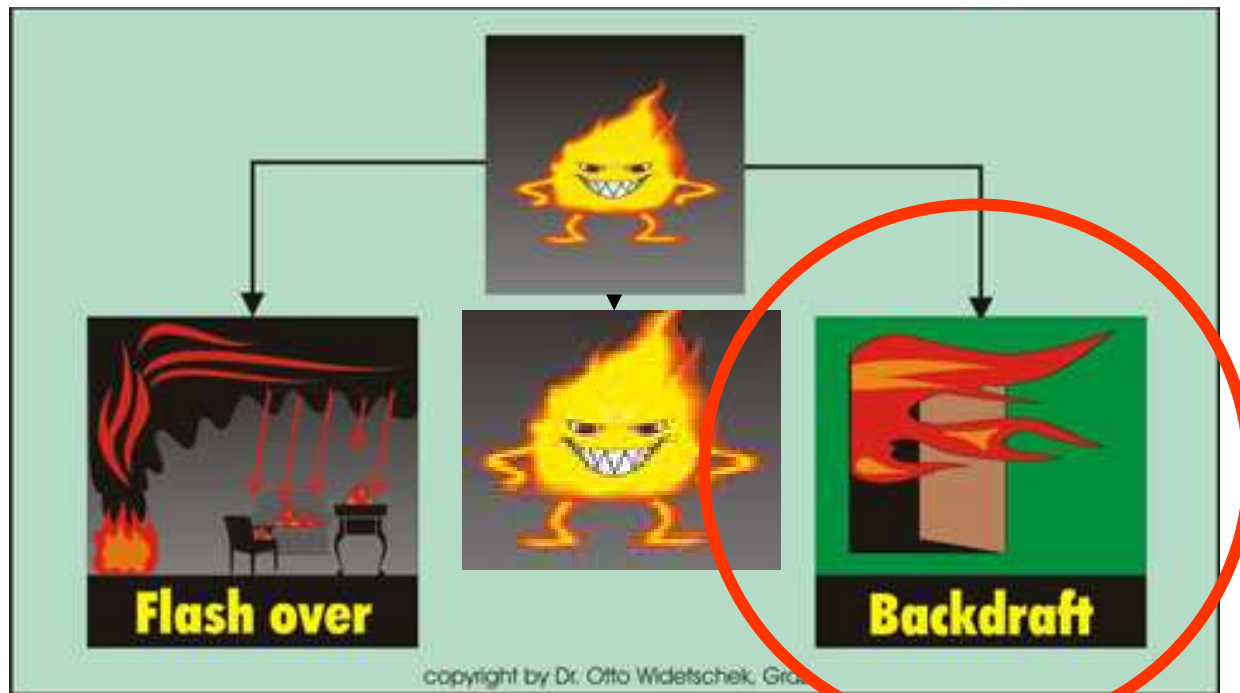
Teplotní křivka požáru a flashover



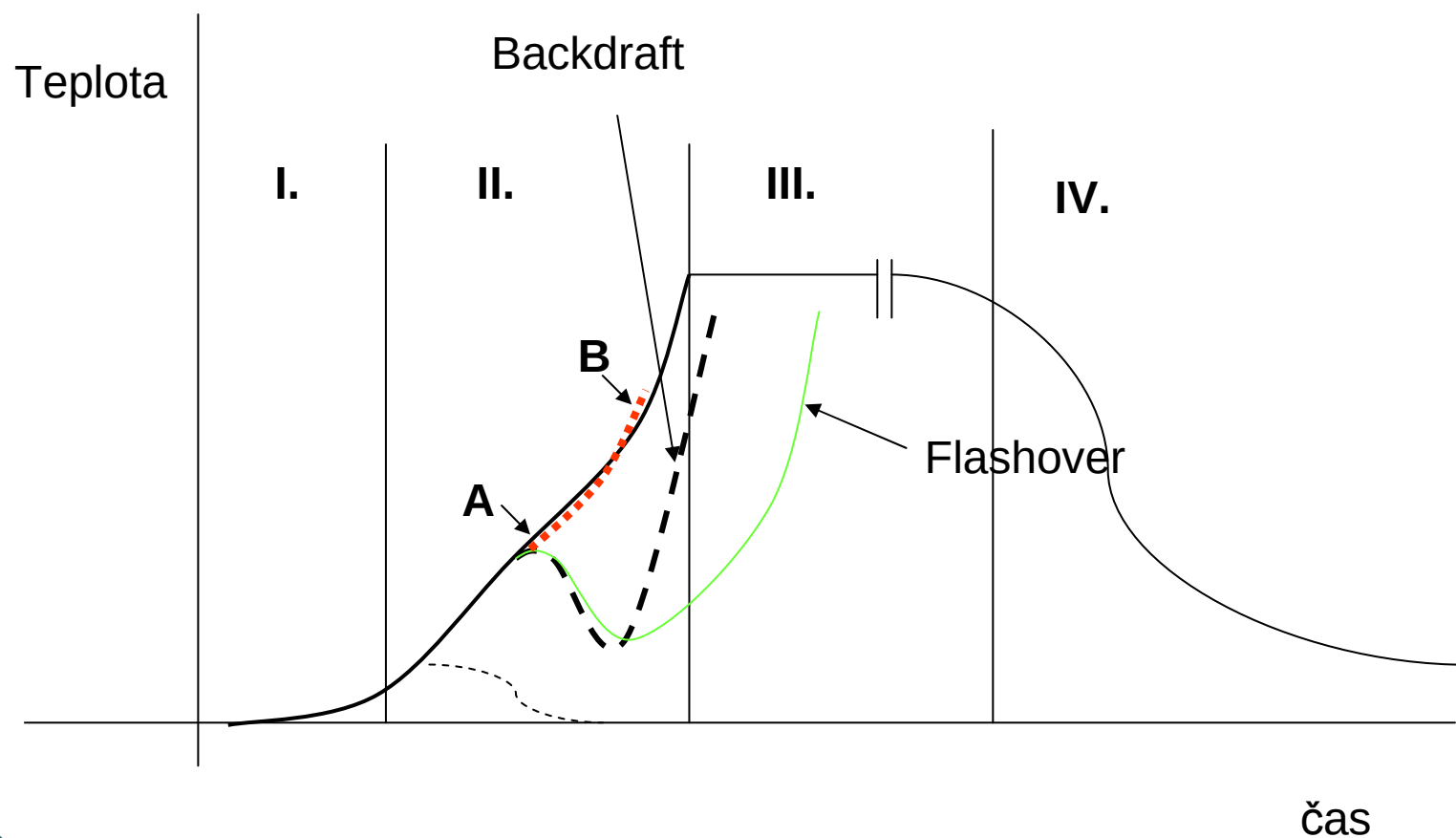
Flashover a meze hořlavosti



BACKDRAFT



Teplotní křivka požáru a fáze požáru



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.

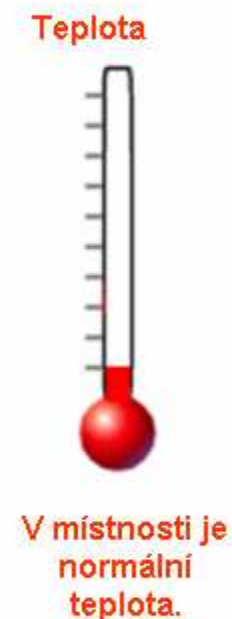
(Fire Research Station – UK 1993).

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)

Backdraft

1 / 6



Vznik ohniska

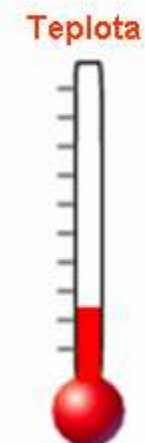
Ohnisko vzniklo na pohovce (špatně uhašená cigareta, zápalka apod..). Objevuje se malý plamínek.

Backdraft

2 / 6



Tlak v místnost
pomalu stoupá.



V místnosti
dochází k
nárůstu teploty.

Šíření plamene

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

Backdraft

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.

Backdraft



4 / 6



Tlak



Tlak v místnosti
rychle narůstá

Teplota



Teplota v
místnosti rychle
narůstá

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.

Backdraft

5 / 6



Tlak



Zvýšení a
pokles závisí na
fázi.

Teplota



Zvýšení a
pokles závisí na
fázi.

Stabilizace jevu

Oheň je ve fázi přípravy. Střídá 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

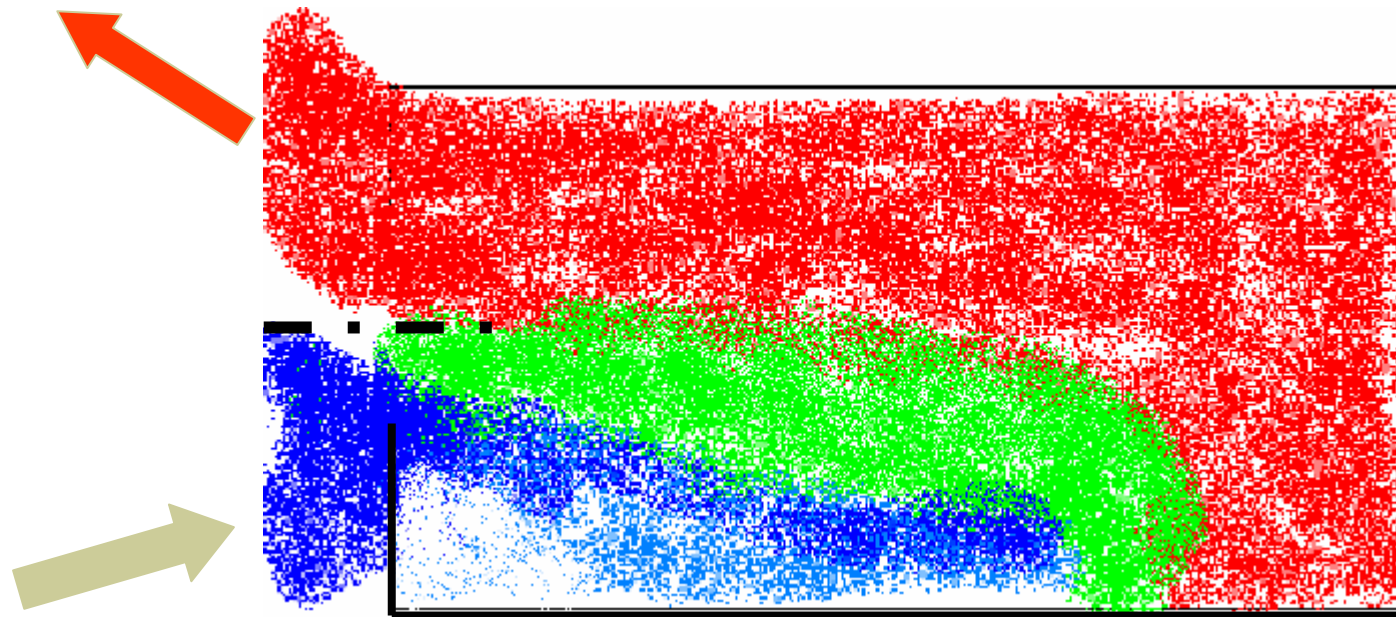
6 / 6



Backdraft

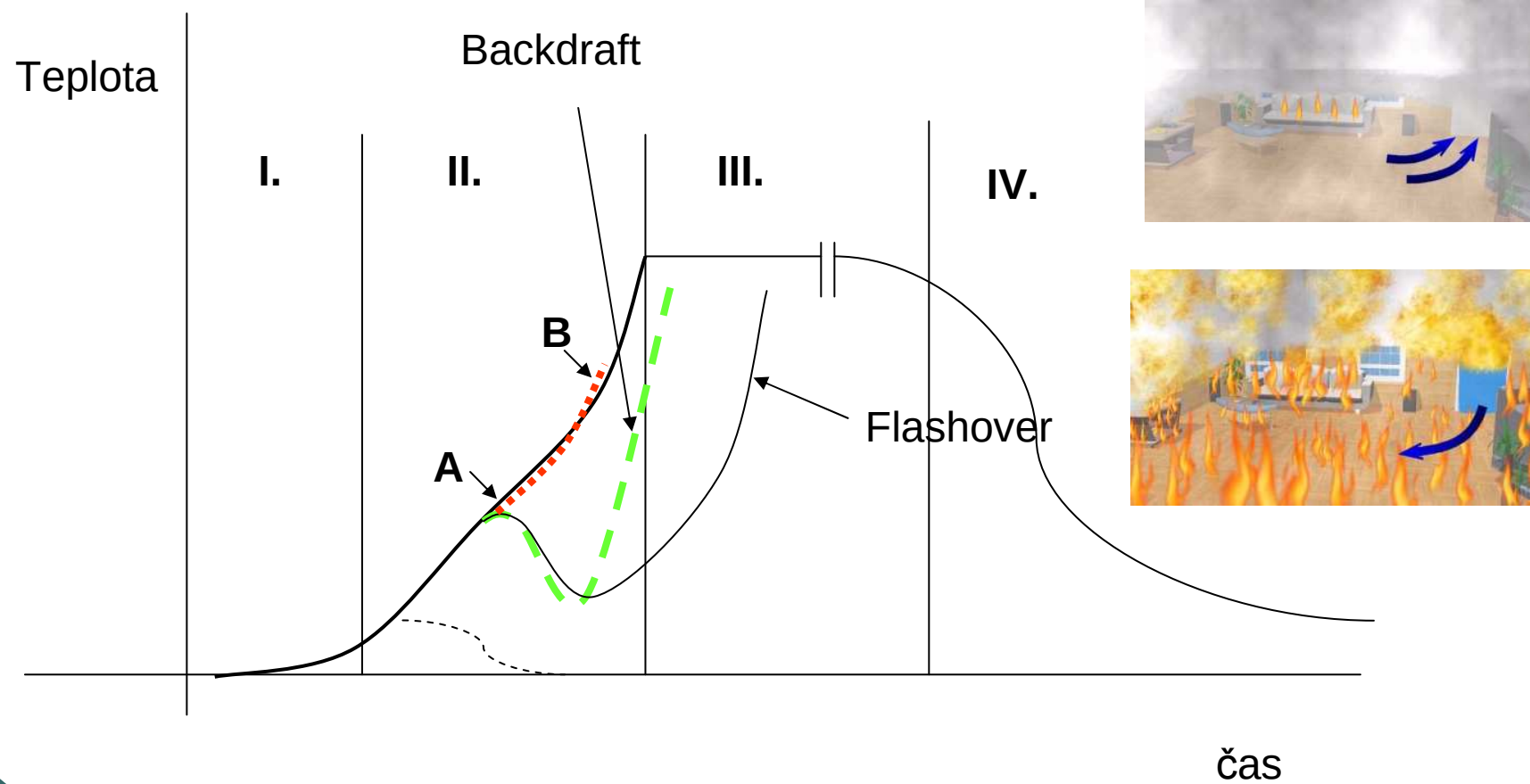
Náhlý přívod vzduchu dovnitř místnosti (otevření dveří, rozbité okno), vyvolaný prudkým snížením tlaku. Na rozhraní přiváděného vzduchu a kouřové vrstvy vzniká intenzivní hoření. (rychlost šíření více než 20 m/s) Dochází k celkovému vzplanutí v místnosti.

Backdraft

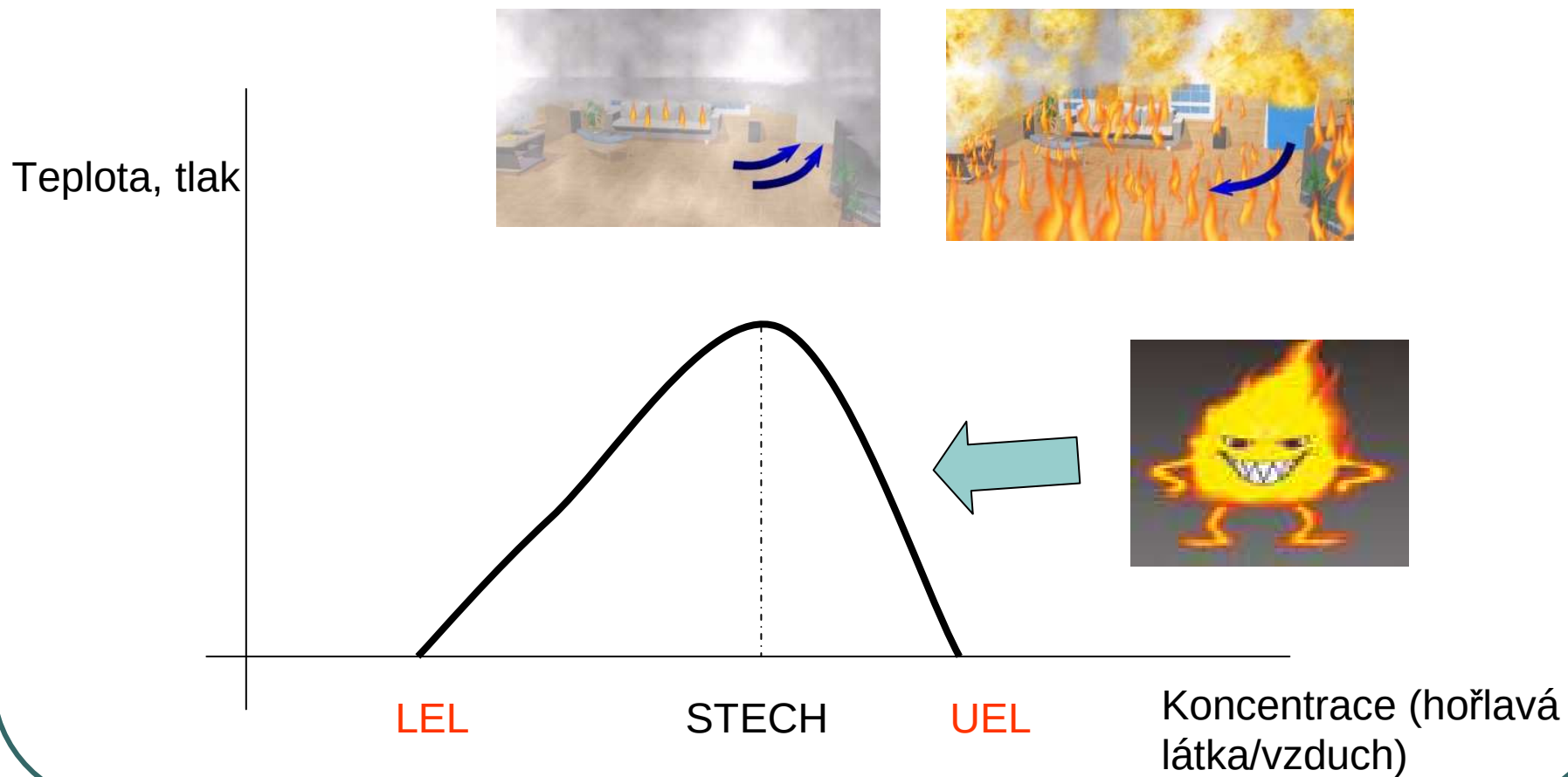


[Video](#)

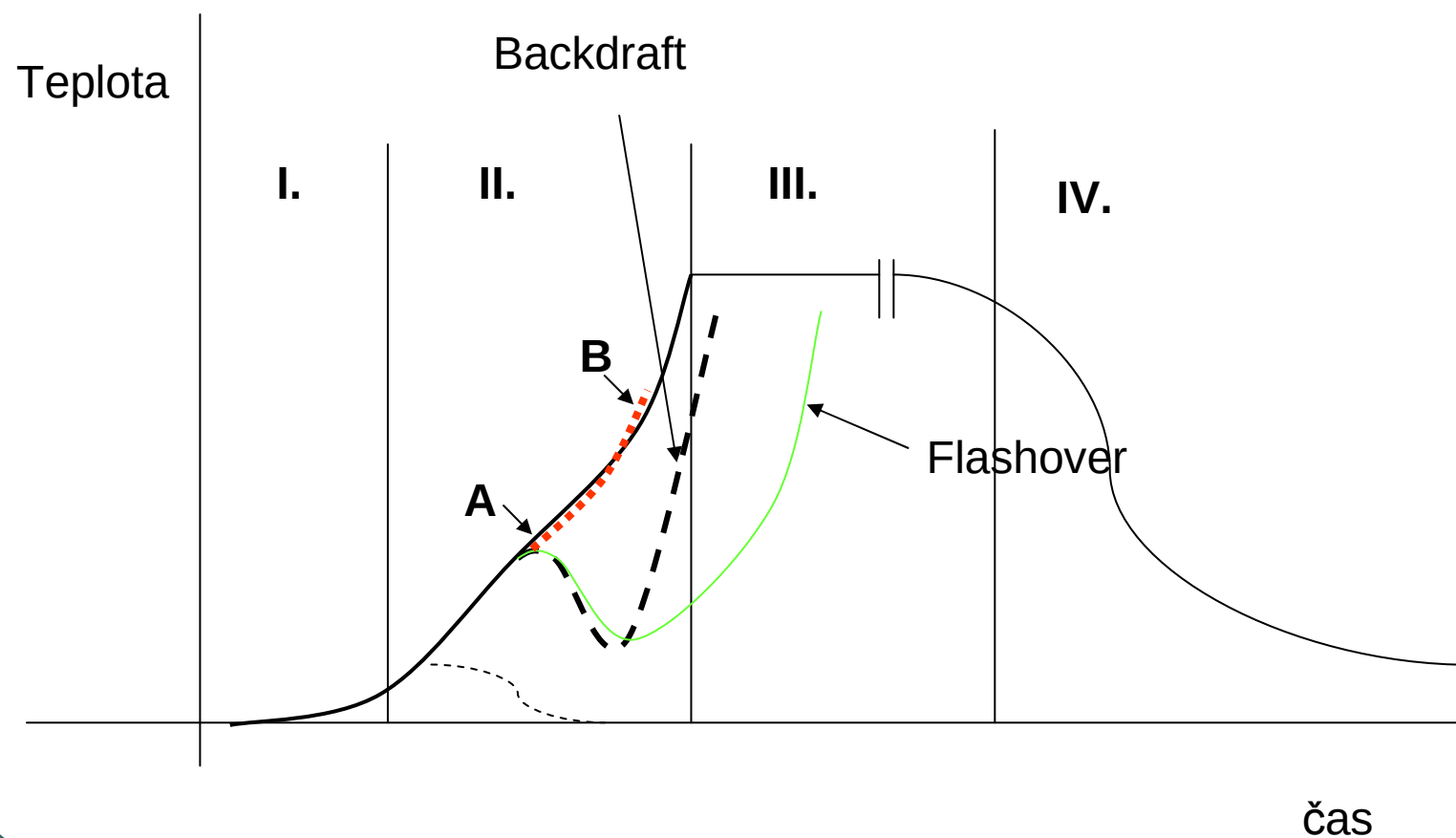
Teplotní křivka požáru a backdraft



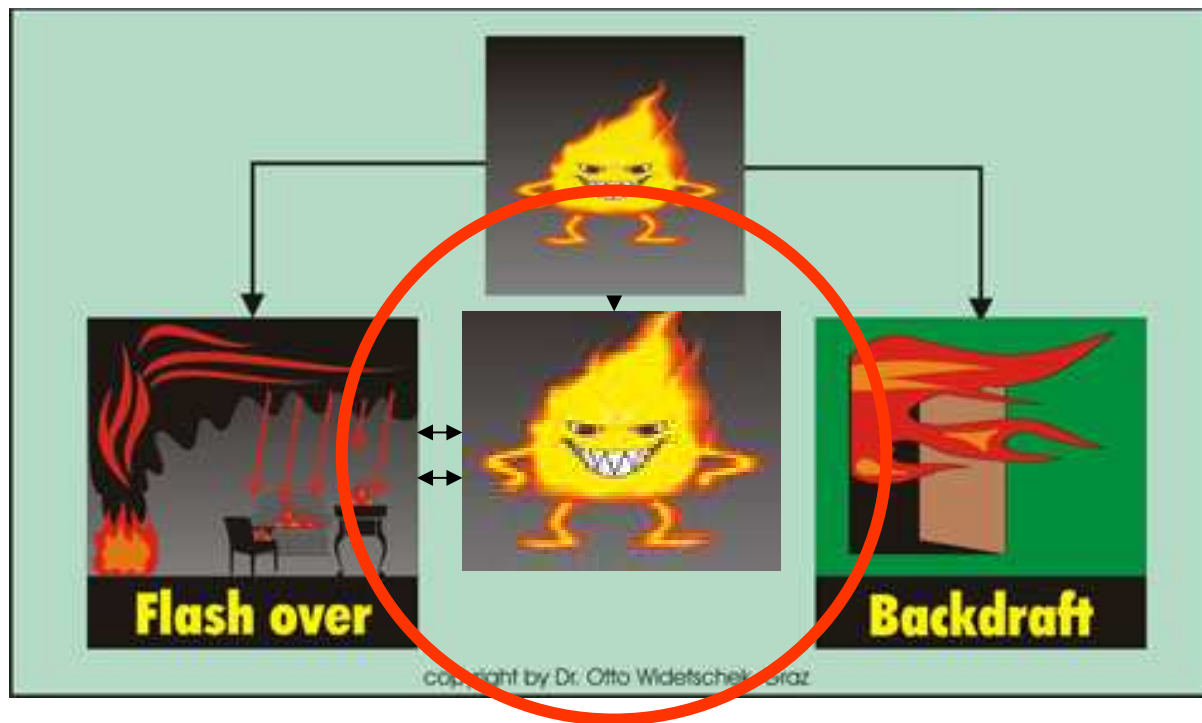
Backdraft



Teplovní křivka požáru a fáze požáru



Vznícení produktů pyrolýzy – další možnosti



Další možnosti vznícení produktů pyrolýzy

„kouřové balóny“

- Pro jejich zapálení není potřeba přídavku vzduchu, jsou již dostatečně promíchány a čekají pouze na iniciační zdroj.
- Lze očekávat
 - Pozorujeme-li v hořící místnosti nebo v okolních prostorech – kouřové balóny, odvalující se kouř.



Iniciační zdroj



Iniciační zdroj



Iniciační zdroj

Další možnosti vznícení produktů pyrolýzy

vzplanutí přehřátých produktů hoření

- Hořlavé produkty proudí z hořících místností a jsou promíchávány se vzduchem.
- V případě jakmile dojde k překročení horní hranice hořlavosti plynů ve směsi dochází k hoření. Plamen se může dostat zpět do místnosti díky nahromaděné vrstvě zplodin.

[animace](#)

Další možnosti vznícení produktů pyrolýzy

Změna směru proudění nahřátých zplodin,
změna směru tepelného toku a plamenů

- nasazení proudů proti sobě
- nasazení přetlakové ventilace
- komínový jev (zvláště ve výškových budovách), možnost změny odtahu zplodin

Rozvoj požáru a probíhající děje

- Stupňovité (flashover)
- Krátkodobé a intenzivní (backdraft)
- Krátkodobé a stupňovité jevy na sebe mohou navazovat postupně nebo probíhat současně.
- V praxi je těžké stanovit které specifické projevy způsobily rychlý rozvoje požáru.

Důležité

I. rozpoznání varovných signálů, předcházejících náhlému vzplanutí

II. nasazení adekvátní taktiky

Využití termokamery

Varovné signály a opatření

- Náhlé otevření dveří může zapříčinit flashover, backdraft, nebo pokles tlaku na schodišti (jestliže ještě nedošlo k porušení oken v prostoru zasaženém požárem)
- Minimalizaci jevů můžeme dosáhnout technikou otevírání dveří a 3D vodní mlhou.
- Uzavřením dveří do schodiště v daném podlaží, předtím ještě než otevřeme dveře do hořící místnosti.

Varovné signály a opatření

- Požáry v těžce přístupných místech, v podkrovích, nebo v dobře izolovaných místnostech s omezeným větráním skýtají velké riziko backdraftu, zvláště pokud jsou v těchto místnostech zplodiny hoření velmi dlouhou dobu. V okolí říms a okapů je možné vidět varovné signály upozorňující na přetlak v prostoru.
- Odvětrání a použití 3D vodní mlhy jsou efektivní opatření a mohou předejít vzniku backdraftu.

Varovné signály a opatření

- Olejové zbytky na okenních otvorech, horké dveře, horké dveřní kliky a pulsující kouř v okolí těchto objektů jsou jistými příznaky toho, že pokud dojde k otevření dveří nebo oken je dosti velká pravděpodobnost vzniku backdraftu.
- Odvětrání spojené s aplikací 3D vodní mlhy.

Varovné signály a opatření

- Signály upozorňující na možnost vzniku backdraftu jsou: pulsace kouře, jeho černá barva a odvalování. Pozorujte před vstupem do místnosti vlastnosti kouře a kouř nad dveřními otvory.
- Aplikujte 3D mlhu do horní části k inertizaci zplodin hoření nebo k vlastnímu hašení.

Varovné signály a opatření

- Přítomnost modře zabarvených plamenů v hořící místnosti. Varovný signál pro předmísené hoření.
- Použití 3D vodní mlhy a unik.

Varovné signály a opatření

- Každé náhlé zvýšení tepla v hořící místnosti je signálem pro vznikající flashover. Teplo donutí hasiče lézt při zemni.
- Použijte krátké vodní impulsy do horní části a použijte 3D vodní mlhu pro schlazení plynné fáze.

Varovné signály a opatření

- Plamen v kouřové vrstvě je předzvěstí flashoveru. Kouř klesá velmi rychle k podlaze a hoří tak, že oheň obaluje spodní část kouřové vrstvy,
- Vyjděte z místnosti a do prostoru kouře aplikujte impulsní proud.

Další doporučení

- Při vytváření a otevírání otvorů ve stěně, dutinách mějte připraven proud s vodou a všechny plyny které vystupují z otvoru nebo se do otvoru nasávají ochlazujte impulsy vody.

Další doporučení

- Nevylučujte nikdy nebezpečí i když je oheň uhašen, např. při likvidačních pracích. Dávejte pozor na nahřáté plyny, které se mohou nacházet pod vrstvami neshořelých materiálů (v uzavřených prostorech, podkrovích a apod.). Do doby než je prostor dokonale odvětrán ochlazujte prostředí.
- Dle okolností opatrně nasazujte přetlakovou ventilaci, která může zanést hořící zbytky nebo nažhavené částice do oblaku přehřátých hořlavých plynů.

Technika hašení

**Použití vody jako
hasícího prostředku**

Hašení vodou

- působení na trojúhelník hoření
- velikost kapek a vodní proud
- technika hašení
 - přímé
 - nepřímé - chlazení povrchů
 - chlazení plynů 3D mlha
- taktika hašení
 - vstup do prostoru
 - požáry před intenzivním rozvojem (pre - flashoverové)
 - plně rozvinuté požáry

Působení vody na požár



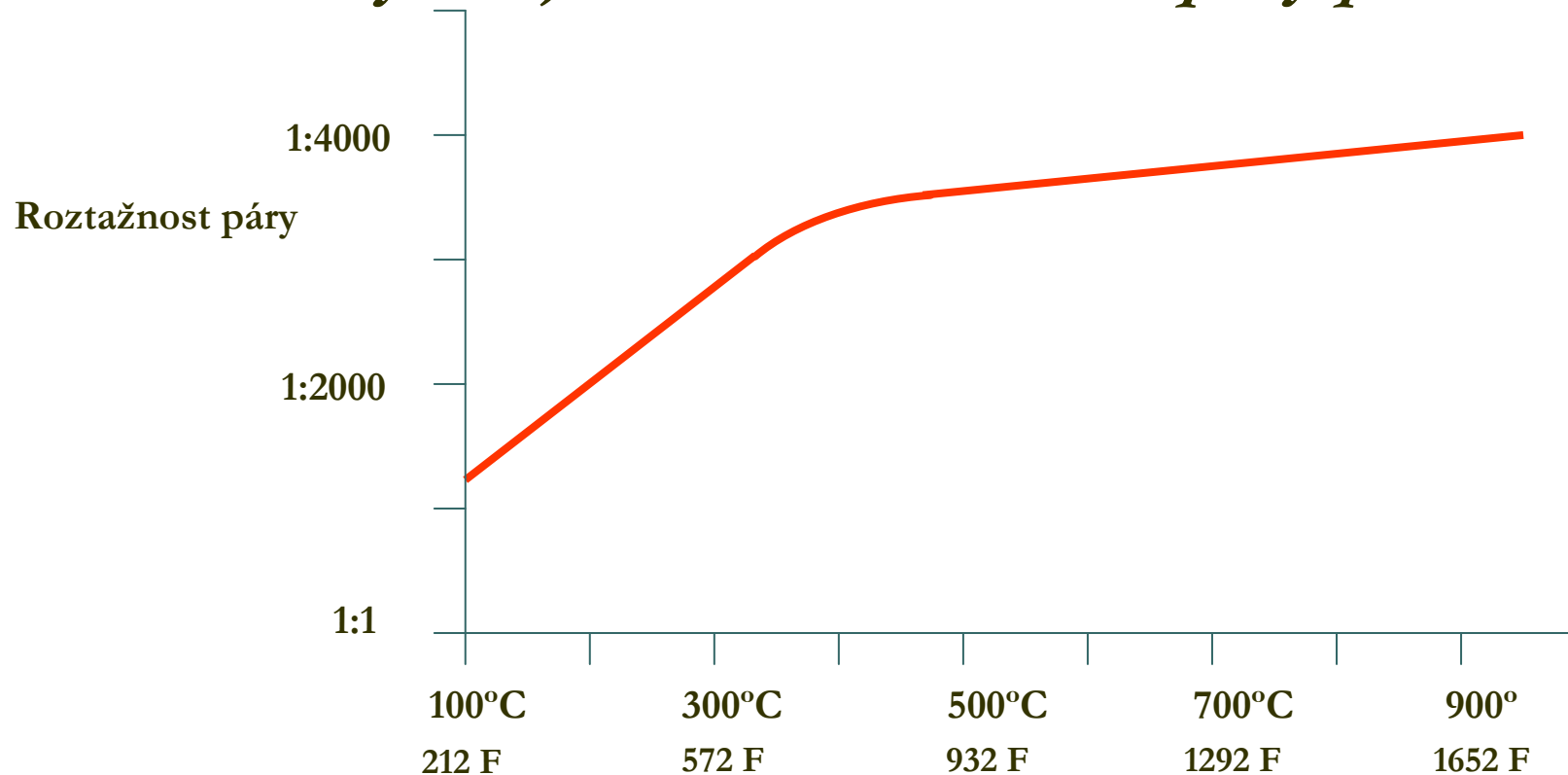
Ředění zplodin pyrolýzy

Zpomalování pyrolýzy

Odvod plynných látek z místnosti

Změna objemu vody v páru

1 litr vody zaujme 1700 litrů vodní páry při 100° C



Změna objemu při přechodu vody na páru v závislosti na teplotě

$$PV = nRT$$

$$PV = \frac{mRT}{M}$$

$$V = \frac{mRT}{MP}$$

$$n = \frac{m}{M}$$

P = tlak (Pa)

V = objem

n = hmotnost/molární hmotnost

R = 8,31

T = teplota (K)

$$100^{\circ}\text{C} \quad V = \frac{1000 \times 8,31 \times 373\text{K}}{18 \times 101300} = 1,7\text{m}^3$$

$$600^{\circ}\text{C} \quad V = \frac{1000 \times 8,31 \times 873\text{K}}{18 \times 101300} = 3.98\text{m}^3$$

$M_{\text{H}_2\text{O}}$

$M_{\text{H}} = 1 \times 2 = 2$

$M_{\text{O}} = 16$

$2+16=18 \text{ g/mol}$

Plně rozvinutý požár v místnosti

teoretická spotřeba vody

Objem místnosti:	$6 \times 8 \times 2,5 = 120 \text{ m}^3$
Koncentrace vodní páry pro hašení	45%
teplota	100°C (212°F)
Objem vodní páry	54 m^3
Množství vody	32 litrů
intenzita	$5 \text{ litrů/sec} \times 6,4 \text{ sec} = 32 \text{ litrů}$

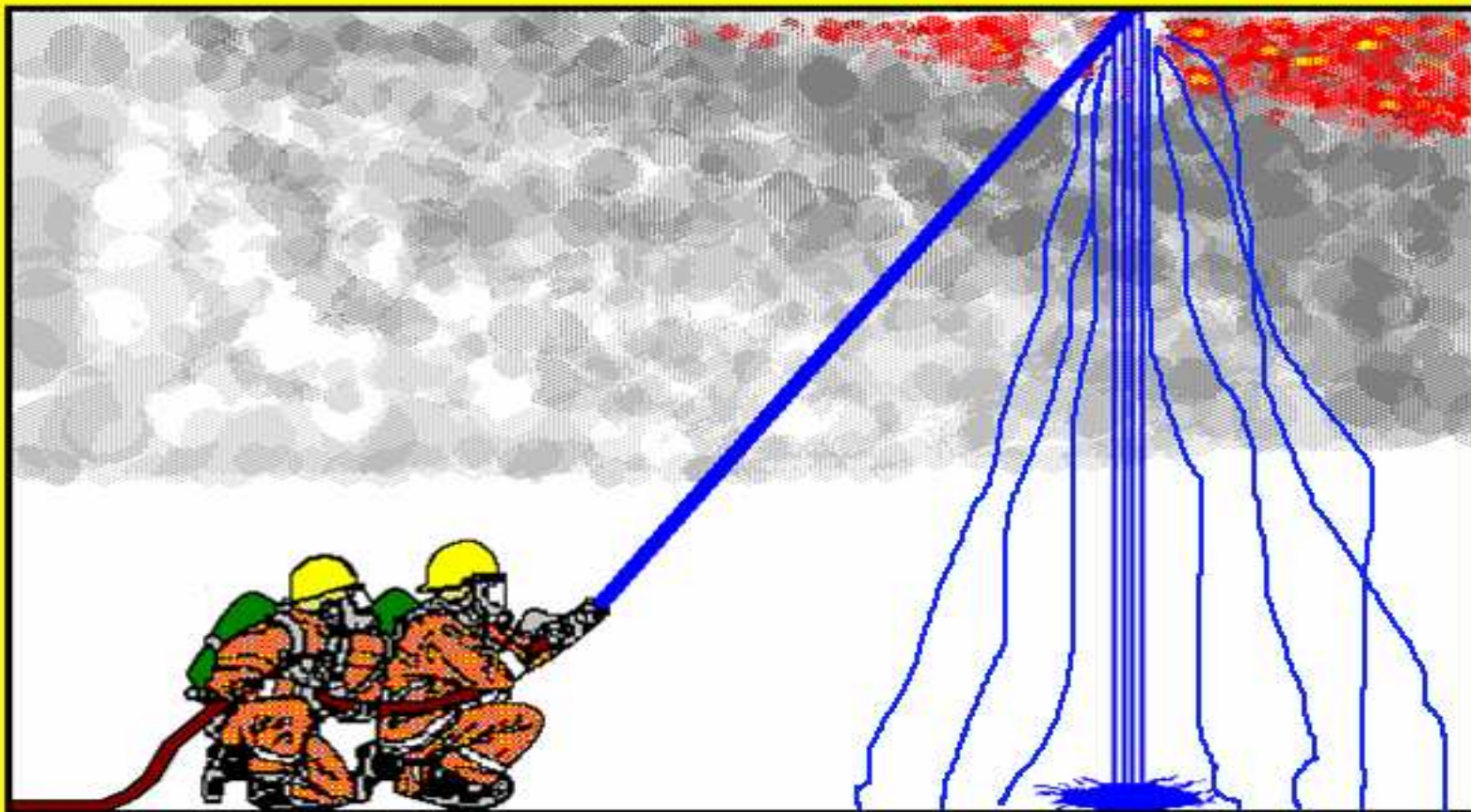
Působení vody na požár

- voda
 - vytvoření vodní páry
- neutrální rovina
 - turbulence v místnosti
- hořlavé plyny
 - redukce objemu
 - zvednutí neutrální roviny
 - snížení intenzity hoření

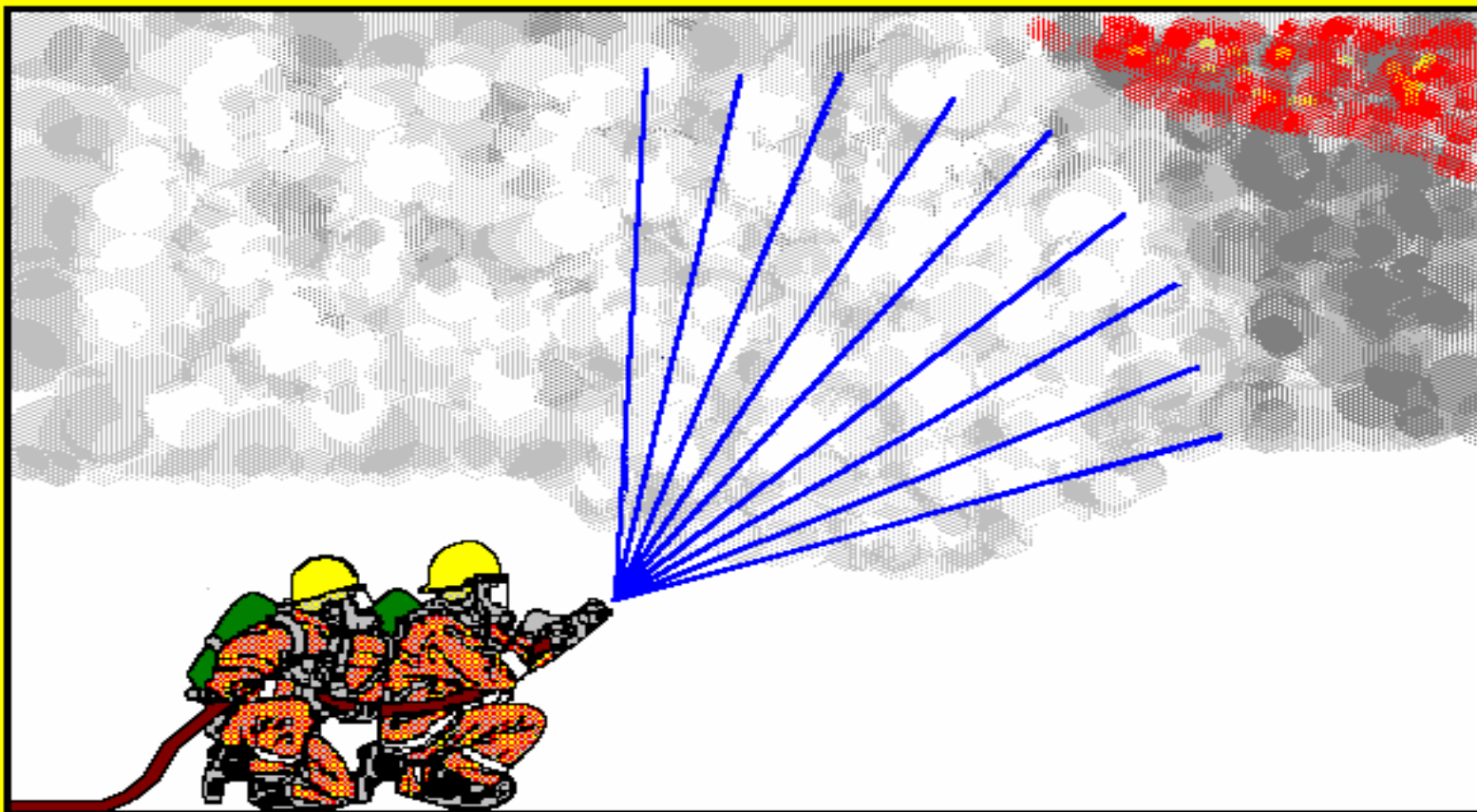
Velikost kapek

Efekt rozdílné velikosti kapek vody

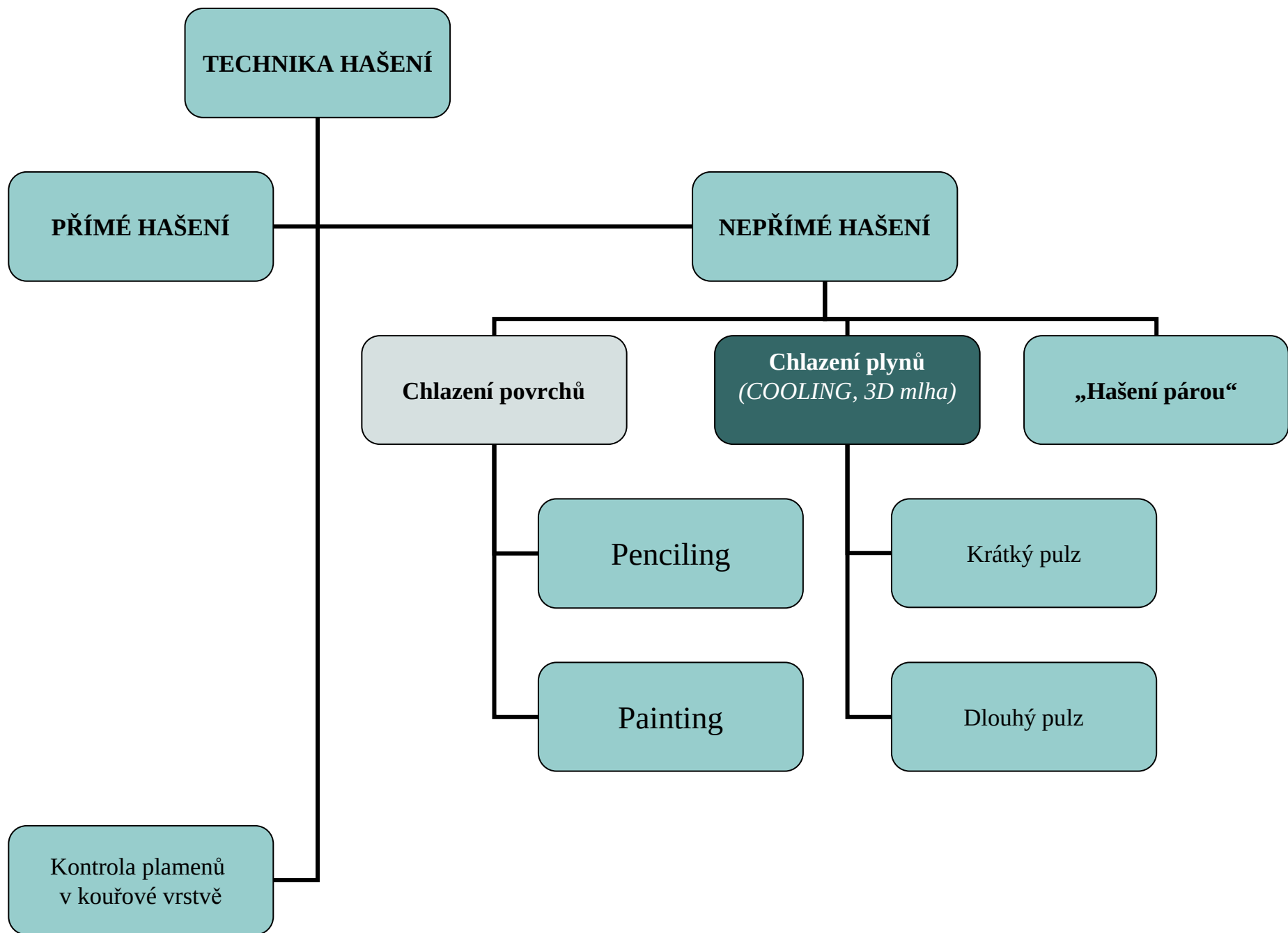
Velké kapky



Malé kapky

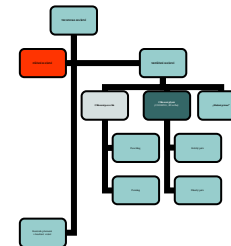


široký úhel



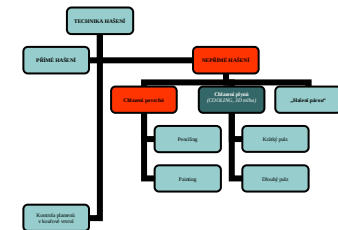
Přímé hašení

- voda je dodávána přímo do plamene



Nepřímé hašení

Chlazení povrchů – penciling, painting



- lepší většími kapkami (projdou dále bez odpaření zahřátými zplodinami)
- 2 mm kapky se dostanou do vzdálenosti 10-30 metrů
- přímo na hořící povrch
- chlazení nehořících konstrukcí
- snížení intenzity pyrolýzy

Povrchové chlazení

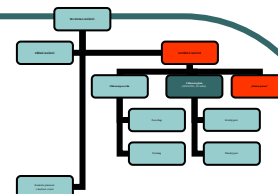


Povrchové chlazení



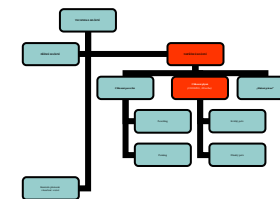
„Hašení párou“

Použití vody jako plynného hasícího prostředku



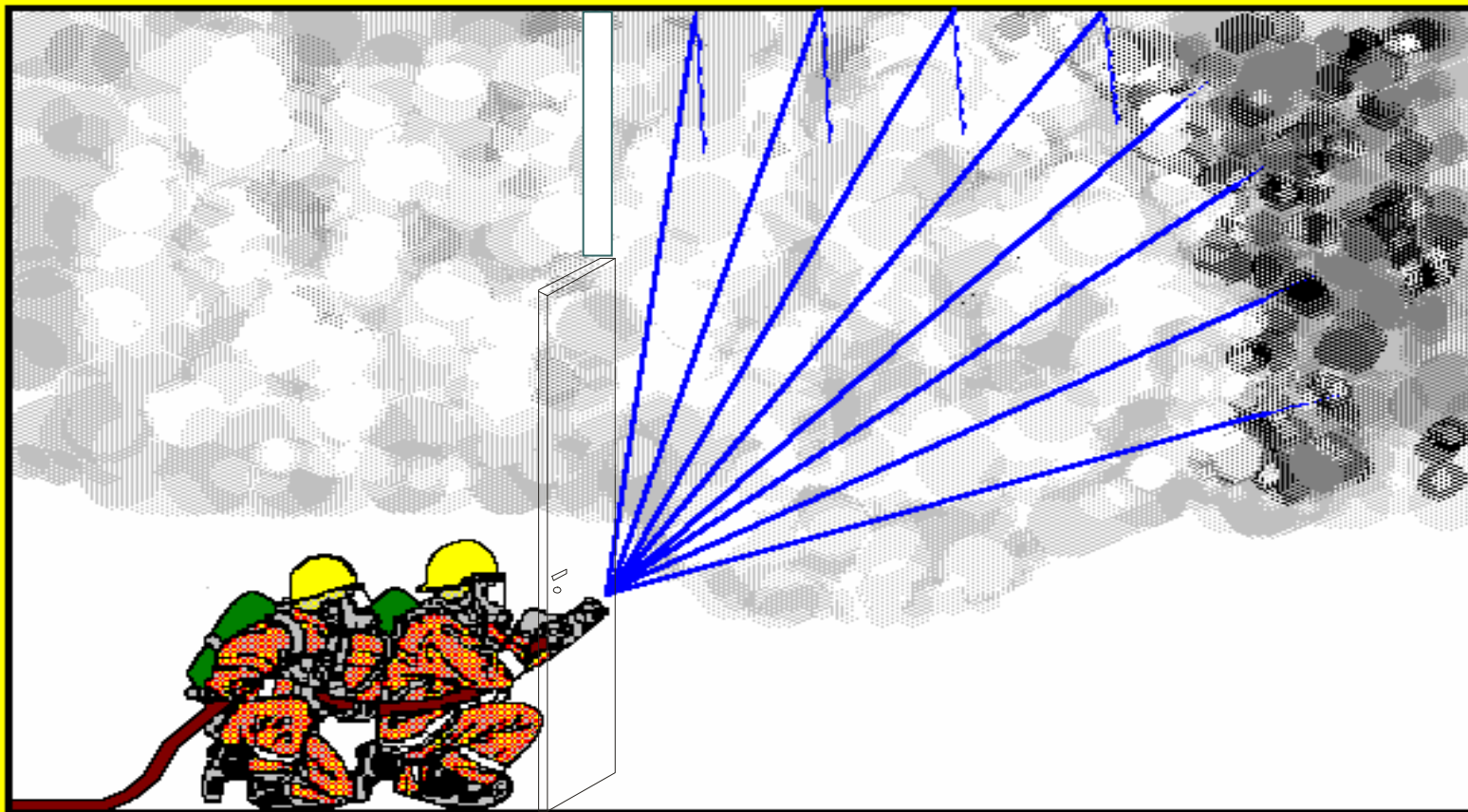
- zkropení horkých povrchů, zvláště stropu a ohnisek hoření
- vodní odpar zaplní objem, plameny nemají dostatečnou teplotu a zhasínají
- ředění

Chlazení plynů COOLING - 3D vodní mlha



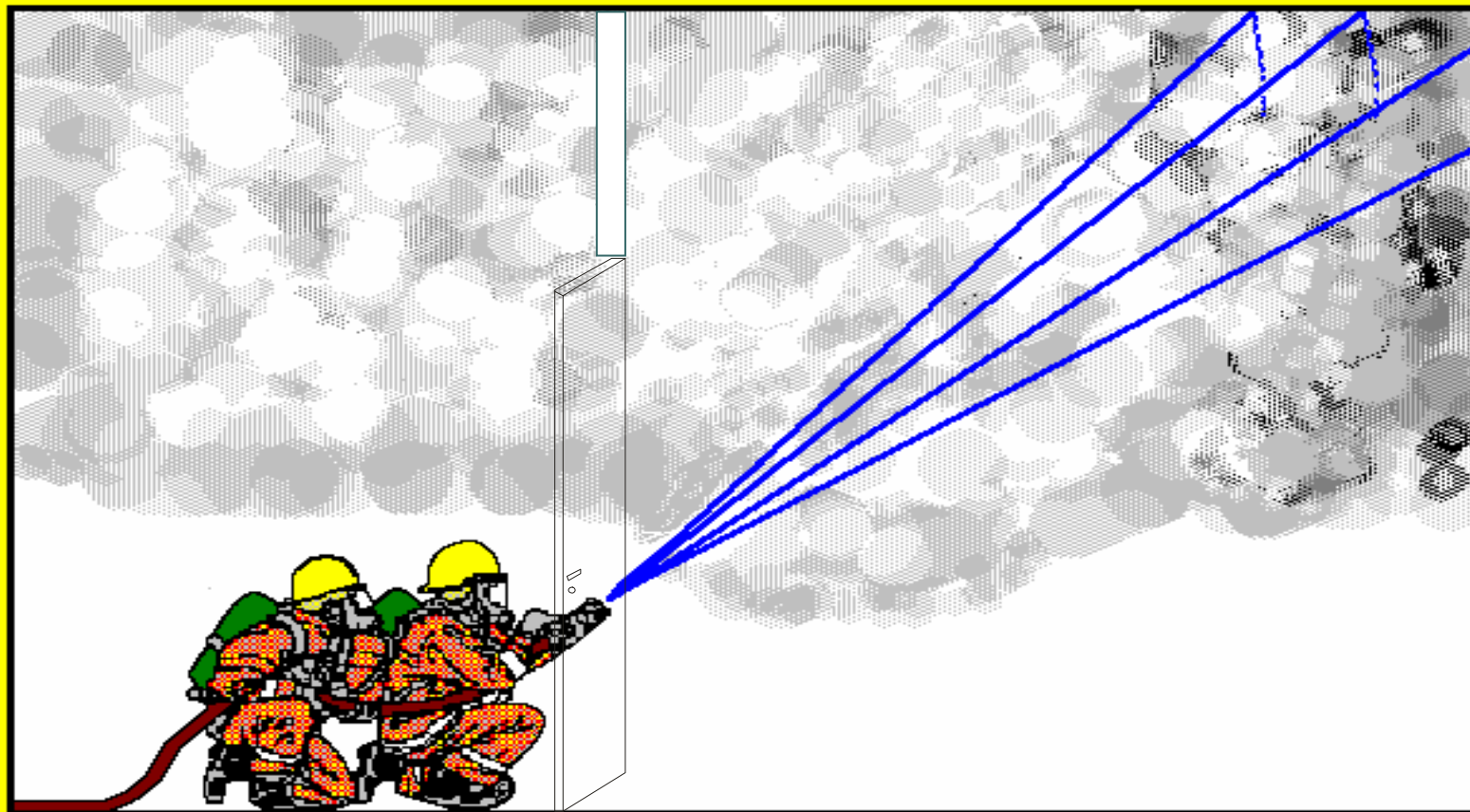
- působíme na zapálené a nezapálené produkty pyrolýzy
- vodní tříšť by měla pokud možno dostatečně zakrýt celý objem plynů najednou
- 3D vodní mlha – kapičky udrží ve vzduchu alespoň 4 sekundy
- malé kapičky vody $<0,5\text{mm}$

Dlouhý pulz



široký úhel

Dlouhý pulz



úzký úhel

Dlouhý puls – další možnosti



Krátký puls

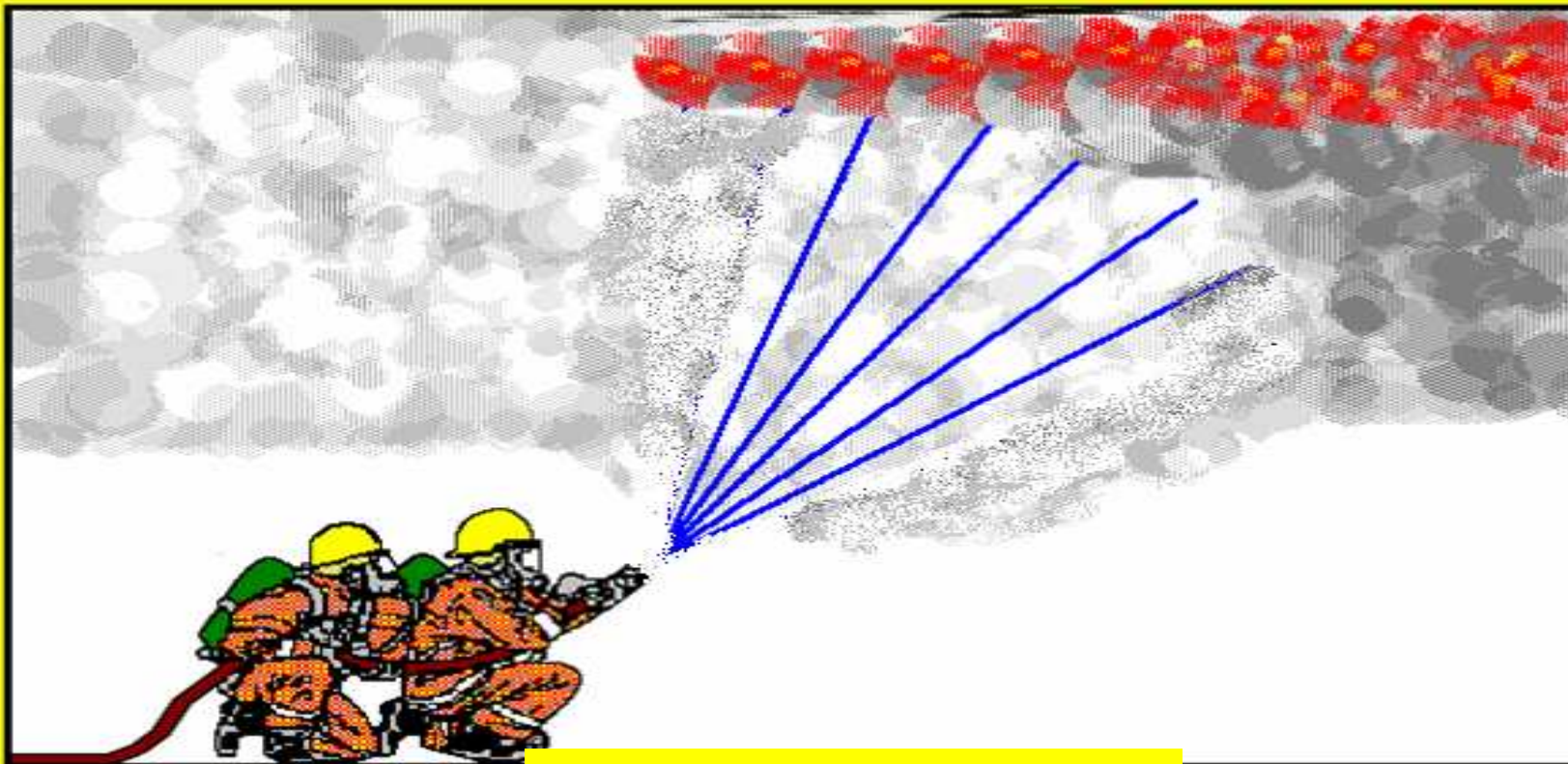
- náročnější na provedení
- menší spotřeba vody
- do prostoru není dodáván vzduch tak jako u dlouhého pulsu

[Video](#)

Short Pulse
TFT Ultimatic
10-100 gpm @ 75 psi
(shown at 100psi)

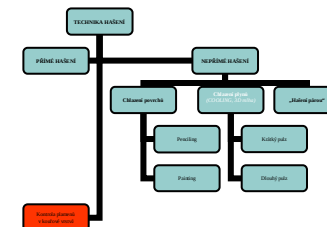
3D Firefighting

Chlazení plynů – krátký puls



široký úhel – krátké pulsy

Kontrola tepla/otevření kouřové vrstvy



● Důvod

- stanovení teploty
- stanovení chování požáru
- indikace výšky do stropu
- chlazení produktů hoření

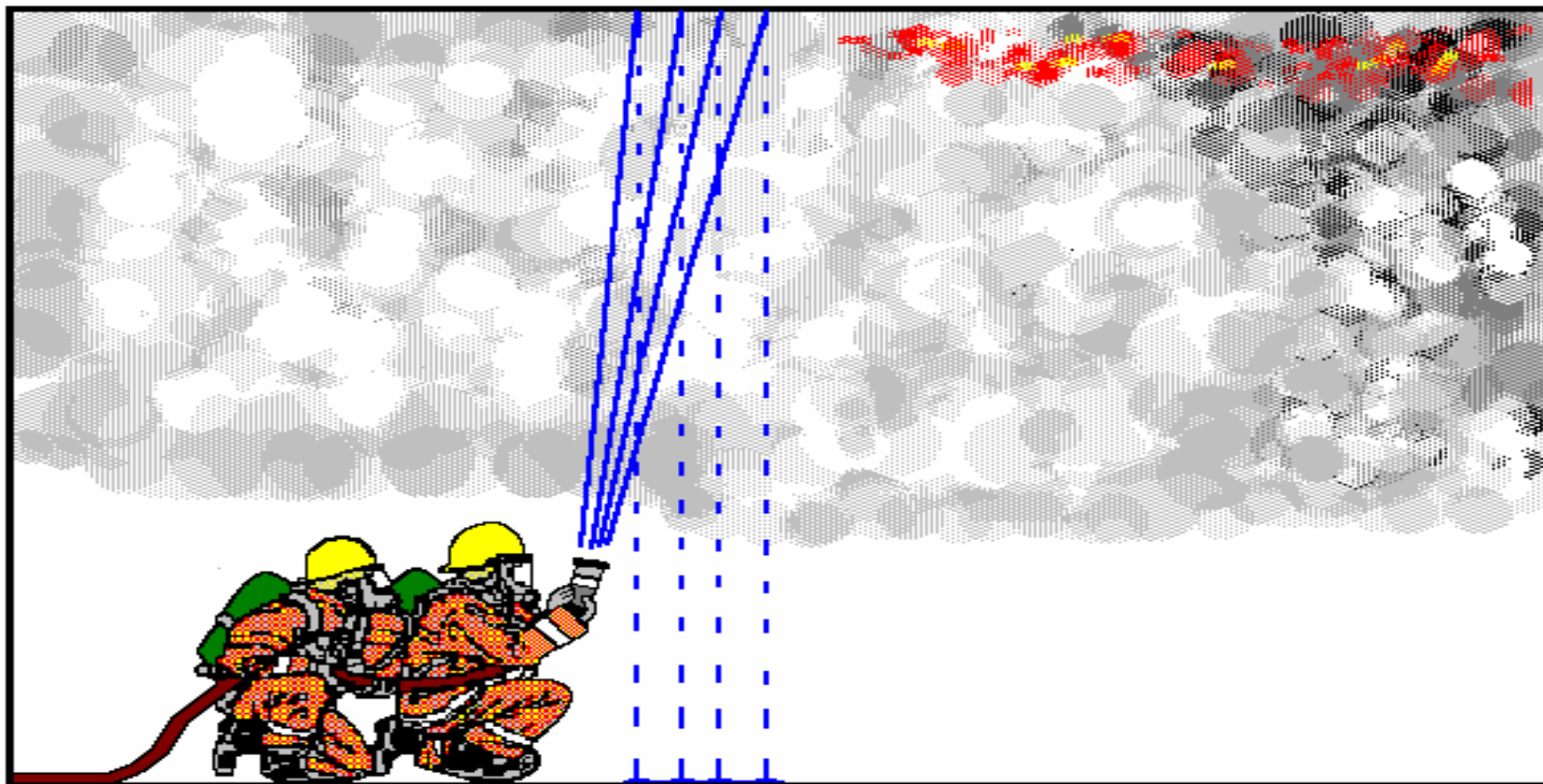
● Úhel

- závisí na výšce do stropu a poloze neutrální roviny

● Délka pulsace

- velmi krátce, malé kapky

Kontrola tepla/otevření kouřové vrstvy



TAKTIKA HAŠENÍ

```
graph TD; A[TAKTIKA HAŠENÍ] --> B[Vstup do prostoru]; A --> C[Pre-flashoverové požáry]; A --> D[Plně rozvinuté požáry];
```

**Vstup
do prostoru**

**Pre-flashoverové
požáry**

**Plně rozvinuté
požáry**

Taktika zásahu - před zásahem

- hadice a proudnice
- zaujmutí bezpečné pozice před dveřmi
- kontrola dveří. teplota, únik kouře apod.
- otevření dveří. Sledování barvy kouře, neutrální roviny, tlaku apod..
- použití vody....???

TAKTIKA HAŠENÍ

```
graph TD; A[TAKTIKA HAŠENÍ] --> B[Vstup do prostoru]; A --> C[Pre-flashoverové požáry]; A --> D[Plně rozvinuté požáry];
```

**Vstup
do prostoru**

**Pre-flashoverové
požáry**

**Plně rozvinuté
požáry**

Bezpečná pozice přede dveřmi



Před vstupem



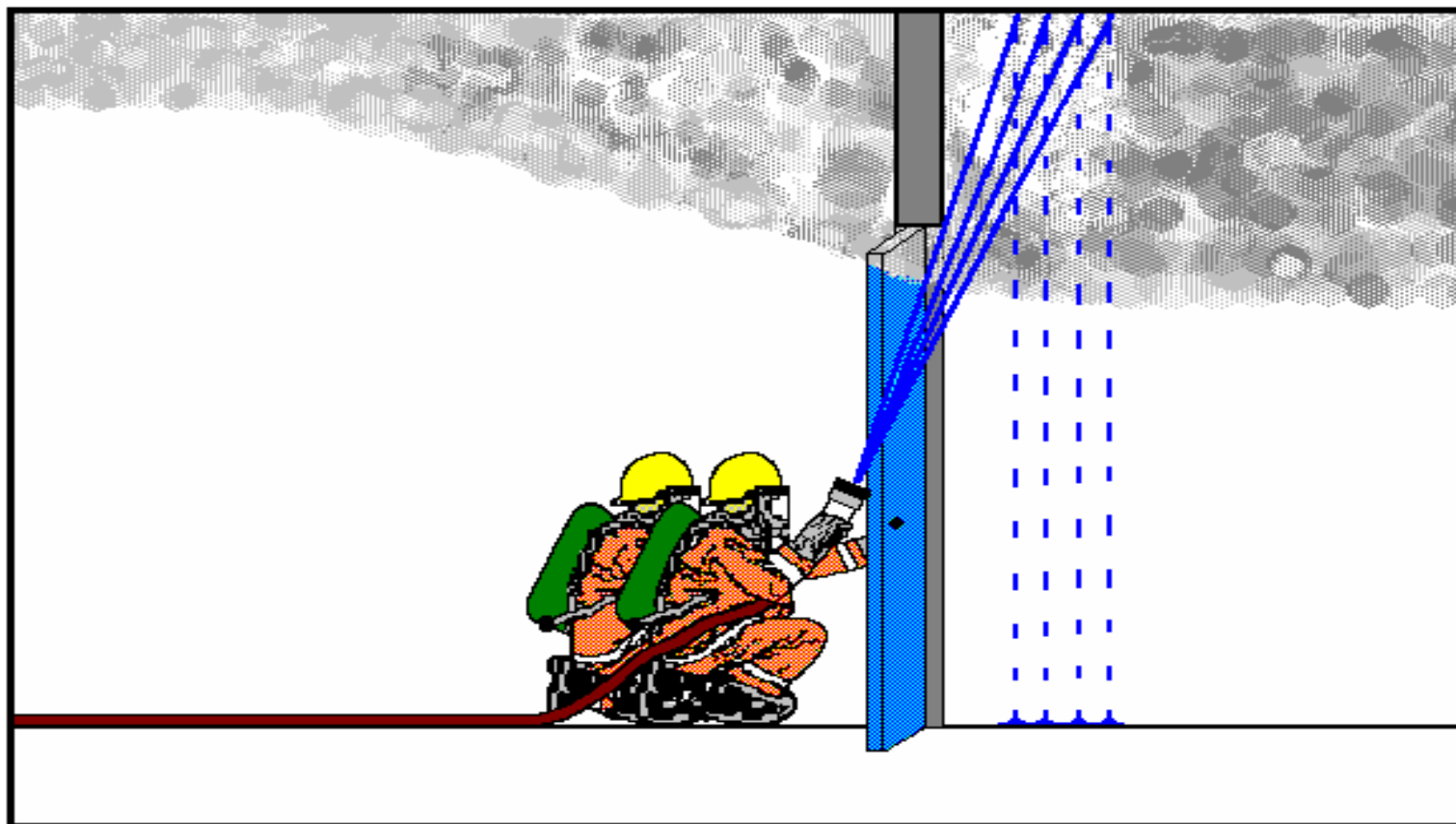
Před vstupem



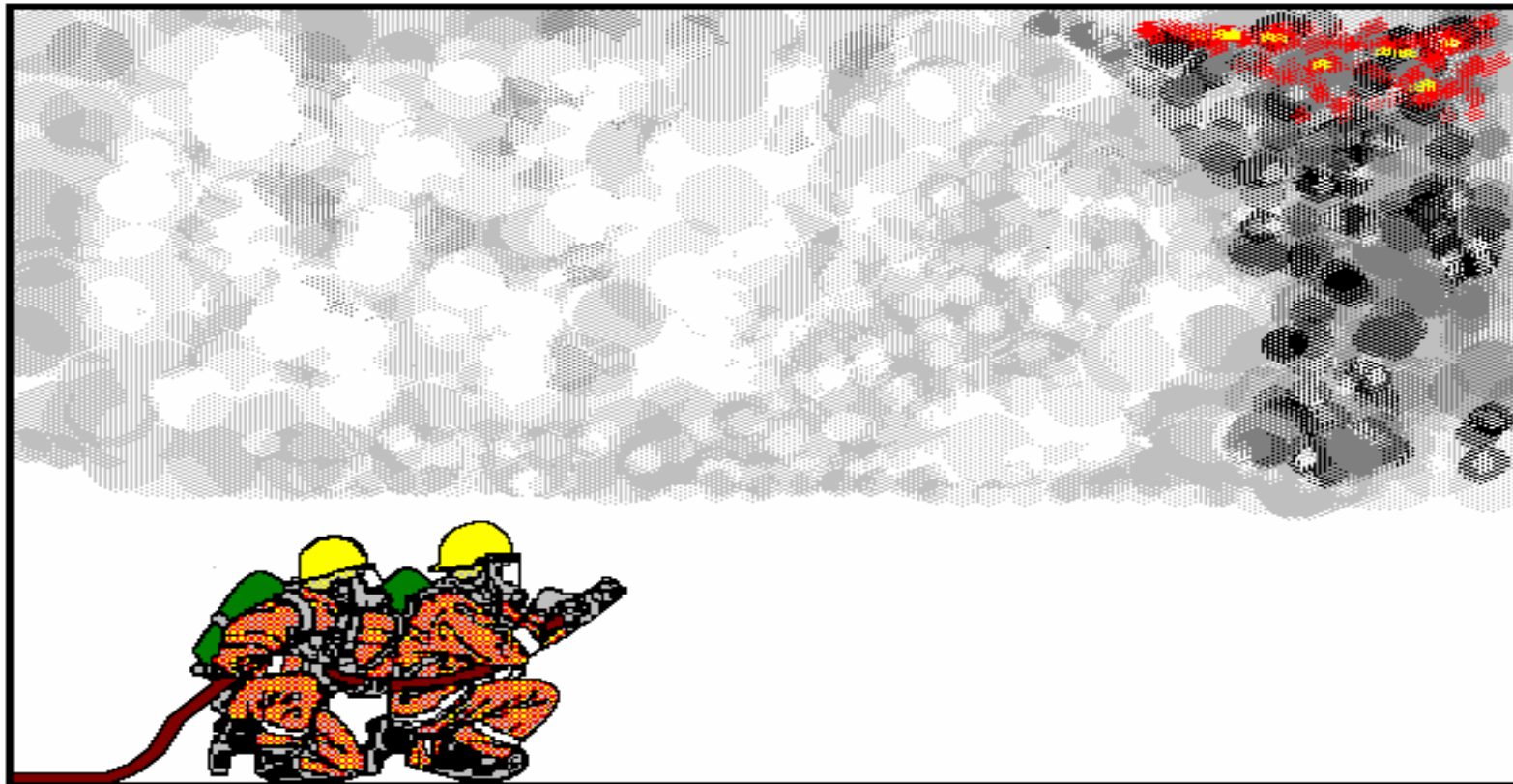
Bezpečná pozice před dveřmi



Kontrola teploty vně a uvnitř



Při zemi



Sleduj chování požáru a použij vodu jak to nejlépe jde



Jak postupovat uvnitř

- **Vždy platí:**
 - při zemi
 - bezpečnost (bezpečnostní opatření)
 - cesta zpátky při nebezpečí
 - použij proudnici tak efektivně jak jen umíš (proudnice je tvoje lano k životu)

Sleduj chování požáru



TAKTIKA HAŠENÍ

```
graph TD; A[TAKTIKA HAŠENÍ] --> B[Vstup do prostoru]; A --> C[pre-flashoverové požáry]; A --> D[Plně rozvinuté požáry];
```

Vstup
do prostoru

**pre-flashoverové
požáry**

**Plně rozvinuté
požáry**

Postup před intenzivním rozvojem požáru pre - flashover

- **ochlazení produktů rozkladu pomocí 3D vodní mlhy**
- **krátké popřípadě dlouhé pulzy**
- **opakovat ochlazení**
- **nevstupovat do místnosti dokud se nesníží teplota**

TAKTIKA HAŠENÍ

```
graph TD; A[TAKTIKA HAŠENÍ] --> B[Vstup do prostoru]; A --> C[pre-flashoverové požáry]; A --> D[Plně rozvinuté požáry];
```

Vstup
do prostoru

**pre-flashoverové
požáry**

**Plně rozvinuté
požáry**

Hašení rozvinutého požáru – III.fáze

- I. Chladit před vstupem do místnosti roztržitým proudem, snížení teploty na 800 °C – 400 °C..cca 60 s
- II. Vstup do místnosti a hašení plamenů snížení teploty na 400 °C - 190 °C.
- III. Hašení lokálních ohnisek snížení teploty pod 190 °C a níž

Použité materiály

<http://pompier.sieben.com>

<http://www.flashover.fr>

<http://www.atemschutz.org>

<http://www.erhatec.de>

<http://www.flashover.de>

Stefan Anderson:prezentace:Skövde Safety & Risk Management Training College

Paul Grimwood: Taktische Brandbekämpfung Flashover & Strahlrohrtechniken



DĚKUJI ZA POZORNOST

plk.Ing.Petr Ošlejšek

Hasičský záchranný sbor Olomouckého kraje

Wolkerova č.6, 796 01 Prostějov

Tel: 950 775 020

Fax.: 950 775 002

GSM: 602 530 719

petr.oslejsek@hzsol.cz