

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2020**

**David LEHOVEC**

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Vliv zádržného plechu na reakční dobu sprinklerové hlavice**

Diplomová práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Radomír Adamovský DrSc.

Autor práce: David Lehovec

PRAHA 2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. David Lehovec

Procesní inženýrství  
Technologická zařízení staveb

Název práce

**Vliv zádržného plechu na reakční dobu sprinklerové hlavice**

Název anglicky

**Effect of resistance plate on the reaction time of the sprinkler head**

---

### Cíle práce

Cílem práce je specifikace opatření k včasné aktivaci sprinklerové hlavice v případě, kdy není možné splnit normativní požadavky na instalaci hlavic, reálné stanovení účinnosti zádržného plechu na reakční činnost sprinklerové hlavice, analýza problémů, které jsou v rozporu s uznávanými normativy.

### Metodika

1. Struktura práce by se co nejvíce měla přiblížit schématu:

A. Úvod; B. Materiál a metody; C. Výsledky; D. Diskuse; E. Závěr.

2. Součástí diplomové práce bude sestavení literární rešerše věnující si specifikaci vzniku a průběhu požáru včetně šíření tepla, principům funkce sprinklerového systému a českým i mezinárodním normativním požadavkům pro umístování sprinklerových hlavic v chráněném prostoru. Diplomant navrhne vhodný referenční objekt, ve kterém nebude možné dodržet normativní požadavky pro umístění hlavice sprinkleru ke stropní konstrukci. Dále popíše možné druhy doplňkových opatření, v tomto případě zádržných plechů, které by zajistili včasnou aktivaci sprinklerové hlavice v jistěném prostoru. Pro stanovení vlivu zádržného plechu bude realizován zkušební požár v simulovaném prostoru, aby bylo zajištěno co nejreálnějšího výsledku zkoušky. Na základě hodnoty reakčního času bude vyhodnocena funkce zádržného plechu a navržena opatření k včasné aktivaci sprinklerové hlavice.

3. Práci je vhodné doplnit fotografiemi, schématy, grafy a tabulkami. Jednotlivé kapitoly a podkapitoly práce, rovnice, tabulky a obrázky je nutno číselně označovat a na toto značení se v textu odkazovat. Nedílnou součástí práce je i obsah, abstrakt, seznam použitých zkratk a symbolů, obrázků, tabulek a literatury. Práce může být doplněna přílohami.

4. Při vypracování diplomové práce je nutno dbát na respektování citačních pravidel dle ČSN ISO 690:2011.

5. Vedoucího práce je nutno čtvrtletně seznamovat s postupem zpracování zadaného tématu.

## Doporučený rozsah práce

40-50 str.

## Klíčová slova

teplota, sprinklerové hasicí zařízení; hoření; šíření tepla; požár, požární ochrana

---

## Doporučené zdroje informací

BALOG Karol, KVARČÁK Miloš. Dynamika požáru. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. ISBN 80-86111-44-X

ČSN EN 12 845. Stabilní hasicí zařízení – Sprinklerová zařízení – Navrhování, instalace a údržba. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

Firemní dokumentace a podklady: TYCO, Marioff, Siemens, Euroalarm, Skanska, UltraFog, Danfoss, Aquasys, Viking, Minimax.

FM Global Property Loss Prevention Data Sheets 2-0. Installation guidelines for automatic sprinklers. Interim Revision, 2018, p. 119.

KRATOCHVÍL, Václav, NAVAROVÁ Šárka, KRATOCHVÍL Michal. Požárně bezpečnostní zařízení ve stavbách: stručná encyklopedie pro jednotky PO, požární prevenci a odbornou veřejnost. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. ISBN 978-80-7385-103-3.

KVARČÁK, Miloš. Základy požární ochrany. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. ISBN 80-86634-76-0.

LENNON Tom, Structural fire engineering, London: ICE Publishing, 2011. ISBN 978-0-7277-4141-7

NFPA Research. U.S. Experience with Sprinklers, Quincy: National Fire Protection Association, 2017, NEPA no. USS14.

RYBÁŘ, Pavel. Sprinklerová zařízení. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. ISBN 978-80-7385-106-4.

---

## Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

## Vedoucí práce

prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

## Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2020

**doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 16. 04. 2020

## Čestné prohlášení

*Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Vliv zádržného plechu na reakční dobu sprinklerové hlavice“ vypracoval samostatně pouze pod odborným vedením prof. Ing. Radomíra Adamovského DrSc. Veškeré použité podklady, ze kterých jsem čerpal informace, jsou uvedeny v seznamu použité literatury a citovány v textu podle normy ČSN ISO 690. Jsem si vědom, že odevzdáním mé diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.*

*Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.*

*Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.*

V Praze dne 27.03.2020

.....

Jméno a příjmení studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Radomíru Adamovskému DrSc., za opětovnou možnost zpracování libovolného tématu, jeho odborné vedení a cenné rady stejně užitečné jako při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval zejména mé rodině a přátelům a všem, kteří mi poskytli důležitou podporu během celého studia.

**Abstrakt:** Cílem této práce bylo reálné stanovení účinnosti zádržného plechu na reakční činnost sprinklerové hlavice. V praxi se setkáváme s případy, kdy není možné dodržení předepsaných pozic sprinklerových hlavice, jak je nařizují mezinárodně uznávané normativní předpisy. Jejich předepsané pozice jsou v souladu s myšlenkou včasné aktivace samočinných hasících systémů. Nedodržení tohoto standardu pak nese problém v podobě pozdní reakce na případný požár, čímž se zvyšuje riziko, že samočinné hasící zařízení nebude efektivní v plné míře. Použitím doplňkových prvků, jako jsou zádržné plechy, by mohlo dojít k efektivnímu vlivu na reakční dobu sprinklerové hlavice, i když není v pozici, jak to přikazují normativní předpisy. Tyto prvky, i když jsou v normativních předpisech zmíněny, však slouží ke zcela jinému účelu a pro tento druh využití prakticky neexistuje předepsaný postup, jak lze efektivitu systému považovat za vhodnou i při nesplnění předepsané pozice sprinklerové hlavice. Tato práce má tento nedostatek ve značně zjednodušené míře osvětlit.

**Klíčová slova:** sprinkler; zádržný plech, teplota, sprinklerové hasící zařízení; hoření; šíření tepla; požár; požární ochrana

### **Effect of retaining plate on the reaction time of the sprinkler head.**

**Summary:** The aim of this diploma thesis was to realistically determine the effectiveness of the retaining plate on the reaction time of the sprinkler head. In practice, we encounter cases where it is not possible to follow the prescribed positions of sprinkler heads, as mandated by internationally normative regulations. Their prescribed positions are consistent with the idea of early activation of extinguishing systems. Failure to comply with this standard then carries a problem in the form of a late reaction to a possible fire, increasing the risk that the extinguishing system will not be effective in full scale. Using of additional elements such as retaining plates could have an effective effect on the reaction time of the sprinkler head, even if it is not in position as required by the normative regulations. However, these elements, even if mentioned in the normative rules, serve a completely different purpose and there is virtually no prescribed procedure for this type of use, as can be considered appropriate even if the prescribed position of the sprinkler head is not met. This work could explain this shortcoming in a very simplified extent.

**Key words:** sprinkler; retaining plate; temperature; sprinkler system; combustion; heat diffusion; fire; fire protection

## OBSAH

1. ÚVOD .....	1
2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY .....	2
2.1. ZÁKLADNÍ POJMY .....	2
2.1.1. FÁZE POŽÁRU .....	5
2.1.2. POČÁTEČNÍ FÁZE (I.) – VZNIK POŽÁRU .....	5
2.1.3. FÁZE ROZVOJE (II.) .....	5
2.1.4. PLNĚ ROZVINUTÁ FÁZE (III.) .....	6
2.1.5. FÁZE DOHOŘÍVÁNÍ (IV.) .....	6
2.1.6. NORMOVÝ PRŮBĚH POŽÁRU .....	7
2.1.7. FLASHOVER – CELKOVÉ VZPLANUTÍ .....	8
2.1.8. FIRE PLUME – SLOUPEC ZPLODIN HOŘENÍ .....	8
2.1.9. PODSTROPNÍ PROUDĚNÍ .....	9
2.2. PŘENOS TEPLA PŘI POŽÁRU .....	10
2.2.1. PŘENOS TEPLA VEDENÍM .....	11
2.2.2. PŘENOS TEPLA PROUDĚNÍM .....	12
2.2.3. PŘENOS TEPLA ZÁŘENÍM .....	13
2.3. TEPLOTA A RYCHLOST ROZVOJE POŽÁRU .....	15
2.3.1. VLIV TEPELNÉHO ZÁŘENÍ NA LIDSKÝ ORGANISMUS .....	17
2.4. STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ .....	18
2.4.1. STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ – VODNÍ (SHZ) .....	19
2.4.1.1. SPRINKLERY .....	21
2.4.1.2. VÝROBA SPRINKLEROVÉ HLAVICE .....	27
2.4.1.3. PROCES AKTIVACE SPRINKLEROVÉ HLAVICE - HAŠENÍ .....	30
2.4.1.4. NORMATIVNÍ POŽADAVKY NA ROZMÍSTĚNÍ A UMÍSTĚNÍ SPRINKLEROVÝCH HLAVIC .....	33
3. CÍLE PRÁCE .....	39
4. MODEL POSUZOVANÉHO PROSTORU .....	39
4.1. POPIS PROSTORU A SITUACE 1 .....	39
4.2. POPIS PROSTORU A SITUACE 2 .....	40
4.3. POPIS PROSTORU A SITUACE 3 .....	42
4.4. POSTUP ZKOUŠKY .....	43



4.5.	VÝSLEDKY ZKOUŠKY .....	48
4.6.	ŘEŠENÍ SITUACÍ 1 - 3 .....	54
5.	DISKUZE A ZÁVĚR .....	55
6.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	56

## 1. ÚVOD

Stabilní hasicí zařízení mají za úkol ochranu osob, zdraví a majetku. Jejich použití výrazně snižuje riziko ztrát tohoto druhu. Pro jejich použití jsou již řadu let používány normativní předpisy, které vycházejí z dlouhodobých zkušeností největších výrobců těchto systémů, nebo nezávislých společností provádějících plno-měřítkové požární testy, které mají za účel stanovit správné použití a efektivnost těchto systémů. V této práci bude uvažováno pouze s použitím sprinklerových hasicích systémů – vodních (SHZ). Sprinklerové systémy jsou jako jedny z mála plně akceptovány právě pomocí těchto mezinárodně uznávaných normativů jako jsou například VdS CEA 4001 nebo FM Global apod. V českém prostředí se pro navrhování a instalaci a údržbu těchto systémů používá primárně ČSN EN 12 845 pro vodní sprinklerová hasicí zařízení. Tyto normativy pak mají za úkol dodržení správného návrhu a následně instalace těchto zařízení. Jako jedny z mála normativů obsahují detailní informace i o pozicích aktivních hasicích prvků – sprinklerových hlavice. Tyto pozice jsou důležité z obecného principu, který tyto systémy zastupují, a sice že jejich správné použití bude mít za následek potlačení požáru v co možná nejpočátečnější fázi. Bohužel praxe ukazuje, že ne vždy je možné všechny tyto předpisy a požadavky z technických důvodů aplikovat. Projekční kanceláře sprinklerových systémů se přiklánějí při projektování k alternativním řešením, a sice primárně k použití zádržných plechů, které v normativech sice jsou zmíněny, nicméně za zcela jiným účelem než k včasné aktivaci sprinklerových hlavice.

Cílem této práce je tedy ukázka různých druhů problémů, které jsou prakticky v rozporu s uznávanými normativy. V této práci budou znázorněny hned 3 příklady vycházejících z praxe na reálných stavbách. Tyto různé problémy jsou výčtem realizovaných akcí větší stavební společnosti za pouhý rok. Je tedy jasné, že příkladů bychom dokázali najít celou řadu. Specializujeme se zde na problém umístění sprinklerové hlavice ve vyšší vzdálenosti od stropu nebo překážky než je povolená mez. Tento problém lze eliminovat pomocí doplňkových prvků, které by mohli tento nedostatek odstranit.

Obecnou zkouškou reakční doby teplocitné patrony, která je součástí sprinklerové hlavice, a je to hlavní spouštěcí element celého systému, jsou testy, které ponořují tyto spouštěcí elementy do vodní lázně s předem určenou teplotou vody. Praxe však dokázala, že

reakční doba je závislá na mnoha faktorech nikoliv pouze na teplotě v okolí hlavice, ale také rychlosti proudění spalin aj. Teoretické výsledky se tak mnohdy liší o několik stovek procent. V této práci bylo uchýleno k praktickému testu, který by měl být objektivnější.

## 2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY

### 2.1. ZÁKLADNÍ POJMY

Pro správnou funkci hasicích systémů je vhodné si osvětlit několik základních pojmů včetně průběhu procesu hoření. Správné pochopení principu hoření je základní předpoklad pro jeho efektivní uhašení. Sprinklerové systémy se používají pro účinnou ochranu proti účinkům požáru. Požár je nežádoucí hoření, při kterém došlo k usmrcení nebo zranění osob nebo zvířat, ke škodám na materiálních hodnotách nebo životním prostředí a nežádoucí hoření, při kterém byly osoby, zvířata, materiální hodnoty nebo životní prostředí bezprostředně ohroženy. Oproti tomu oheň je pouze člověkem řízené a určitým prostorem ohraničené hoření (1).

Požár pak může vzniknout od ohně anebo přímým zapálením. Zapálení mohou iniciovat různé zdroje jako například plamen, elektrický výboj, tepelné záření apod. Nejčastěji se vyskytující zdroje zapálení jsou uvedeny v tab. 1 (2).

Průběh hoření je limitovaný přítomností určitých látek, tj. hořlavých látek, a oxidačních prostředků, které spolu vytvářejí hořlavý soubor. Výsledkem zapálení tohoto hořlavého souboru může být různá paleta dějů jako plamenné hoření, žhnutí, uhelnatění a tlení. Tyto děje pak po ukončení iniciačního zdroje buď pokračují anebo skončí. Tuhý materiál při hoření nereaguje přímo s kyslíkem, ale samotnému hoření předchází tepelný rozklad za vzniku prchavých produktů. Pakliže je tato směs hořlavá, dochází pak při styku s kyslíkem za příznivých podmínek k plamennému hoření. Tento proces je pak znázorněn na obr.1 (2).

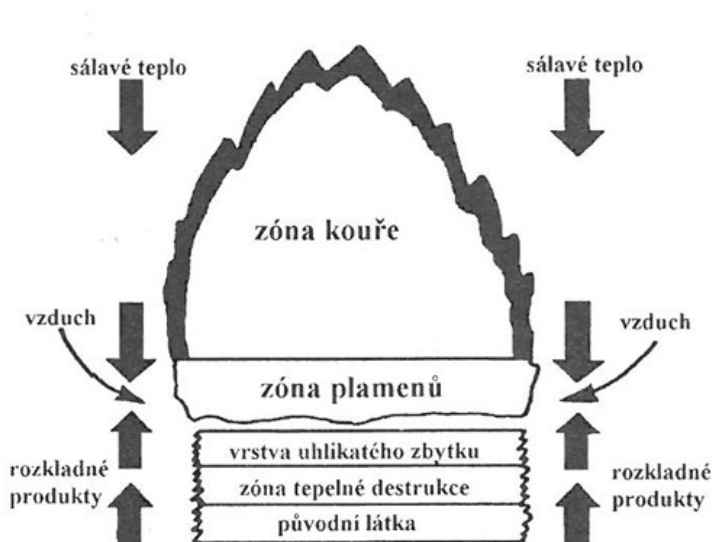
Tab. 1 – Proces hoření (2)

Zdroj zapálení	Teplota °C
hořící zápalka	740 - 800
hořící svíčka	650 - 950
tlející cigareta	228 - 750
hořící papír	800 - 850
rozžhavená elektrická spirála	980 - 1000
plamen zapalovače	650 - 860
žárovka	70 - 250

Výsledkem zapálení tohoto hořlavého souboru může být různá paleta dějů jako plamenné hoření, žhnutí, uhelnatění a tlení. Tyto děje pak po ukončení iniciačního zdroje buď pokračují anebo skončí. Tuhý materiál při hoření

Pojem hoření můžeme definovat jako chemickou reakci, která je provázána uvolňováním tepla a vyzařováním světla. Hoření vzniká a probíhá za určitých podmínek.

Obr. 1 – Model hoření tuhé látky (2)



K tomu je potřebná přítomnost hořlavé látky (palivo), oxidačního prostředí (vzduch, kyslík) a tepla (zdroje zapálení) (2). Na obr. 2 je znázorněna tzv. pyramida nebo trojúhelník hoření. Jestliže jednu z výše uvedených podmínek odstraníme, přerušíme tím proces hoření. Aby se zamezilo hoření, stačí tedy zamezit vzniku hořlavých plynných produktů, zvýšit

nedokonalost jejich spalování, snížit uvolněné teplo přítomností inhibitorů řetězových reakcí jak v plynné, tak také v kondenzované fázi, ochladit palivo apod. (2).

Hoření pak rozlišujeme hned na 3 druhy. *Dokonalé hoření*, které se tak nazývá díky dokonalé chemické reakci. Při tomto druhu spalování nevznikají zplodiny schopné dalšího hoření (pouze oxid uhličitý a vodní páry). Častějším jevem je ale hoření nedokonalé, při kterém vznikají zplodiny dalšího hoření (3). *Nedokonalé hoření* je bohužel nejčastější formou požáru. Tento druh je také nejnebezpečnější pro zdraví osob nebo zvířat. V tomto procesu totiž vznikají velice nebezpečné zplodiny hoření jako například oxid uhelnatý, který je velmi jedovatý a směsí se vzduchem také výbušný. Dalším nebezpečným produktem hoření je také kyanovodík, který vzniká hořením plastových materiálů. Nebezpečných zplodin hoření je však mnohem více. Všechny jsou pak nebezpečné pro zdraví osob nebo zvířat. Nebezpečí pak přetrvává jak pro osoby uvnitř objektu, ale i pro jednotky zasahující při zdolávání požáru. V neposlední řadě jsou pak tyto zplodiny hoření na vině za velké materiální škody i pouze v zakouřeném prostoru.

Posledním druhem hoření, které může nastat, je *explozivní hoření*. Může probíhat formou výbuchu, což je fyzikálněchemická reakce provázená uvolněním velkého množství

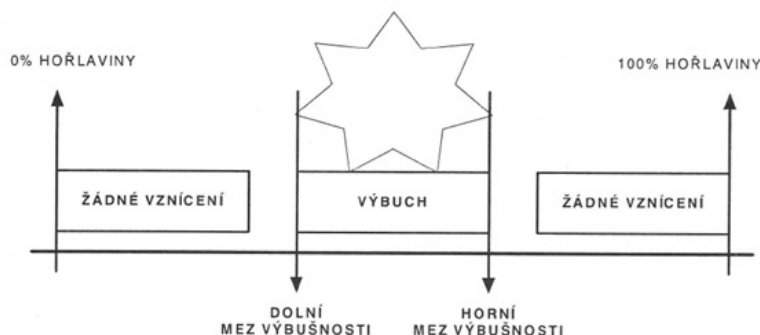
Obr. 2 – Proces hoření (38)



energie (3). Tato forma je dána převážně hranicemi výbušnosti. Rozlišujeme pak spodní mez výbušnosti a horní mez výbušnosti. Určuje nám rozsah složení směsi látek nebezpečných výbuchem především ve směsi se vzduchem. Jde tedy o nejnižší a nejvyšší koncentraci hořlavého plynu nebo kapalin nebo hořlavých prachů nejčastěji ve směsi se vzduchem. Meze

výbušnosti se pak vyjadřují v procentech a to jak hmotnostních nebo objemových (1). Nejlépe dolní a horní meze znázorníme na obr. 3, které vycházejí z ČSN EN 1839 (4).

Obr. 3 – Meze výbušnosti (4)



### **2.1.1. FÁZE POŽÁRU**

Požár rozdělujeme do 4 základních fází, které jsou znázorněny na grafu obr. 5. Jedná se tedy o počáteční fázi (I.), fázi rozvoje (II.), plně rozvinutou fázi (III.) a fázi dohořívání (IV.) (5). Vzhledem k tomu, že je uvažováno použití pro stabilní hasicí zařízení, uvádím graf pro hoření v uzavřeném prostoru, kde se nachází omezené zásoby hořlavého materiálu (paliva). Délka jednotlivých fází je závislá primárně na charakteru jednotlivých hořlavých materiálů. Není však důležité, jak jsou tyto materiály uspořádány v prostoru. V případě, že se jedná například o kapalně nebo plynné materiály, může fáze rozvoje a fáze dohořívání být velice krátká případně i zcela nulová (3).

### **2.1.2. POČÁTEČNÍ FÁZE (I.) – VZNIK POŽÁRU**

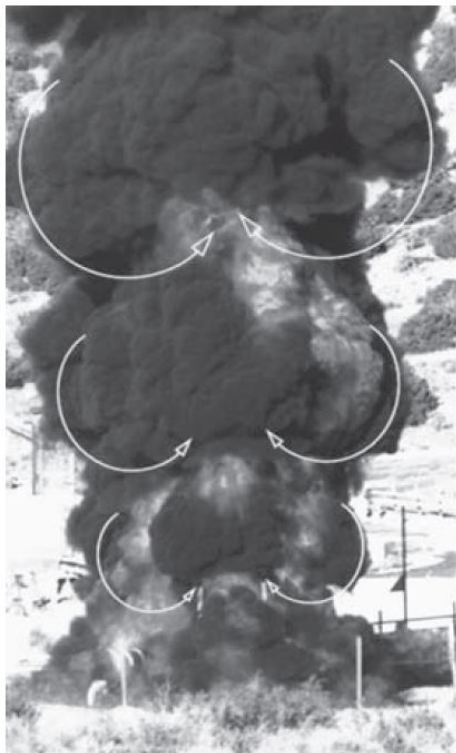
Začátek procesu hoření je podmíněn teplotou materiálu. Ten musí být zahřátý na kritickou teplotu degradace a rychlost uvolňování hořlavých produktů musí mít patřičnou hodnotu, aby byla dostatečná pro vytvoření hořlavé směsi se vzduchem. Iniciace procesu je limitována především množstvím a druhem hořlavé látky. Dále pak i druhem iniciačního zdroje, příklady byly uvedeny v tab. 1. V neposlední řadě také obsahem kyslíku a dobou působení tepla na hořlavý materiál (1).

### **2.1.3. FÁZE ROZVOJE (II.)**

Pakliže po iniciační fázi nedojde k uhašení, pokračuje požár svým rozrůstáním. Podmínkou je dostatečné množství oxidovadla a také zda jsou zajištěny podmínky pro postupné zahřívání hořlavých látek a tvorbu hořlavých plynů a par vlivem tepelné degradace. (1) Ohraničení daného prostoru stavebními konstrukcemi nemá v prvotní fázi příliš velký vliv na vlastní požár. Požár je v počáteční fázi řízen palivem a má prakticky pouze lokální charakter (6).

Díky postupujícímu procesu hoření dochází ke zvyšování teploty produktů hoření

Obr. 4 – Fire plume (36)



včetně snižování její hustoty. Toto má za efekt nárůst teplotní difference včetně rozdílu jejich hustoty oproti okolí což má za následek vznik vztlaku. Nad zdrojem hoření se formuje sloupec zplodin hoření. Tento jev se označuje jako „Fire Plume“ a je znázorněn na obr. 4 (6).

Pokud dosáhne teplota horké vrstvy kouře teplotu 500 – 600 °C, nebo pokud stoupne hustota tepelného toku na hodnotu 20 – 30 kW.m<sup>-2</sup>, případně 15 – 20 kW.m<sup>-2</sup> v úrovni podlahy, pak dochází k jevu „flashover“, což znamená celkové prostorové vzplanutí. Po prostorovém vzplanutí je již prakticky neúčelné další hašení, protože dochází k fatálním škodám jak na majetku, tak i na případných životech pokud nedošlo ke včasné evakuaci (6).

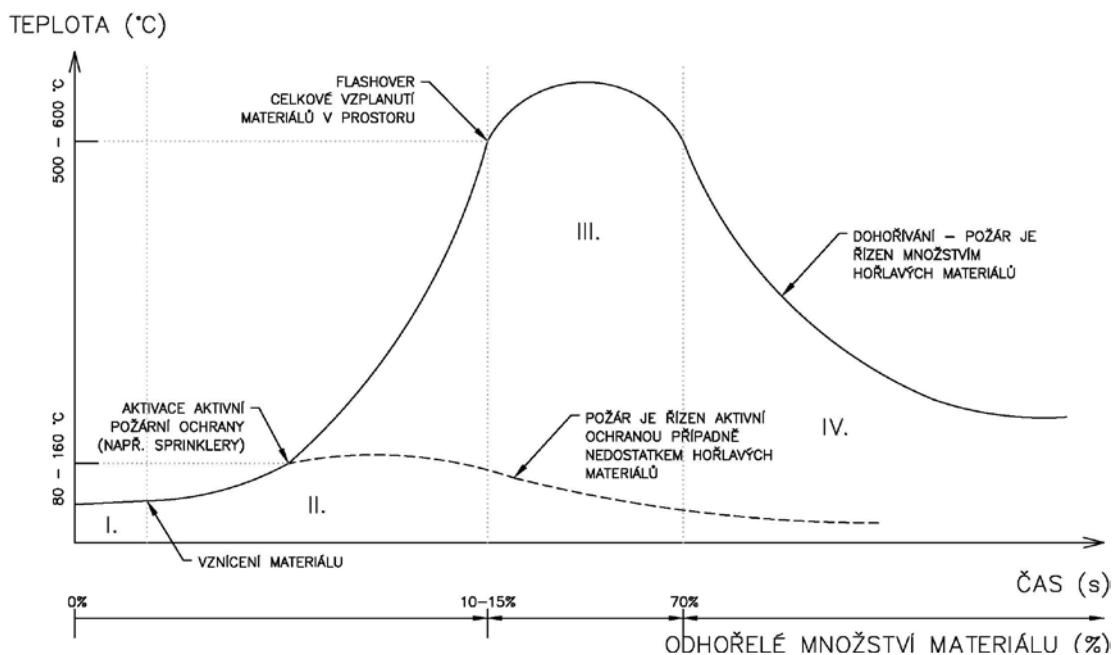
#### 2.1.4. PLNĚ ROZVINUTÁ FÁZE (III.)

Po celkovém prostorovém vzplanutí následuje rychlý nárůst teploty do své maximální hodnoty. Intenzita hoření je pak řízena pomocí přítomného hořlavého materiálu (palivem) nebo přítomností kyslíku v uzavřeném prostoru. Přísun kyslíku může být zajištěn větráním daných prostor, případně zhroucením okolních stavebních konstrukcí, které nebudou mít potřebnou požární odolnost (6).

#### 2.1.5. FÁZE DOHOŘÍVÁNÍ (IV.)

Tato fáze se charakterizuje postupným poklesem teploty. Tento trend ustává v momentě, kdy dochází k postupnému odhořívání hořlavého materiálu až do momentu, kdy žádný další hořlavý materiál není k dispozici. Plameny se tedy postupně mění na žhnutí. Fáze dohořívání začíná, pokud dojde k vyhoření 70 – 80 % hořlavého materiálu (1).

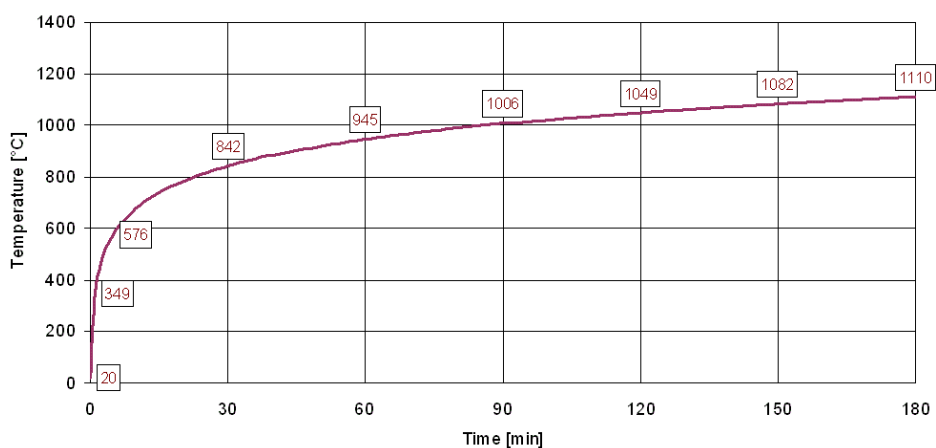
Obr. 5 – Fáze požáru (uzavřený prostor) – upraveno dle (37) (17)



## 2.1.6. NORMOVÝ PRŮBĚH POŽÁRU

Pro výpočtové či zkušební potřeby je teplota plynů popsána normovou teplotní křivkou. Tato křivka je znázorněna na obr. 6 sestavená dle mezinárodního předpisu ISO DIS

Obr. 6 – ISO křivka hoření celulózy (44)



834-75 Fire resistance test – Elements of building construction (Zkoušky požární odolnosti – Prvky stavebních konstrukcí). Tuto normovou křivku pak používáme i v českých



normativech jako například ČSN EN 1363-1 Zkoušení požární odolnosti. Základním vzorcem (2.1) pro stanovení normové křivky je pak následující vztah (7):

$$t = 20 + 345 \log(8t_p + 1) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.1)$$

kde:

$t$  teplota plynů při požáru (případně zkoušce požární odolnosti) [°C]

20 počáteční teplota prostředí před požárem [°C]

$t_p$  doba trvání požáru nebo zkoušky [min]

### 2.1.7. FLASHOVER – CELKOVÉ VZPLANUTÍ

Pojem celkové vzplanutí lze spíše definovat jako rozhraní mezi dvěma fázemi než jako přesně definovaná událost. Hlavním předpokladem pro výskyt tohoto jevu je dostatek paliva a také dostatek čerstvého vzduchu, aby se mohl požár rozvinout do potřebné fáze. Sálavý tepelný tok horké vrstvy musí dosáhnout takové úrovně, aby se všechny hořlavé materiály v místnosti mohli okamžitě vznítit. Po celkovém vzplanutí se chování požáru výrazně změní. Proudění vzduchu se stává zcela neuspořádaným a velké tepelné toky a vysoká teplota způsobuje další proces pyrolýzy na povrchu všech hořlavých materiálů v místnosti. To má za následek velké množství hořlavých plynů, které následně hoří kdekoli je dostatek kyslíku. Řízení kyslíku je pak v tomto případě ovlivněno převážně požární odolností okolních konstrukcí. Častým jevem je následně propadnutí stropu či destrukce okenní výplně, případně dveří. Často dochází i k jejich otevření obsluhou či jednotkou hasičského záchranného sboru (6) (7).

### 2.1.8. FIRE PLUME – SLOUPEC ZPLODIN HOŘENÍ

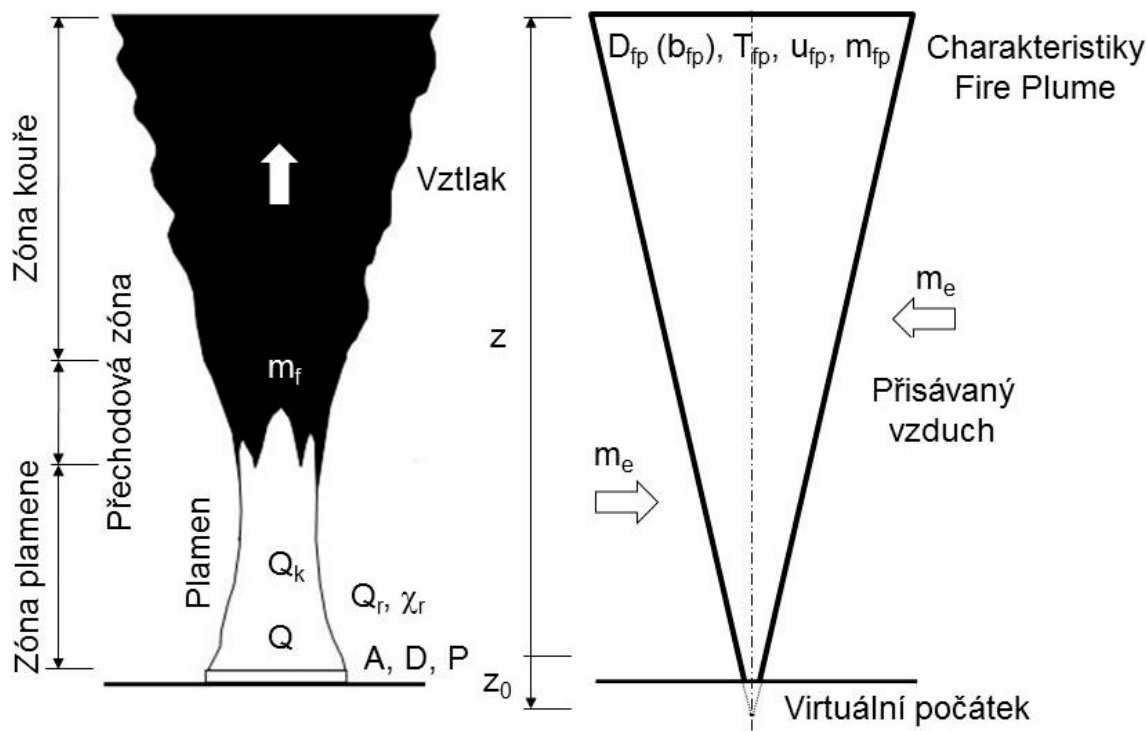
Tento jev je patrný již od počátku požáru. Pakliže nedochází k ovlivnění proudění vzduchu například vzduchotechnikou nebo tvarem stavebních konstrukcí, pak je charakteristickým tvarem převrácený kužel. Na obr. 7 je požár a charakteristický tvar hoření a Fire Plume rozdělen na 3 části (6).

**Zóna plamene** – tato oblast je těsně nad povrchem hořícího materiálu. Jedná se o téměř stálý plamen se zvyšující se rychlostí a prouděním plynů (8).

**Zóna přechodu** – jedná se o propojení zóny plamene a zóny kouře. Charakterem je stabilní rychlost proudění hořících plynů s občasným plamenem (8).

**Zóna kouře** – bývá nejrozsáhlejší ze všech uvedených částí. Tvoří se prakticky pouze zplodinami hoření. Díky přísávání okolního vzduchu jsou zplodiny hoření ochlazovány a tím dochází k jejímu zpomalení. Je zde značná kumulace toxických zplodin hoření a pevných částic v závislosti na výšce této zóny (8).

Obr. 7 – Charakteristický tvar Fire plume (8)



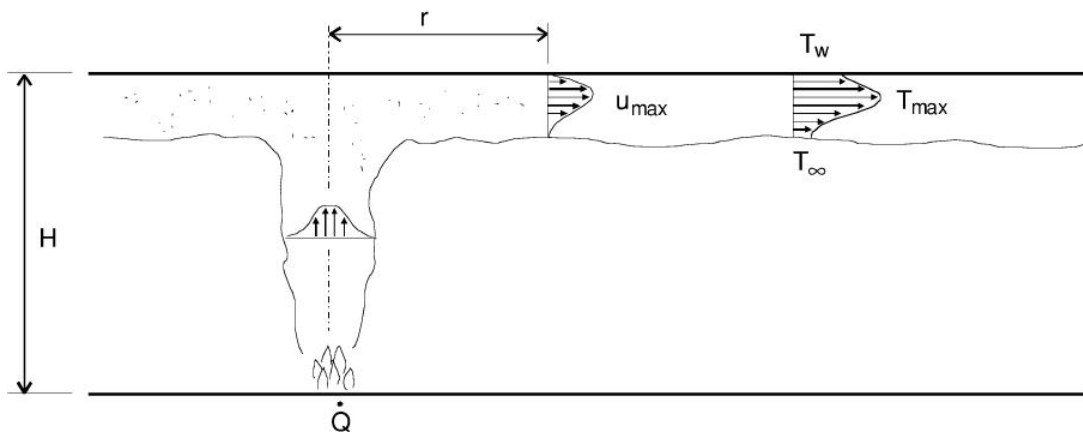
### 2.1.9. PODSTROPNÍ PROUDĚNÍ

Toto proudění nastává v uzavřených prostorech, kde sloupec hoření postupně stoupá až na úroveň stropu, kde se v relativně tenké vrstvě začne rozprostírat do okolních prostor až k ohraničujícím konstrukcím díky vysokému vztlakovému efektu, který je jedním z hlavních činitelů ovlivňujících proudění vzduchu. V této fázi dochází k ochlazení kouře v důsledku odvodu tepla do ohraničujících konstrukcí. Následuje odklon proudu zplodin hoření od osy požáru. Při střetu s ohraničujícími konstrukcemi dochází opět ke změně směru proudu zplodin směrem k podlaze. Změna proudění má za následek vhánění zplodin do

vrstvy, která je chladnější a má tedy vyšší hustotu. Proudění směrem k podlaze je pak díky opětovnému vztlaku a třecích sil zpomalováno až je nakonec opět obráceno směrem ke stropní konstrukci.

K tomu to nedochází pouze tehdy, pokud nemají zplodiny dostatečnou teplotu. V tomto případě se může tok zastavit a dochází k takzvanému vrstvení kouře.

Obr. 8 – Ideální podstropní proudění (13)



$H$  – výška místnosti (od zdroje tepla) [m],  $r$  – vzdálenost od osy plamene, ve které chceme počítat vlastnosti proudění [m]

Zpočátku se hloubka horké vrstvy kouře nachází mezi 5 – 12% vzdálenosti zdroje tepla ke stropu. Maximální rychlost proudění a teplota se vyskytuje relativně blízko stropu, nikdy však v maximální hodnotě ( $H = 100\%$ ) ale obvykle se jedná o 1% z výšky  $H$  měřeno od stropu.

## 2.2. PŘENOS TEPLA PŘI POŽÁRU

Pod pojmem přenosu tepla, rozeznáváme tři základní druhy šíření tepla do okolí. Jedná se o přenos vedením neboli kondukcí, dále je to prouděním neboli konvekcí a třetí v požární ochraně velmi důležitou formou je zářením známým též jako radiace nebo sálání (2). Rozdíly mezi těmito způsoby se rozlišují z fyzikální podstaty jednotlivých dějů. Zjednodušeně lze přenos vysvětlit jako sdílení tepla mezi různými tělesy s rozdílnými teplotami. Tento proces probíhá nejen mezi různými tělesy ale i uvnitř jednoho tělesa. Základní jednotkou je v tomto případě 1 joule, což vyjadřuje jednotku pro množství tepla.

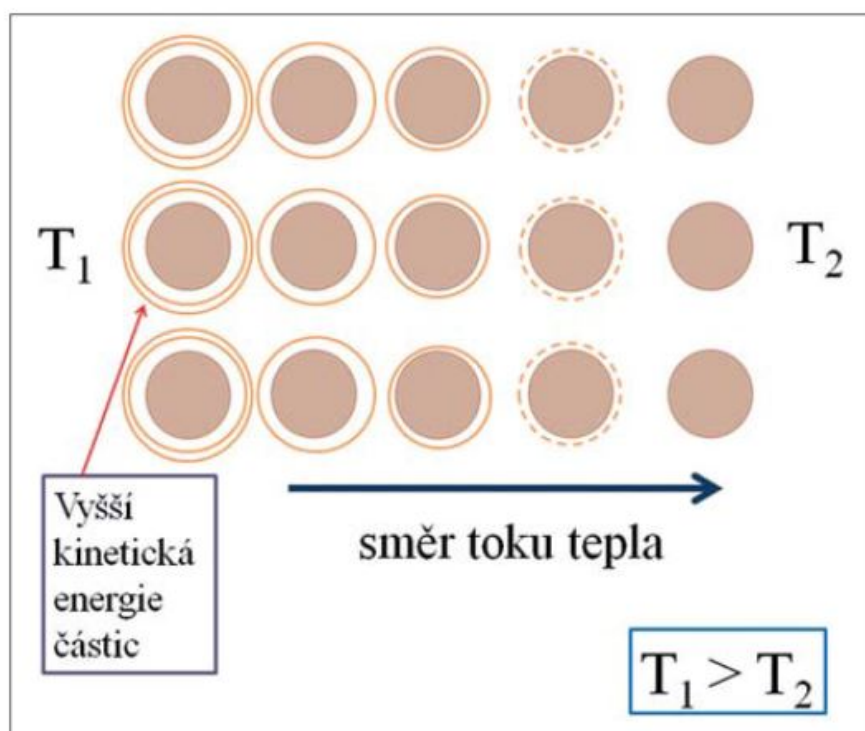
Tepelným tokem, který bývá důležitý pro další výpočty v požární ochraně, pak označujeme jednotkou 1 watt. Pakliže mluvíme o sdílení tepla procházející plochou  $1\text{m}^2$  pak se jedná o hustotu tepelného toku s jednotkou  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  (9).

Tyto druhy šíření tepla pak ovlivňují i šíření požáru respektive plamene po pevných látkách. V objektech se pak jedná o stěny, stropy, podlahy i vnitřní vybavení. Hlavním faktorem ovlivňujícím šířením požáru je pak dán právě velikostí tepelného toku od zdroje požáru. Šíření plamene je ovlivněno především velikostí a umístěním plamene způsobujícím sálavé teplo, směrem proudění vzduchu, které způsobuje šíření tepla prouděním vzduchu a v neposlední řadě teplotními vlastnostmi a hořlavostí materiálu (10).

### 2.2.1. PŘENOS TEPLA VEDENÍM

K tomuto přenosu dochází v pevných či kapalných tělesech avšak pouze za podmínek, kdy je vliv pohybu zanedbatelný. Je to prakticky jediný způsob vedení tepla

Obr. 9 – Vedení tepla v pevných látkách (9)



v pevných látkách. Energie je pak předávána pomocí pohybu molekul, které si předávají svojí kinetickou energii, jak je znázorněno na obr. 9. Schopnost látky vést teplo je pak

vyjádřena součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]. Tato hodnota nám dále určuje, zdali se jedná o tepelné vodiče případně tepelné izolanty. Čím je hodnota  $\lambda$  nižší tím je látka odolnější oproti šíření tepla (9). Základní rovnicí (2.2) vedením tepla je tedy Fourierův zákon, který stanovuje vztah mezi teplotním gradientem a tepelným tokem, jak je znázorněno na následující rovnici (2).

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (2.2)$$

kde:

$q$  hustota tepelného toku, [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

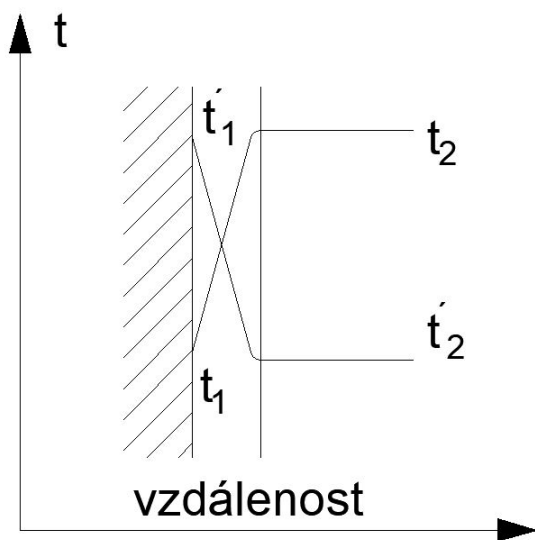
$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti materiálu [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

$\text{grad } t$  gradient teploty [ $\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$ ]

### 2.2.2. PŘENOS TEPLA PROUDĚNÍM

Přenos tepla prouděním je možný prakticky pouze pro kapalné a plynné látky. Tento způsob pak u těchto látek převažuje nad přenosem tepla vedením, protože toto tepelné

Obr. 10 – Vedení tepla prouděním (1)



proudění nelze oddělit od pohybu vnějšího hmotného prostředí. Neexistuje však jeho čistá forma, protože na rozhraní mezi tekutinou a plynem nebo přímo uvnitř kapaliny vždy dochází k vedení tepla (2).

Při proudění pak dochází k pohybu částic a to nuceným nebo samovolným způsobem. Rozdílnost měrné hustoty kapaliny pak napomáhá samovolnému proudění. Ohřívána látka má vyšší teplotní roztažnost a tím pádem menší hustotu. Díky tomu stoupá vzhůru a vytlačuje

chladnější kapalinu. Příkladem samovolného proudění je například cirkulace vzduchu v místnosti, nebo vody v systému vytápění. V případě požáru se pak teplo šíří prouděním pomocí horkých spalin hoření. Tyto zplodiny se pak šíří volnými cestami nebo otvory v konstrukcích. Příkladem nuceného oběhu může být použití čerpadel nebo ventilátorů. Tento proces rychleji vyrovnává teplotní rozdíly. Prouděním tekutin kolem povrchů pevných

látek dochází k přestupu tepla. Povrch pevné látky pak může být ochlazován nebo zahříván jak je znázorněno na obr. 10. Následně je teplo pevnou látkou sdíleno vedením. Kombinace přestupu tepla z proudící kapaliny a vedení tepla konstrukcí se označuje jako prostup tepla (9).

Pro určení tepelného toku mezi tekutinou a pevným povrchem při jejich kontaktu je využita Newtonova rovnice (2.3):

$$Q = \alpha \cdot \Delta t \cdot S \text{ [W]} \quad (2.3)$$

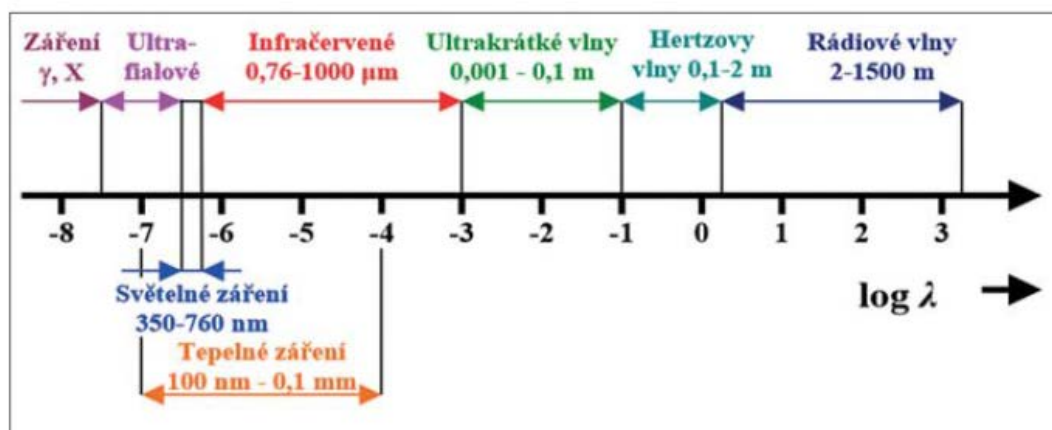
kde:

- $Q$  tepelný tok [W]
- $\alpha$  součinitel přestupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]
- $\Delta t$  teplotní rozdíl (tekutina/stěna) [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- $S$  plocha [ $\text{m}^2$ ]

### 2.2.3. PŘENOS TEPLA ZÁŘENÍM

Přenos tepla zářením neboli radiací či sáláním je na rozdíl od předchozích druhů přenosu tepelné energie jediný, který nevyžaduje hmotné prostředí. Zářivá energie je přenášena pomocí elektromagnetického vlnění o různých vlnových délkách. Příklady

Obr. 11 – Rozdělení jednotlivých druhů záření na jejich vlnové délce (9)



různých vlnových délek jsou uvedeny na obr. 11. Každé z uvedených paprsků má rozdílné vlastnosti. Pro požární ochranu jsou nejdůležitější takové, které jsou pohlcovány tělesy a jejichž energie se mění v energii tepelnou (11). Těleso vyzařuje energii a tato je pak závislá na absolutní teplotě tohoto tělesa. Čím je pak teplota vyšší, tím vyšší je hodnota vyzářené

energie. Teplo se šíří všemi směry a při dopadu na jiná tělesa se tato energie může propustit, nebo jí toto těleso dokáže pohltit případně odrazit, jak je uvedeno na obr. 12 (9). Pro celkovou energii pak tedy platí součet všech tří těchto složek (2.4) (11).

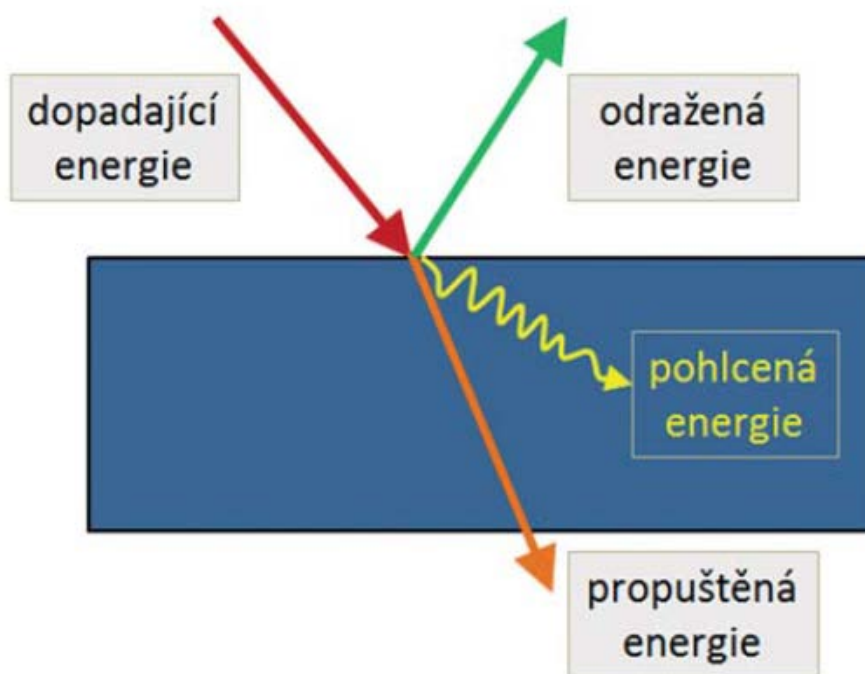
$$Q = Q_A + Q_R + Q_D \text{ [J]} \quad (2.4)$$

kde:

- $Q$  celková energie [J]
- $Q_A$  pohlcená energie (absorbivita) [J]
- $Q_R$  odražená energie (reflexivita) [J]
- $Q_D$  propuštěná energie (diatermita) [J]

Každé těleso tedy nejen sálá, ale také nepřetržitě pohlcuje sálavou energii. Výsledkem těchto dvojích přeměn energie tedy tepelná x sálavá x tepelná je definováno jako výměna tepla sáláním. Množství energie, které vysílá povrch tělesa je označována jako sálavost tělesa případně emisivita. Jedná se o bezrozměrnou veličinu závislou na vlastnostech materiálu (barva, struktura, aj.) a také na teplotě tělesa (9) (11).

Obr. 12 – Dopad záření na povrchy těles (9)



Délkou vlny kmitavého pohybu vychází z rovnice (2.5) (11):

$$c = v \cdot \lambda \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.5)$$

kde:

$c$  rychlost šíření kmitů [ $\text{ms}^{-1}$ ]

$\lambda$  délka vlny [m]

$v$  kmitočet [ $\text{s}^{-1}$ ]

### 2.3. TEPLOTA A RYCHLOST ROZVOJE POŽÁRU

Teplota během požáru je velmi rozdílná. Záleží na druhu hořlavého materiálu, který je uvnitř místnosti ve, které požár vznikl. Nicméně existují prakticky 4 kategorie požárů, které se od sebe liší rychlostí rozvoje. Tyto 4 kategorie vycházejí z reálných požárních zkoušek a jsou plně popsány v normativu ISO/TR-13387-2 (12).

Počáteční fázi rozvoje požáru lze popsat křivkou vyjádřenou rovnicí (2.6):

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^p \text{ [kW]} \quad (2.6)$$

kde:

$\dot{Q}$  rychlost uvolňování tepla [kW]

$\alpha$  koeficient rozvoje požáru [ $\text{kW/s}^2$ ]

$t$  čas po iniciaci požáru [s]

$p$  kladný exponent

Exponent je ve většině případů uváděn jako číslo 2. Pak je křivka známá jako kvadratická křivka požáru a je přímo úměrná druhé mocnině času. Dle NFPA je tento vzorec (2.7) uváděn jako:

$$\dot{Q} = Q_0 \left( \frac{t}{t_0} \right)^2 \text{ [kW]} \quad (2.7)$$

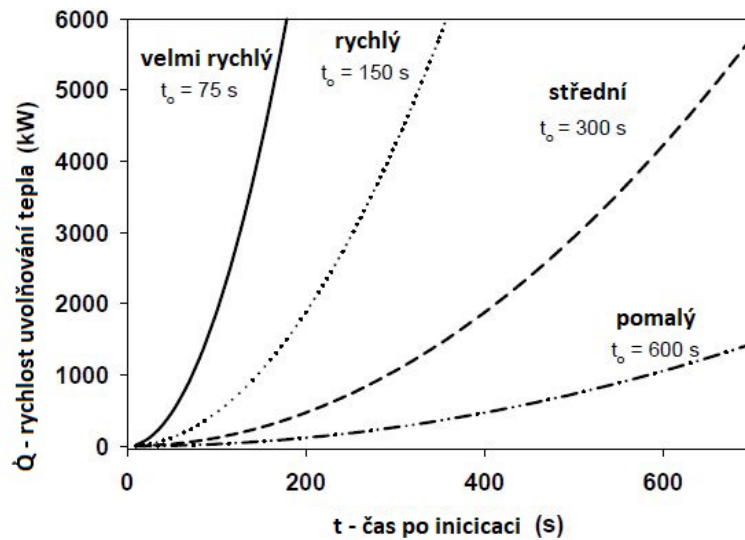
kde:

$\dot{Q}_0$  referenční rychlost uvolňování tepla 1000 [kW]

$t_0$  čas rozvoje [s]



Obr. 13 – Charakteristické kategorie rychlosti rozvoje požárů (12)



- I. Kategorie – pomalý požár –  $\alpha = 0,003$ , příkladem může být podlahová krytina
- II. Kategorie – střední požár –  $\alpha = 0,012$ , příkladem může být kancelářský nábytek nebo prodejní pulty, bavlnová nebo polyesterová matrace včetně ložního prádla
- III. Kategorie - rychlý požár –  $\alpha = 0,047$ , příkladem může být stoh prázdných kartonových krabic do výšky 4,5m nebo čalouněné paravánové systémy
- IV. Kategorie – velmi rychlý požár –  $\alpha = 0,188$ , příkladem může být čalouněný nábytek, lehký dřevěný nábytek, nahromaděný balicí materiál, uskladněná plastová pěna, kartonové nebo plastové krabice s plastovým obsahem do výšky 4,5m, tenký překližkový nábytek (6) (13)

Tab. 2 – Barva plamene v závislosti na teplotě (43)

Barva plamene	Teplota [°C]					
rudá	700					
třešňová	850	525°C	700°C	800°C	900°C	1,000°C
světle červená	950					
žlutá	1100	1,100°C	1,200°C	1,300°C	1,400°C	1,500°C
bělavá	1300					
bílá až do modra	1500					

Obecné příklady zatřídění dle předpokládaného růstu požáru jak je popisují různé zdroje, dle předpokládaného vnitřního vybavení a tím pádem požárního zatížení, mohou být následující (14):

- Byty, rodinné domy – Střední a rychlý rozvoj požáru. ( $\dot{Q}_{max} = 5.000\text{kW}$ )
- Školy, kanceláře – Střední až rychlý rozvoj požáru ( $\dot{Q}_{max} = 5.000\text{kW}$ )
- Hotely, nemocnice, domy s pečovatelskou službou – Rychlý rozvoj požáru ( $\dot{Q}_{max} = 5.000\text{kW}$ )
- Nákupní a zábavní centra – Rychlý až velmi rychlý rozvoj požáru ( $\dot{Q}_{max} = 10.000\text{kW}$ )

Dle normové křivky hoření zobrazené na obr. 6 je vidět průběh hoření celulózy. Tuto normovanou teplotní křivku můžeme považovat jako referenční křivku hoření běžného vybavení v objektech (15).

Teploty se tedy pohybují v jednotkách stovek °C. Existuje jednoduché určení teploty plamene dle jeho zbarvení. Toto rozdělení je patrné v tab. 2.

### 2.3.1. VLIV TEPELNÉHO ZÁŘENÍ NA LIDSKÝ ORGANISMUS

Tab. 3 – Hodnoty tepelného toku (2)

Závislost na čase při unikání osob	
Hustota tepelného toku	Doba působení
[W.m <sup>-2</sup> ]	[s]
2500	40
2900	30
3800	20
5900	10
9600	5
Závislost na době působení a pocitu bolesti osob	
280 - 550	neomezená
625 - 1050	180 - 300
1100 - 1600	40 - 60
1680 - 2200	20 - 30
2200 - 2800	12 - 14
2800 - 3100	7 - 10
nad 3500	2 - 5

Lidský organismus nemůže snášet vysoké teploty po dobu více než několika minut. Komfortní zóna pro lidský organismus se pohybuje v rozmezí 20-25°C (v závislosti na vlhkosti, proudění vzduchu a dalších faktorech). Nicméně snesitelnost při 65°C klesá na méně než hodinu (opět v závislosti na vlhkosti, oblečení a v neposlední řadě psychickému stavu daného člověka). Ale již při 105°C se snesitelnost sníží na 25 minut, 115°C na 15 minut a 145°C je snesitelné pro pouhých 5 minut. V případě teploty kolem 180°C již dochází k nenávratnému poškození

a vysušení pokožky. V tomto případě lidský organismus vydrží bez ochranných prostředků do 30 sekund (16).

Teplotu v místnosti lze lehce interpretovat jako hustotu tepleného toku, který pak ohrožuje osoby v zasažené místnosti. Na základě zkoušek od různých institucí a autorů lze interpretovat některé výsledky, které jsou uvedeny v tab. 3 (2).

## 2.4. STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ

Z výše uvedených kapitol objasňujících základy hoření a šíření požárů je patrné, že pro efektivní hašení požárů je nutná včasná aktivace bezpečnostních zařízení. Pakliže k této včasné aktivaci nedochází, každou minutou z prodlení se hašení stává více náročné a po dosažení hodnot flashoveru je již prakticky jakékoli hašení neúčelné. Stabilní hasicí zařízení je proto navrhováno pro uhašení požáru vodou v jeho počáteční fázi, nebo pro udržení požáru pod kontrolou, aby jeho uhašení mohlo být dokončeno jinými prostředky. Včasný zásah protipožárních systémů pak značně eliminuje ztráty na životech nebo na majetku (17). U stabilních hasicích zařízení rozlišujeme tři účely. Uvedení požáru pod kontrolu, jeho lokalizace nebo jeho eliminace.

Druhy stabilních hasicích zařízení (18)

- Sprinklerové stabilní hasicí zařízení - samočinné (SHZ)
- Sprejové (drenčerové stabilní hasicí zařízení nebo záplavové), jehož aktivace je závislá na jiném požárně bezpečnostním zařízení, například elektrické požární signalizaci (EPS viz kapitola 2.3.6.), plynové detekci a dalších
- Mlhové (MHZ) – samočinné nebo závislé na jiných požárně bezpečnostních zařízeních
- Sprejové (RHZ) – aktivace pomocí jiných požárně bezpečnostních zařízeních
- Pěnové (FHZ) – aktivace pomocí jiných požárně bezpečnostních zařízeních
- Plynové (GHZ) - aktivace pomocí jiných požárně bezpečnostních zařízeních
- Práškové (WHZ) - aktivace pomocí jiných požárně bezpečnostních zařízeních
- Aerosolové (AHZ) - samočinné nebo závislé na jiných požárně bezpečnostních zařízeních

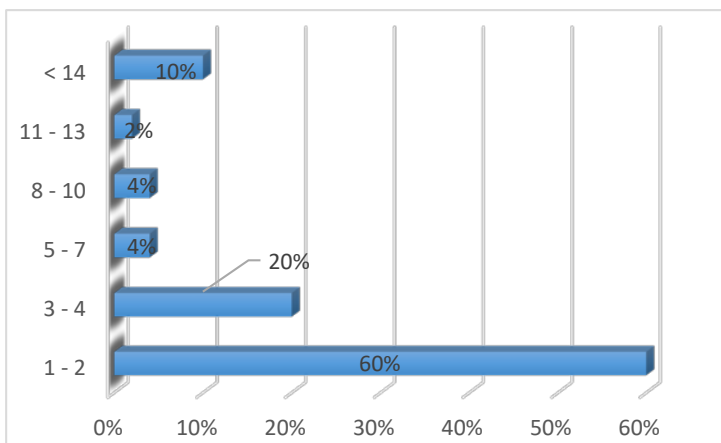
- Doplnkové (DHZ) – samočinné, ale nemá všechny parametry samočinného zařízení dle specifikací ČSN EN 12 845
- Doplnkové sprejové (drenčerové) - aktivace pomocí jiných požárně bezpečnostních zařízení, nemá však všechny parametry dle specifikací ČSN EN 12 845 (použití je hlavně v případě snadného a rychlého dojezdu jednotek požární bezpečnosti)
- Polostabilní (PHZ) a polostabilní sprejové (drenčerové) – jejich aktivace je závislá na dodávkách vody do systému (mobilní požární technika – hasičský vůz a jeho velikost cisterny. Použití je hlavně v případě snadného a rychlého dojezdu jednotek požární bezpečnosti.)

Použité zkratky jako DHZ, GHZ apod. vychází z označení dle normy ČSN 730810:2010. Můžeme se setkat i s jinými druhy označení sestávajících vesměs pouze ze zkratky SHZ a k tomu slovní popis daného druhu (např. pěnové SHZ, aerosolové SHZ apod.).

#### 2.4.1. STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ – VODNÍ (SHZ)

Světově nejrozšířenějším protipožárním aktivním systémem, pakliže nebudeme počítat systém EPS (elektronická požární signalizace, která má za úkol pouze včasnou detekci požáru) je sprinklerové stabilní hasicí zařízení SHZ. Celosvětová oblíbenost tohoto systému vychází z jeho vysoké efektivnosti při potlačení požárů. Obecně je sprinklerový

Obr. 14 – Graf podílu aktivních hlavice na potlačení požáru (19)



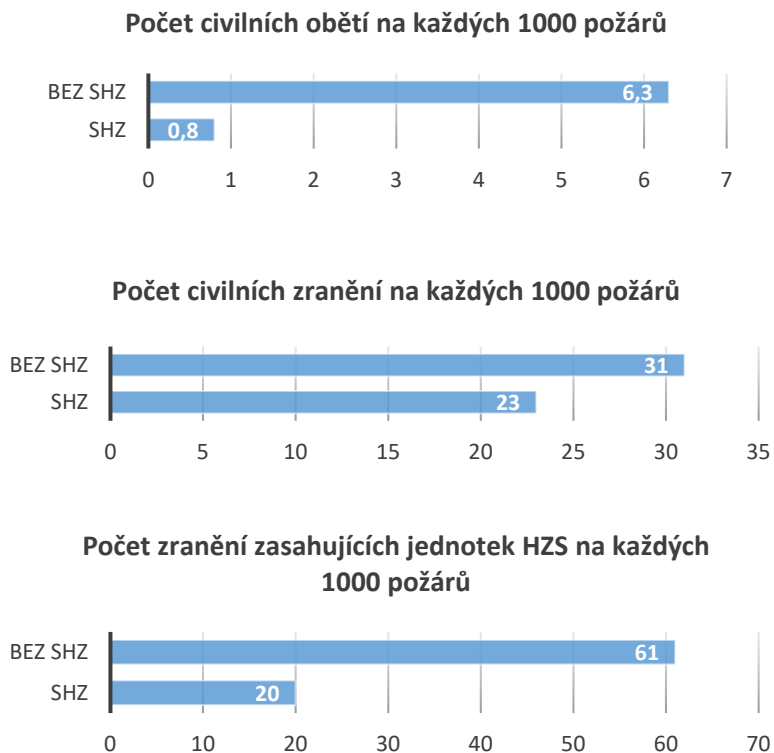
system používán hlavně jako kontrola požáru do příjezdu jednotek HZS. Jedna z posledních výročních zpráv celosvětově uznávané organizace NFPA (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION) z roku 2017 prezentuje následující zhodnocení, které zachycuje

podíl požárů a aktivace sprinklerového systému ve spojených státech amerických v letech 2010 - 2014 (19).

Z celkového počtu požárů, které propukly v objektech, kde jsou sprinklery nainstalovány a oheň byl dostatečně velký, aby aktivoval hlavice, operovaly sprinklery v 92 % případech. V těchto 92 % pouze 4 % požárů nebylo efektivně kontrolováno pomocí sprinklerů. Z toho vyplývá, že plných 88 % požárů bylo efektivně potlačeno nebo kontrolováno pomocí tohoto druhu SHZ. Důvody 8 % nespustění systémů jsou různé. Od vypnutého systému, přes nedostatečnou údržbu, nedostatečný proud nebo množství vody dodávaného k požáru. Dále skutečnost, že se voda nedostala k požáru, až po nevhodnost systému pro daný typ ohně. Na obr. 14 je znázorněn podíl aktivních hlavice v případě spuštění systému (19). Jestliže tedy zohledníme podíl potlačených požárů a 60 % podíl pouhého jednoho nebo dvou sprinklerů, vychází nám opravdu velká efektivita daného systému.

Z této výroční zprávy vycházejí i další předpoklady proč aktivní požární prvky nadále používat. Příkladem může být statistický údaj, který uvádí počet zranění nebo obětí na životech na každých 1000 požárů. Údaje jsou znázorněny na obr. 15.

Obr. 15 – Graf podílu aktivních hlavice na potlačení požáru (19)

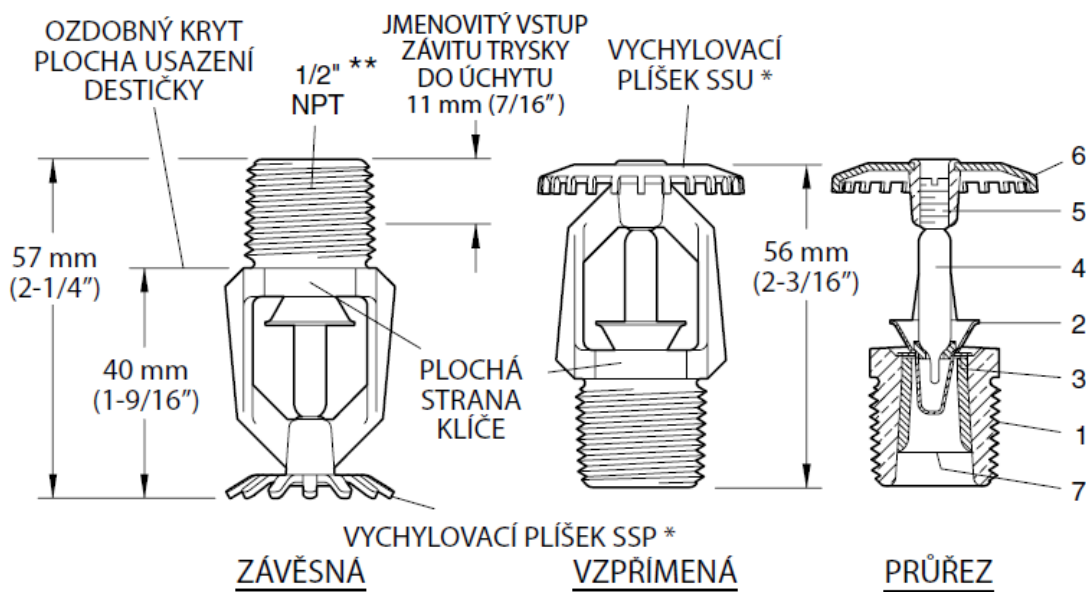


Z výše uvedených dat jednoznačně vyplývá efektivnost použití stabilních hasicích systémů, kdy například civilní oběti jsou o plných 87 % menší při používání systémů SHZ, než v případě kdy tímto systémem není budova vybavena (19).

### 2.4.1.1. SPRINKLERY

Sprinklerovou hlavici lze považovat za samočinný ventil, který dopravuje potřebné množství vody na požadovanou plochu. Jeho výstřik a použití je dáno použitím různých komponent při jeho výrobě. Nejpoužívanější typy sprinkleru jsou znázorněny na obr. 16. Jedná se o hlavice závěsné a stojaté. Dále je na tomto obrázku znázorněno, z jakých komponent se sprinklerová hlavice skládá. 1 – rám (tělo sprinkleru), 2 – tlaková zátka, 3 – těsnící kroužek, 4 – tepelná pojistka, 5 – tlakový šroub, 6 – tříštič, 7 – pouzdro (20).

Obr. 16 – Sprinklery se skleněnou pojistkou (20)



**Rám** – tělo sprinkleru je povětšinou odlitek z různých materiálů. Nejběžnějšími materiály jsou v tomto směru bronz, chrom případně nerez ocel. Lze provést i další povrchové úpravy v závislosti na použití. Může se jednat pouze o barevné provedení pro architektonické účely, ale také po speciální pokovení pro osazení do různých druhů agresivního prostředí. Není výjimkou i různé druhy voskování či asfaltování nebo například různé ochranné nátěry, nebo estetické nátěry vycházející z architektonických požadavků. Jakékoli úpravy nesmí mít vliv na kteroukoli charakteristiku sprinklerové hlavice. Tvar a

velikost tohoto základního odlitku nám rozlišuje různá rozdělení sprinklerových hlavice a to dle průtoku nebo způsobu použití (20).

Základní rozdělení sprinklerových hlavice velikostí rámu je rozdělení dle tlaku/průtoku. To je přesně definováno tzv. K-faktorem. K-faktor je stanoven pomocí následující rovnice (2.8) (21):

$$Q = K(p)^{1/2} [l.min^{-1}] \quad (2.8)$$

kde:

$Q$  průtok vody [ $l.min^{-1}$ ]

$p$  tlak [bar]

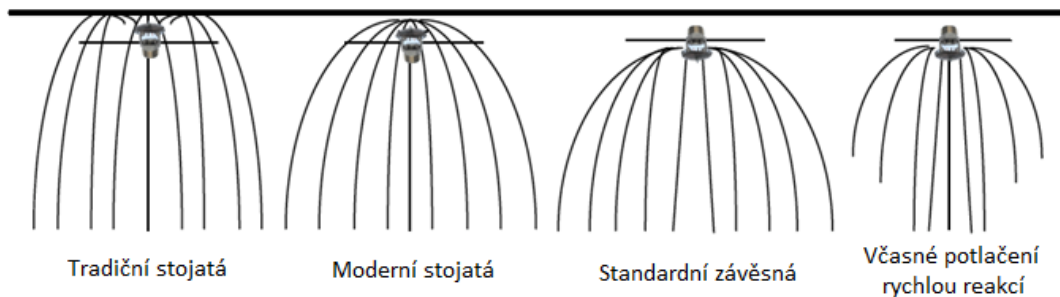
$K$  K-faktor [ $l.min^{-1}.bar^{1/2}$ ]

Jedná se tedy o výtokovou charakteristiku každé hlavice rovnající se průtoku na sprinkleru při tlaku 1bar (0,1 MPa). Podle tlakové charakteristiky mohou být rozdělené na (22):

- Nízkotlaké (do 12 bar)
- Středotlaké (do 16 – 18 bar)
- Vysokotlaké (nad 18 bar – až 140 bar - vodní mlha)

Sprinklerové hlavice na obr. 16 jsou vyrobené pro K-faktor 80, což je jedna z nejběžnějších hodnot pro sprinklery tohoto typu. Dalšími možnými K-faktory jsou například 57 nebo 115. Speciální velkoobjemové sprinklerové hlavice určené například pro regálové jištění disponují K-faktorem až o hodnotě 360 – ESFR hlavice pro včasné potlačení požáru (22).

Obr. 17 – Rozstříkové charakteristiky (23)



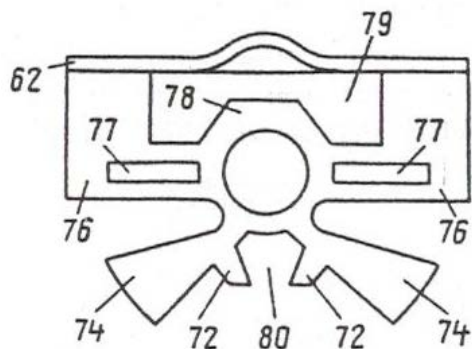
**Tříštič** – určuje rozstříkovou charakteristiku vody. Některé druhy rozstříku jsou zobrazeny na obr. 17. Tradiční stojatá hlavice se vyznačuje možností zkrápění nejprve stropu nebo podhledu. Na ochlazování stropu pak může být použito mezi 40-60% celkové dodávky vody. Toho se využívá hlavně v případě, kdy stropní konstrukce nemá dostatečnou požární odolnost (22). Moderní stojaté hlavice směřují svůj rozstřík pouze radiálně k zemi. Standardní závěsná hlavice rozstříkuje pouze směrem k zemi. Tyto dva druhy se vyznačují rovnoměrnějším rozstříkem po celé ploše. Rozstřík pro včasné potlačení má primárně mířený tok vody pod hlavici, kde se předpokládá zdroj požáru. Tento druh se používá přednostně v situacích, kde se předpokládá rychlý rozvoj požáru (23). Obecně lze tedy rozlišit 3 základní druhy sprinklerových hlavice dle jejich pozice, a sice sprinkler stojatý označovaný SPU z anglického označení upright. Tento druh má konkávní tvar tříštiče. Voda se rozstříkuje ve tvaru kopule. Výhodou vzpřímené pozice je eliminace možného zamrznutí vody ve sprinklerové hlavici. Proto je tento druh rozstříku jako jediný povolený v suchých systémech. Použití pak vychází primárně pro volný strop bez podhledu v průmyslových prostorách nebo kanceláři bez podhledu (24). Stojaté sprinklery bývají převážně méně náchylné k mechanickému poškození a zachycování cizích látek při průtoku. Stojaté sprinklery také usnadňují odvodnění systému (17).

Dalším druhem je sprinkler závěsný označovaný P z anglického označení pendent. Tvar tříštiče je v tomto případě konvexní a rozstřík vody je v konickém nebo kuželovitém tvaru. Tento druh je využíván hlavně v případě kdy není nutné ochlazovat i stropní konstrukci nebo pokud je instalován dodatečný podhled. Tato hlavice je pak instalována přímo do podhledové konstrukce s ochranou rozetou, která pak slouží jako architektonický prvek (24) (22). Závěsné sprinklery mají schopnost dodávat větší intenzitu vody při vyšší rychlosti, bezprostředně pod a vedle osy sprinkleru. Z tohoto důvodu mohou mít lepší schopnost uvést požár pod kontrolu v některých aplikacích jako je například ochrana uvnitř regálů a ochrana skladovacích ploch. Nicméně jsou více náchylné na případné zamrznutí nebo zachytávání cizích látek a těles při průtoku. Z tohoto důvodu není dovoleno je používat v suchých soustavách (17).



Posledním základním druhem je pak sprinklerová hlavice horizontální označovaná jako H nebo SW z anglického horizontal nebo side-wall patern. Využívají se tam, kde není

Obr. 18 – Příklad tvaru tříštiče horizontální sprinklerové hlavice (22)



možné nebo není vhodné vést přívodní potrubí pod stropní konstrukcí. Typickým příkladem může být použití v hotelových pokojích, kde se klade velký důraz na estetiku pokoje. Je vhodný pro malé prostory (24). Tvar tříštiče je pak detailně znázorněn na obr. 18. Ploška č.74 má za úkol usměrnit tok vody na bližší stěnu a část podlahy. Otvory č.77 pak usměřňují tok vody na střední část podlahy. Šířka

výstřikového proudu je pak dána primárně velikostí otvoru č. 79. Horní část tříštiče č.62 a otvor č.79 usměřňují výstřik vody do vzdálenější části jištěného prostoru (22).

Některé další typy sprinklerových hlavic jsou pak znázorněny na obr. 19. Jedná se zejména o skryté hlavice, které svojí konstrukcí nenarušují architektonický vzhled daného prostoru. Hlavice je pak skryta teplocitnou krytkou, která reaguje na teplotu, která je nižší

Obr. 19 – Příklady uvedených sprinklerových hlavic – upraveno dle (24) (20)



než teplota teplocitné baňky sprinklerové hlavice. Dalším druhem může být vertikální stěnový sprinkler, který se liší ve tvaru tříštiče. Tento druh má tříštič konstruovaný tak, aby zkráplěl pouze určitou část prostoru. Speciální konstrukce pro půdní prostory má pak tříštič konstruovaný tak, že tok vody je usměřňován pouze v úzkém pruhu na obě

strany od sprinklerové hlavice. Otevřená hlavice je speciální případ, který nedisponuje žádnou tepelnou pojistkou. Tento druh se používá pro takzvané zaplavovací systémy. Tyto systémy se používají pro zavodnění systému, kde je nutná aktivace více hlavic na jednou. Tyto hlavice jsou pak napojeny na elektromagnetické ventily, které jsou napojeny na systém požární elektrické signalizace, která po zjištění požáru otevře příslušný elektromagneticky ventil, čímž dojde k distribuci vody ke všem hlavicím napojených na příslušné potrubí za ventilem.

**Tepelná pojistka** – určuje spouštěcí teplotu hlavice. Na obr. 16 jsou znázorněny sprinklerové hlavice s tepelnou pojistkou s tekutou náplní. Dalším druhem je použití tavné pojistky. Tyto hlavice se používají převážně ve Spojených státech. Spouštěcí teploty otevírání jsou přesně stanoveny v příslušných normách. Tyto hodnoty i jejich označení je platné pro všechny druhy a jejich použití je shodné pro většinu mezinárodně uznávaných normativních předpisů. Hodnoty spouštěcích teplot a jejich odpovídajících pojistek jsou patrné v tab. 4.

*Tab. 4 – Otevírací teploty a barevné označení sprinklerů dle ČSN EN 12 259-1*

Skleněná pojistka		Tavná pojistka	
Otevírací teplota [°C]	Barva	Rozsah otevírací teploty [°C]	Barva
57	oranžová	55 - 77	bez označení
68	červená		
79	žlutá	80 - 107	bílá
93	zelená		
141	modrá	121 - 149	modrá
182	světle fialová	163 - 191	červená
204/260	černá	204 - 246	zelená

Dalším důležitým faktorem mimo teplotu spouštění je také rychlost odezvy na vzniklé teplo. Klasifikace tepelné odezvy je znázorněna pomocí mezinárodního indexu RTI (Response Time Index). Prakticky se jedná o rychlost otevření (porušení pojistky) sprinklerové hlavice proto se tomuto faktoru říká také citlivost hlavice. Vyjádření RTI je dle následující rovnice (2.9) (22).

$$RTI = \frac{-t_0\sqrt{v}}{\ln\left(1 - \frac{\Delta t_0}{\Delta t_g}\right)} [(m/s)^{0.5}] \quad (2.9)$$

kde:

$t_0$  reakční čas [s]

$v$  rychlost vzduchu ve zkušebním kanálu [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$t_0$  rozdíl mezi otevírací teplotou a teplotou okolní atmosféry [ $^{\circ}C$ ]

$t_g$  rozdíl mezi teplotou ve zkušebním kanálu a teplotou okolní atmosféry [ $^{\circ}C$ ]

Tyto hodnoty se stanovují experimentálně dle přesně stanoveného postupu vyvinutém v 70. letech ve Spojených státech Amerických takzvanou ponořovací zkouškou. Citlivost hlavice se pak rozlišuje na 4 druhy dle hodnoty RTI (22) (20).

Obr. 20 – Schéma tepelné výměny ve sprinklerové hlavici (22)



- Standardní odezva A (standard response A) – RTI 80 – 200 (skleněná pojistka 5mm)
- Standardní odezva B (standard response B) – RTI 200 – 400 (skleněná pojistka 8mm)
- Rychlá odezva (quick response) – RTI < 50 (skleněná pojistka 3mm)
- Speciální odezva (special response) – RTI 50 – 80 (skleněná pojistka 4mm)

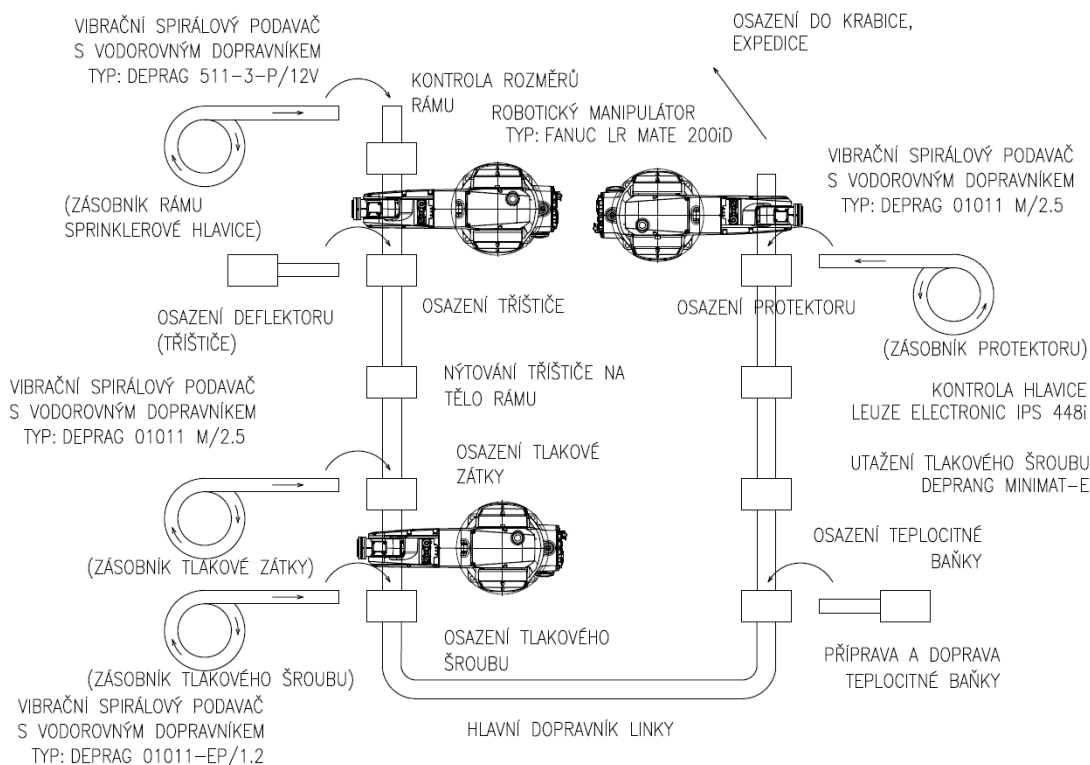
Velikosti skleněné pojistky nejsou však jediným faktorem ovlivňující hodnotu RTI. Reakční čas je ovlivňován i rychlostí a způsobem prostupu tepla do těla sprinkleru a dalších

částí systému (jako je potrubí) a v neposlední řadě vody (toto platí i v případě tavných pojistek). Proces je znázorněn na obr. 20. Hodnotu RTI u tavných pojistek ovlivňuje změna plochy a tloušťky tavné pojistky včetně jejího správného nasměrování proti proudění tepla (22).

### 2.4.1.2. VÝROBA SPRINKLEROVÉ HLAVICE

V předešlé kapitole na obr. 16 jsou znázorněny dva základní typy sprinklerové hlavice s popisem všech základních komponent, ze kterých je vyrobena. Oba druhy disponují K-faktorem 80 s vstupním otvorem 15mm. Zjednodušeně můžeme říct, že tělo sprinkleru můžeme v tomto případě použít pro oba druhy stejné (mimo vstupní materiál což může být chrom nebo bronz). Stejně tak komponenty 2,3,5 a 7. Zásadní rozdíl je pak v tepelné pojistce a tříštiči. Tepelná pojistka nám určuje spouštěcí teplotu dané hlavice od základních 68°C až po speciální například pro výrobní linky kde jsou zdroje tepla a je tedy nutné použít vyšší

Obr. 21 – Příklad montážní linky sprinklerové hlavice společnosti TYCO (20) (25)



spouštěcí teplotu 98°C či 141°C a jiné viz tab. 4. Toho docílíme pouze naplní v tepelné pojistce a velikostí vzduchové bubliny uvnitř kapaliny. Byť kompletace sprinklerové hlavice

sestává pouze ze 7 komponent, celý proces je vcelku složitý a náročný. Na obr. 21 je vidět schéma celého procesu, včetně příkladu použitých strojů, který je následně stručně popsán. Od prvotního odlitku těla hlavice jsou tyto odlitky dopravovány přes spirálový vibrační podavač (dopravník) na pásový dopravník. Na tomto dopravníku probíhá kontrolní měření rámu. Primárně pak velikost průměru průtokové části a průchodnost otvoru pro pojistný tlakový šroub. Dále je zde provedeno označení rámu a pomocí přímočarého 2D portálu rám přesunut na další dopravník, který má přesné pozice. Současně s touto operací probíhá příprava tříštiče (deflektoru). Krokovým mechanismem je podáván a správně orientován, aby mohl být opět pomocí přímočarého portálu nasazen a nalisován na rám. Dále je prováděna příprava tlakové zátky pomocí vibračního spirálového podavače. Zátka je přesunuta k dopravníku s rámem a pomocí robotického podavače vložena na požadované místo. Ze zásobníku je přiveden tlakový šroub, který je nasazen na kraj závitů. Trubkovým podavačem je přivedena k lince teplocitná baňka, která je robotickým podavačem umístěna do těla hlavice. Následuje utažení šroubu pomocí přesného utahovacího momentu. Tím je kompletace hotová. Následují zkoušky sestavené hlavice, což obnáší hlavně správné uložení teplocitné baňky (souosost uložení), tepelná zkouška, tlaková zkouška a UV zkouška. V neposlední řadě je pak osazena ochrana teplocitné baňky a osazení sestavené hlavice do krabice a příprava na export. Teplocitná baňka je pak nejcitlivějším komponentem ze všech 7 prvků sestavujících hlavici (25) (20).

Zatímco rámy a tříštiče či další komponenty spadají pod vlastní výrobu světových výrobců požárních systémů – příkladem mohou být společnosti TYCO, Viknig, Minimax, Victaulic, Reliable apod., výroba teplocitné baňky je složitá a náročná na přesnost výroby, spadá pak pod výrobu externích dodavatelů, jako jsou společnosti JOB nebo Day-Impex.

Teplocitná baňka je velmi spolehlivá a hlavně ekonomická varianta aktivace sprinklerové hlavice v případě požáru. Jedná se o velmi křehkou baňku, která je naplněna chemickou kapalinou, která se s rostoucí teplotou rozpíná (26). Tato kapalina je pro každého výrobce odlišná dle jejich jednotlivých zkušeností a testů. Nicméně dle tab. 4 je patrné, že existují různé varianty v závislosti na aktivační teplotě. Je nutné, aby aktivace (destrukce teplocitné baňky) proběhla v maximální toleranci 5 % odchylky od dané teploty. Toho je docíleno nejen tepelnou kapacitou expandující kapaliny, ale také její tepelnou vodivostí a viskozitou. Expandující kapalina pak má způsobit i nejstrmější možný nárůst tlaku

v důsledku zahřátí kapaliny. To znamená, že musí mít vysokou hodnotu poměru nárůstu tlaku s teplotou ( $\Delta p/\Delta T$ ). To udává koeficient tepelné roztažnosti ke stlačitelnosti, který by

*Tab. 5 – Experimentální kapaliny použitelné jako náplň teplocitné baňky (27)*

Látka	Bod varu	Relativní doba odezvy vzhledem k vodě (voda =100)
Isopropanol	82°C	114
Voda	100°C	100
KCl 35,5%	80°C	86
Ethanol	80°C	75
Methanol	64°C	88
Glycerol	290°C	97
Ethylacetát	76°C	65
Toluen	10°C	59
n-Decan	173°C	66
Cyclohexan	80°C	63
Trichloroethylen	86°C	62
Tetrachloroethylen	20°C	62
Ethylacetoacetat	69°C	62
Aceton	56°C	60

měl být vyšší než 10bar/K. Doba aktivace se na jedné straně ovlivňuje důležitými fyzikálními vlastnostmi, ale na druhé straně ji lze ovlivnit konstrukčním opatřením teplocitné baňky. Jedná se zejména o snížení tloušťky teplocitné baňky nebo zvýšení její tepelné vodivosti, případně zvýšení tepelné vodivosti expandující kapaliny. V současné době se používají kapaliny na základě alkoholů, konkrétně n-butanol, isopropanol a glycerol. Lze se však setkat i

s náplní na základě parafinového oleje nebo ethylacetát (27).

Bylo experimentálně zjištěno, že doba odezvy malých teplocitných baněk závisí na jedné straně na součinu průměrné kapacity expandující kapaliny s hustotou a objemem teplocitné baňky (tepelná kapacita tekuté náplně).

Příklady experimentálních expandujících kapalin používaných v testech kapalin pro teplocitné baňky jsou uvedeny v tab. 5. Z různých experimentů vychází fakt, že kapaliny jsou mezi sebou lehko mísitelné a na rozdíl od dříve používané kapaliny Isopropanolu se nyní používají směsi trichloroethylenu a nebo tetrachloroethylenu a jiných (27).

Při výrobě jsou použity dva různé způsoby, a sice že teplocitná baňka je naplněna požadovanou tekutou směsí a vzduchem. Druhým způsobem je, že je teplocitná baňka naplněna požadovanou směsí a jejími výpary (28). V obou případech je však použit stejný princip, a sice naplnění baňky požadovanou tekutinou při teplotě, při které má dojít

k aktivaci baňky, tj. například 68°C. Poté je baňka uzavřena a zchlazena na běžnou pokojovou teplotu, která je uvažována v běžných aplikacích tj. 20-25°C. Tekutina ztratí pak již v uzavřené baňce svůj objem a tím vzniká požadovaná „bublina“. Ta je pak díky tepelné roztažnosti pro každou teplotu jiná (20). Patrné je to na obr. 22, kde jsou uvedeny různé druhy teplocitných baňek v různých teplotách. Na tomto obrázku je i patrná různá velikost „bublin“ uvnitř každé baňky.

Obr. 22 – Příklady teplocitných baňek různých výrobců (42) (26)



správná funkce teplocitných baňek se stanovuje experimentálně, například ve větrných tunelech, které má k dispozici například Univerzita v Canterbury. Obecně lze uvést, že přenos tepla do teplocitné baňky probíhá primárně pomocí vedení a radiací, jak bylo uvedeno na obr. 20. Účinek radiačního šíření tepla je v počáteční fázi považován za malý, protože ve srovnání s účinkem pomocí vedení se jedná o velmi malou hodnotu. Experimentálně je však zjištěno, že toto tvrzení neplatí v případě, že se jedná o situaci, kdy je sprinklerová hlavice blízko požáru nebo pokud je požár v klasifikaci rychlého nebo velmi rychlého rozvoje (29).

### 2.4.1.3. PROCES AKTIVACE SPRINKLEROVÉ HLAVICE - HAŠENÍ

Předpokladem procesu aktivace sprinklerové hlavice je vznik požáru a tím pádem zvýšení teploty v chráněném prostoru. Teplota vzrůstá dle předpokladů popsaných v předepsaných kapitolách. V počáteční fázi se jedná hlavně o tok horkých spalin hoření, které stoupají pod strop, kde se následně rozprostírají do prostoru viz. podstropní proudění. Toto proudění se v počáteční fázi pohybuje mezi 1 – 4 m/s při teplotě v rozmezí 100 – 300°C.

Proces proudění spalin i v okolí vzniku požáru je patrný na obr. 23. Toto zvýšení teploty má za následek prostup tepla do skleněné teplocitné baňky a následně do kapaliny uvnitř baňky, která se začne rozpínat. Vzduchová „bublina“ začne absorbovat požadovanou teplotní roztažnost kapaliny až na požadovanou mez, kdy je zcela absorbována a následně dojde k destrukci teplocitné baňky (případně roztavení bimetalové tepelné pojistky v případě sprinklerových hlavíc používaných v USA.). Po destrukci tepelné pojistky dojde k uvolnění tlakové zátky (prvek č. 2 na obr. 16) a voda začne proudit z ústí sprinklerové hlavice. Celý proces je ve 4 fázích znázorněn na obr. 24.

Pro vědecké výzkumy byli vytvořeny počítačové simulace pro vyjádření procesu aktivace teplocitné baňky. Nicméně pro potřeby zjednodušeného výzkumu lze použít interpretace ve formě následujícího vzorce (2.10), který vychází z podstaty, která je znázorněna na obr. 8.

$$T_{m(plume)} = 16,9 \frac{Q^{2/3}}{h^{5/3}} + T_{\infty} [K] \quad (2.10)$$

kde:

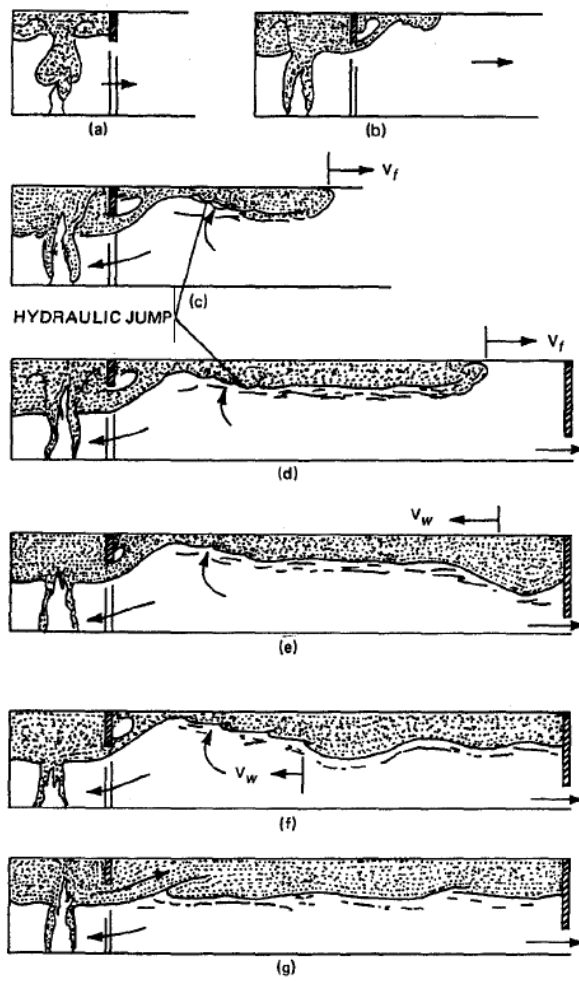
$h$	vzdálenost od zdroje hoření [m]
$\dot{Q}$	rychlost uvolňování tepla [kW]
$T_{m(plume)}$	teplota proudu spalin hoření nad požárem [K]
$T_{\infty}$	pokojeová teplota v místnosti [K]

Rozdíl je samozřejmě v případě, že se jedná o záplavový systém. Pak je spuštění systému pomocí signálů z externí detekce například od systému elektronického požárního systému (EPS), která je napojena na řídicí ventil, který se otevře a tím dojde k aktivaci hašení.

Z výše uvedeného je jasné, že hašení požáru probíhá za pomoci velkého množství vody, které dopadá do jištěného prostoru. Vodní kapky, které dopadají na povrch, tak absorbují tepelnou energii z hoření daného prostoru. Z pyramidy hoření tedy eliminujeme jednu potřebnou složku, a sice energii (žár) a tím dochází k přerušení procesu hašení daného prostoru.



Obr. 23 – Podstropní proudění a šíření zplodin hoření (39)



Obr. 24 – Aktivace sprinklerové hlavice se skleněnou pojistkou (15)



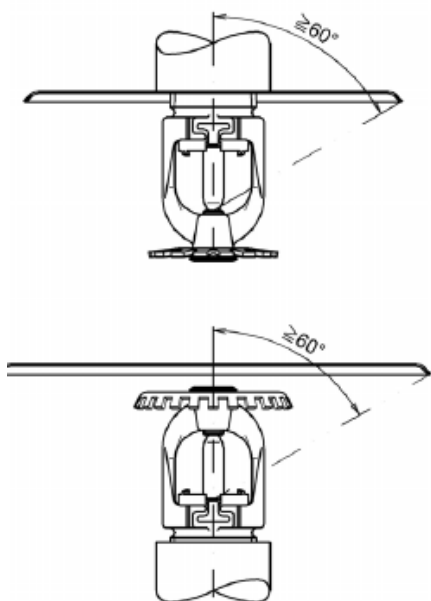
#### 2.4.1.4.    **NORMATIVNÍ POŽADAVKY NA ROZMÍSTĚNÍ A UMÍSTĚNÍ SPRINKLEROVÝCH HLAVIC**

Dle předchozích kapitol jsou stanoveny normativní požadavky na rozmístění a umístění sprinklerových hlavice, díky kterým je zajištěna včasná aktivace sprinklerové hlavice. Dle ČSN 12 845 a kapitoly 12.4 – Umístění sprinklerů vzhledem ke stavebním konstrukcím máme přesně stanovené pozice a umístění. Nejdůležitější informací je podkapitola 12.4.2, kde je psáno: *„Sprinklery se nesmějí instalovat níže než 0,3 m pod dolní hranu hořlavých stropů nebo níže než 0,45 m pod střechami nebo stropy z materiálů třídy reakce na oheň A1 nebo A2 nebo ekvivalentních podle národních klasifikačních systémů pro střechy nebo stropy. Pokud to je možné, musí se sprinklery umístit tak, aby jejich tříštič byl ve vzdálenosti 0,075 m až 0,15 m pod stropem nebo střechou, s výjimkou případu, kdy jsou použité stropní sprinklery, zapuštěné sprinklery nebo polozapuštěné sprinklery. Pokud je nevyhnutelné použít maximální vzdálenosti 0,3 m až 0,45 m, musí být chráněná plocha co nejmenší.“* (17) V případě, že se jedná o horizontální hlavici, pak maximální možná vzdálenost od stropu je 0,15m (30). Touto problematikou se detailně zabývá právě norma FM Global, kde se osazováním horizontálních hlavice zabývá celá kapitola 2.1.3.3.

Další důležitou citací je podkapitola 14.5.2 a sice: *„Účinná funkce sprinklerových zařízení závisí na včasné potlačení nebo uvedení požáru pod kontrolu v počátečním stadiu. S výjimkou, když jsou sprinklery umístěné v regálech, se normálně uvádějí do činnosti horizontálním průtokem horkých zplodin hoření přes sprinklery. Proto nesmí tomuto horizontálnímu proudění zplodin hoření nic překážet.“* (17)

Ve všech ohledech tedy platí, že umístění sprinkleru nesmí být v rozporu s nařízením uvedeném v kapitole 12.4.2 ČSN EN 12 845. Jediné možné opatření, které norma dovoluje, je uvedeno v kapitole 12.3, a sice že: *„Sprinklery se nesmí montovat ve vzdálenostech mezi sebou menších než 2 m mimo situaci, kde je uspořádání, které zajišťuje, aby se sousední sprinklery vzájemně nesmáčely; toho se může dosáhnout krycími plechy cca 200 mm x 150 mm nebo použitím stavebních prvků omezujících výstřik.“* Případně kapitola 14.7 Zádržné plechy uvádí: *„Sprinklery instalované v regálech, pod perforovanými policemi, plošinami nebo podlahami a na podobných místech, kde voda z výše položeného sprinkleru nebo*

Obr. 25 – Zadržné plechy dle VdS CEA 4001 (31)

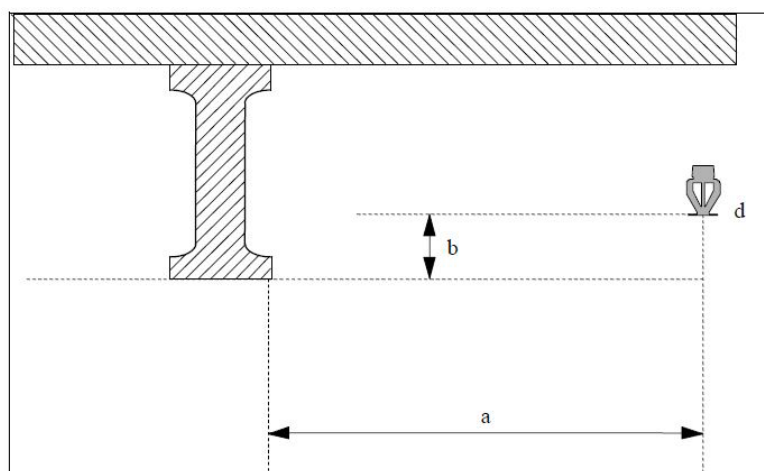


sprinklerů může způsobit smočení skleněné nebo tavné pojistky, musí být sprinklery opatřené zádržným plechem o minimálním průměru 0,075 m. U stojatých sprinklerů nesmějí být zádržné plechy připevněné přímo k tříštičům nebo ramenům sprinkleru a všechny objímky musí být navrženy tak, aby co nejméně překážely výstřiku vody ze sprinklerů.“ (17) VdS CEA 4001 v kapitole 12.7 toto téma ještě více rozvádí, a sice že mezi osou teplocitné pojistky a hranou zádržného plechu musí být minimálně 60° což je patrné na obr. 25. Lze tedy předpokládat, že zádržný plech o ploše 0,02 m<sup>2</sup> splňuje požadavky nezávisle na montážní výšce sprinklerové hlavice.

Stejné pravidlo platí i pro sprinklerové hlavice opatřené tavnou pojistkou pro použití v USA (31).

Žádná z uvedených kapitol dle ČSN EN 12 845 tedy nedovoluje úpravu výšky osazení sprinklerové hlavice pod stropem. Dodatečná opatření jako zádržné plechy jsou sice v normě uvedeny, ale za zcela jiným účelem než je ovlivnění času aktivace sprinklerové hlavice.

Obr. 26 – Odstupové vzdálenosti od překážek dle VdS CEA 4001 (31)



Výše uvedené podmínky nutné pro splnění normy ČSN EN 12 845 jsou stejné i v německé normě VdS CEA 4001 Guidelines for Sprinkler Systems. Harmonizovaná norma ČSN totiž původně vychází z právě zmíněné normy VdS. Tato norma nám také přesně vymezuje podmínky pro osazování sprinklerových hlavíc v oblasti překážek typu nosíkových trámů. Podmínky jsou patrné z obr. 26 a následné tab.. 6. Všechny hodnoty lze mezi sebou interpolovat (31).

Dle NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION a předpisu NFPA 13 jsou požadavky na umístění sprinklerových hlavíc uvedeny v kapitole 8 – požadavky na instalaci. Zde v kapitole 8.6.4 – pozice tříštiče pro standardní stojaté a zavěšené hlavice je uvedena

Tab. 6 – Odstupové vzdálenosti od překážek dle VdS CEA 4001 (31)

Maximální vodorovná vzdálenost od vertikální osy sprinkleru od hrany nosníků nebo trámů z Obr. 24 [m]	Maximální vzdálenost tříštiče nad (+) nebo pod (-) hranou nosníků nebo trámů z Obr. 24 [m]				
	Standardní sprinkler		Sprejový sprinkler		Sprinkler s plochým výstřikem
	Stojatý	Závěsný	Stojatý	Závěsný	
0,2	-0,2	není povoleno	není povoleno	není povoleno	není povoleno
0,4	0	není povoleno	0	0	
0,6	0,03	není povoleno	0,02	0,06	-0,044
0,8	0,06	není povoleno	0,03	0,12	-0,02
1	0,1	-0,2	0,05	0,2	0,004
1,2	0,15	-0,17	0,1	0,28	0,028
1,4	0,19	-0,12	0,13	0,36	0,052
1,6	0,26	-0,03	0,16	0,47	0,076
1,8	0,39	0,17	0,18	0,67	0,1

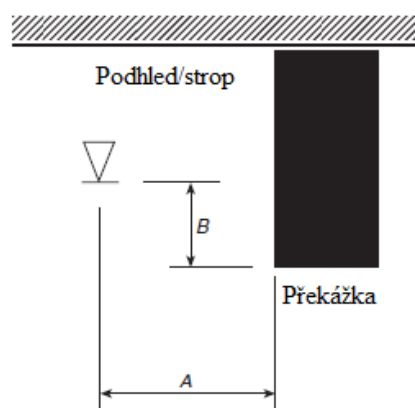
minimální vzdálenost tříštiče od stopu nebo podhledu 25,4 mm (1 in - převod z imperiálních jednotek) a maximální vzdálenosti 305 mm (12in). Toto pravidlo platí pro všechny aplikace v případě, že strop není omezen jinými instalacemi nebo případně stropními trámy a jinými překážkami. V případě, že se pod stropem vyskytují nějaké překážky, je dle kapitoly 8.6.4.1.2 možnost instalace sprinklerových hlavíc za těchto podmínek (32):

- pakliže je tříštič umístěn ve vodorovné rovině konstrukčních prvků od 25,4 do 152 mm (1 – 6 in) maximálně však 559 mm (22 in) pod stropem nebo střechou.
- Pakliže je tříštič instalován na spodní hraně nebo nad hranou konstrukčních prvků v maximální vzdálenosti 559 mm pod stropem nebo střechou.

- Pakliže je tříštič instalován v každé kapse/dutině minimálně 25,4 mm a maximálně 305 mm od stropu.
- Pakliže je tříštič instalován ve vodorovné rovině od 25,4 mm do 152 mm od kompozitních dřevěných trámů v maximální vzdálenosti 559 mm od stropu pakliže jsou trámy požárně ochráněny v plném rozsahu, s maximální plochou takto vzniklé dutiny která nepřesahuje 27,9 m<sup>2</sup>.
- Pakliže je tříštič instalován pod hranou betonových trámů, které jsou od 0,91 -2,3

Obr. 27 – Pozice sprinklerové hlavice od překážky (32)

Vodorovná vzdálenost sprinklerové hlavice k překážce (A) [m]	Maximální dovolená vzdálenost tříštiče od spodní hrany překážky (B) [mm]
0 - 0,3048	0
0,3048 - 0,4572	63,5
0,4572 - 0,6096	88,9
0,6096 - 0,762	139,7
0,762 - 0,9144	190,5
0,9144 - 1,6764	241,3
1,6764 - 1,2192	304,8
1,2192 - 1,3716	355,6
1,3716 - 1,524	419,1
1,524 - 1,6764	457,2
1,6764 - 1,8288	508
1,8288 - 1,9812	609,6
1,9812 - 2,1336	762
2,1336 - 2,286	889



m od sebe, ve vzdálenosti 25,4 mm pod hranou těchto trámů a jsou dodrženy odstupy, které jsou uvedeny na obr. 27.

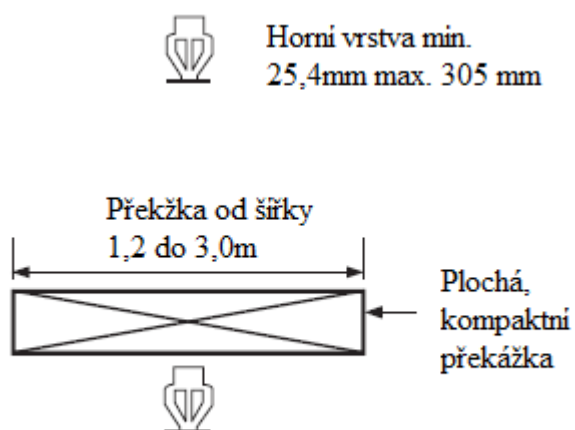
Z výše uvedeného je patrné, že norma NFPA 13 dovoluje maximální vzdálenost tříštiče od spodní hrany stropu nebo podhledu 559 mm což je o 109 mm více než norma ČSN EN 12 845.

Dle Factory Mutual Insurance Company a předpisu FM Global 2-0 Instalation Guidelines for Automatic Sprinklers jsou požadavky na pozice hlavice uvedeny v kapitole

2.1.3.2.4 vertikální vzdálenost od stropu pro sprinklery mimo skladovací prostory. V tomto normativu jsou uvedeny stejné hodnoty pro umístění sprinklerové hlavice pod stropem, který není osazen jinými instalacemi nebo konstrukčními překážkami, a sice minimální vzdálenost 25,4 mm a maximální 305 mm od stropu. Nicméně pro stropy kde se vyskytují překážky je maximální dovolená hodnota snížena na hodnotu 525 mm oproti standardu NFPA 13, která dovoluje hodnotu 559 mm (22 oproti 21 in). Jinak platí stejné podmínky 1-5 jak je zmíněno v NFPA 13 (30).

Předpis FM Global má však více propracovanou metodiku v případě instalací sprinklerových hlavice pokud jsou pod stropem osazeny různé překážky. Touto problematikou se zabývá kapitola 2.1.3.2.5.2. Zabývá se jak plochými tak nerovnými

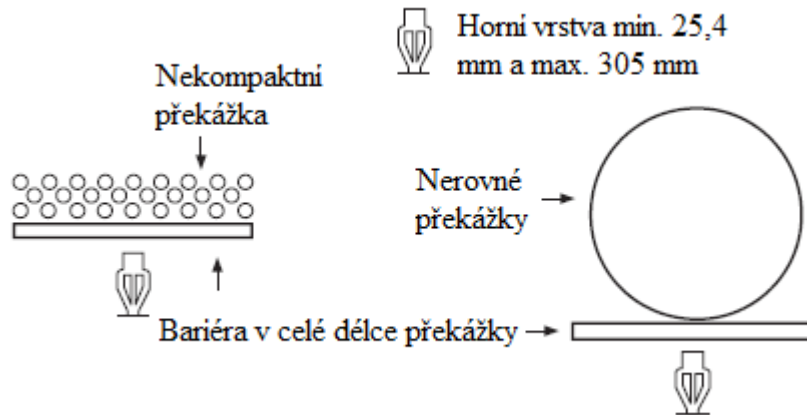
Obr. 28 – Pozice sprinklerové hlavice od překážky 1 (30)



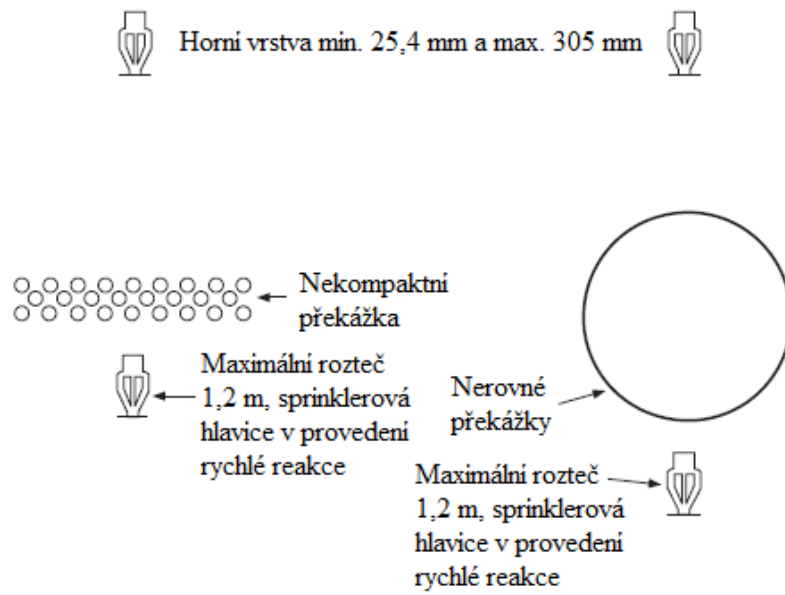
povětšinou v průřezu kruhovými instalacemi. Na obr. 28 je patrná podmínka, kdy je nutné instalovat spodní vrstvu sprinklerových hlavice. Jedná se zejména o překážky od šířky 1,2 m až po 3,0 m včetně. Na Obr. 25 je uvedeno, že v případě instalace dodatečné vrstvy sprinklerů, které pokrývají prostor pod překážkou

nekompaktního charakteru (kabelové trasy) nebo kulatého tvaru (potrubí chlazení, vzduchotechniky apod.), by měl být osazen zádržný plech pod těmi to překážkami, nicméně v celé délce překážky, nikoli pouze v místě osazení sprinkleru. Alternativou toho nařízení je, že spodní vrstva sprinklerových hlavice musí být vždy v provedení rychlé odezvy (quick response) jak je uvedeno na obr. 29 a 30. V případě, že je instalována spodní vrstva sprinklerových hlavice, nemusí být tyto zahrnuty do celkového hydraulického výpočtu (30).

Obr. 29 – Pozice sprinklerové hlavice od překážky 2 (32)



Obr. 30 – Pozice sprinklerové hlavice od překážky 3 (32)



### **3. CÍLE PRÁCE**

Cílem práce je stanovení možných dodatečných opatření k včasné aktivaci sprinklerové hlavice v případě, kdy není možné splnit normativní požadavky na instalaci hlavice, jak je uvedeno v kapitole 2.4.1.4. Jednou z možností je použití zádržného plechu, což je alternativa, která bývá uváděna od projektantů systémů SHZ. Tento plech by měl svojí plochou případně tvarem nebo použitým materiálem napomoci s přenosem tepla k teplocitné pojistce sprinklerové hlavice. Tento požadovaný přenos tepla následně zajistí včasnou aktivaci hlavice v případě požáru.

V současné době byly vybrány 3 možné reálné situace, které jsou stručně popsány v následujících kapitolách. Jedná se o skutečné projekty ve fázi realizace nebo plánování. Ve všech 3 případech se setkáváme se situací kdy tříšticí sprinklerové hlavice je v nižší poloze než povoluje norma ČSN EN 12 845, dle které jsou situace projektovány. První možností je instalace zdvojeného jištění, tzn. instalace sprinklerové hlavice pod stropem a následně i pod technologiemi, tak jak to vyžaduje norma FM Global. V případě prvního modelu by tato varianta byla za určitých podmínek možná. V druhé modelové situaci již nikoliv, protože zdvojené jištění nedovoluje podchozí výška. Ve třetím případě se jedná o horizontální sprinklerové hlavice, které jistí každá svůj daný prostor. Není tedy možné ji instalovat pouze pod stropem.

### **4. MODEL POSUZOVANÉHO PROSTORU**

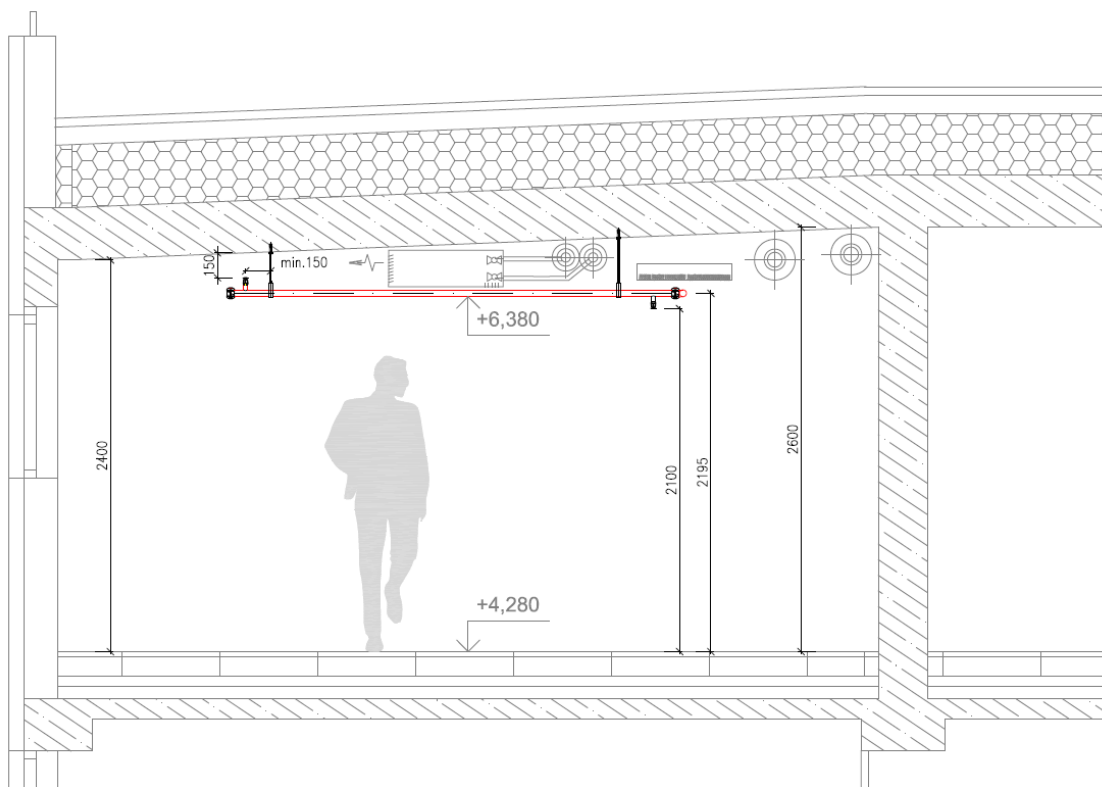
#### **4.1. POPIS PROSTORU A SITUACE 1**

Prvním možným modelem je prostor podstřešní vestavby v dvou patrovém objektu ve Středočeském kraji. Jedná se o prostor o půdorysných rozměrech 5,03 m x 4,0 m. Výška se pohybuje v rozmezí 2,1 – 2,6 m. Prostor je osazen sprinklerovým systémem. Z důvodu vedení různých technologií primárně VZT, chlazení a topení případně kabelových tras prostorem, kde je nevyšší výška prostoru, není možné instalovat sprinklerovou hlavici v maximální možné vzdálenosti od stropní konstrukce. Nicméně technologie nepředstavují zábranu jako v případě zakrytí podhledovou konstrukcí. Další specifikací prostoru je šikmý sklon stropní konstrukce. Tento sklon však nepředstavuje hodnotu, která určuje instalaci sprinklerového systému v podstřešních prostorách, jak je uvedeno například v NFPA 13



odstavec 8.6.4.1.3. ( $> 10^\circ$ ) Tento prostor je pak klasifikován jako prostor kanceláře což je možné zařídění do rizika OH 1 (17). Celý prostor je znázorněn na Obr. 31. Sprinklerové

Obr. 31 – Řez podstřešní vestavbou



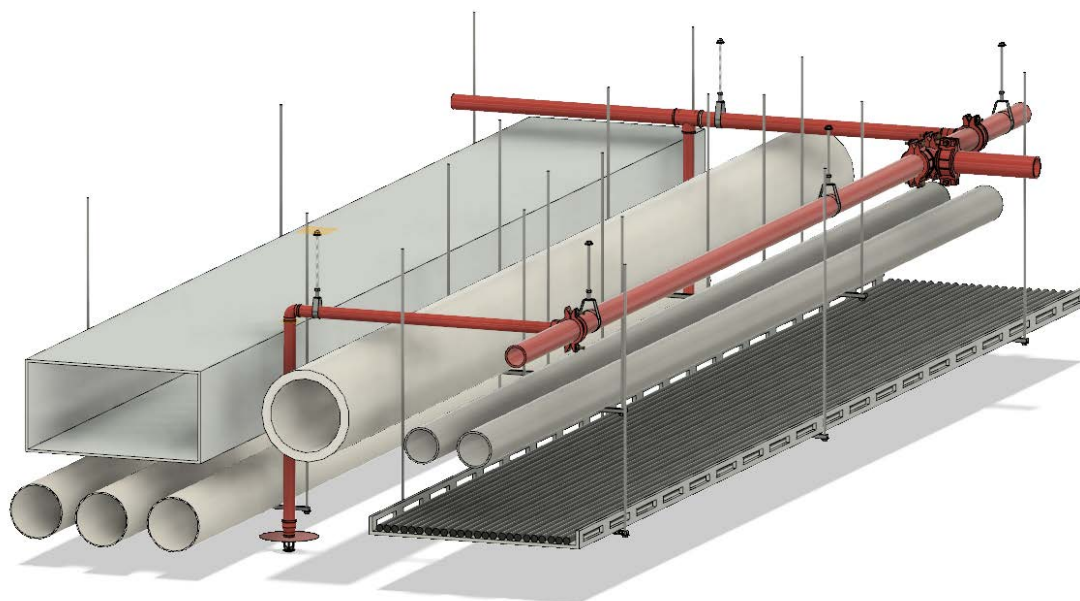
vedení je umístěno pod technologiemi osazenými v daném prostoru. Jednou z možností zmíněných v předchozí kapitole je osazení zdvojeného jištění dle předpisu FM Global, nicméně ČSN EN 12 845, dle které je tento projekt navržen a bude případně procházet kolaudačním řízením v souladu s daným předpisem, tuto variantu nepředepisuje. Osazené technologie, nemají souvislou šířku, která je nutná pro „dodatečný podstřík technologií“. Navržená pozice sprinklerových hlavic pak předpokládá variantu se zádržnými plechy, které by měli zkrátit dobu aktivace.

## 4.2. POPIS PROSTORU A SITUACE 2

Druhým modelem je prostor strojovny VZT v nově vznikajícím administrativním objektu v Praze. Dle projektové dokumentace je zvolena varianta dodatečného opatření sprinklerových hlavic. Nutnost toho kroku naznačuje vytvořený 3D model budoucího prostoru, tak jak je uvažován dle současné projektové dokumentace viz. obr. 32.

Z přiloženého modelu je patrné, že současný stav v dané nepodporuje normativní požadavky dle ČSN 12 845 na nejnižší možnou polohu sprinklerových hlavice. To je způsobeno velkým množstvím ostatních technologií VZT, chlazení a topení či kabelového vedení elektrické

*Obr. 32 – 3D model chodby strojovny VZT*



energie případně MaR a jiných. Tyto technologie jsou vedeny současně s rozvody SHZ v jednom prostoru. Hašení prostoru mezi horní hranou technologií a stropem je neúčelné, protože zde není žádný požárně nebezpečný prostor ani požární zatížení. V případě, že by se sprinklerové hlavice umístili v tomto prostoru, vzniká naopak požadavek na spodní jištění technologií, protože normativní předpis udává nutnost dodatečného podstříku překážek jak je uvedeno v kapitole 2.4.1.4.

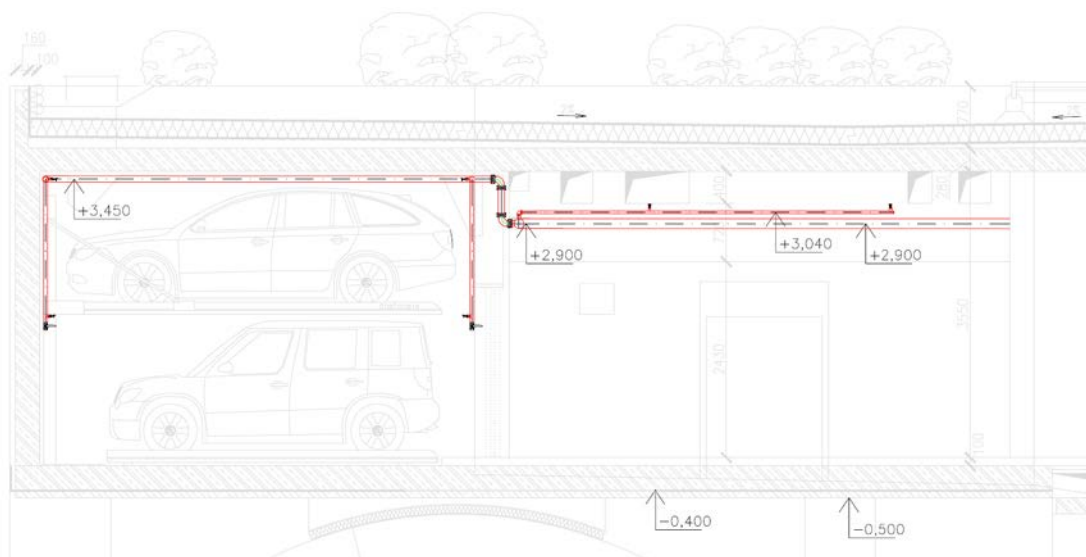
Na přiloženém modelu je patrný budoucí záměr opatření, a sice že systém SHZ bude vytažen pod spodní hranu technologií, kde bude jistit prostor pod nimi. Současně je tedy nutné zajistit včasnou aktivaci sprinklerových hlavice. Toho můžeme docílit právě přidáním zádržných plechů, které by mohli napomoci k včasné aktivaci sprinklerové hlavice zadržením případného tepla v okolí teplocitné pojistky. Zde možnost osazení zdvojeného jištění tedy nejen pod technologiemi, ale mezi horní hranou VZT a stropem, není možná, protože mezi horní hranou VZT a stropem není dostatek prostoru pro osazení další řady sprinklerových hlavice. V případě osazení druhé řady hlavice, by bylo nutné celý soubor

technologíí osadit níže pod stropem, což v tomto případě není dovoleno, z důvodu zachování nutné podchodné výšky v daném prostoru.

### 4.3. POPIS PROSTORU A SITUACE 3

Třetím možným modelem je prostor zakladačového systému podzemních garážových stání v objektu v Praze. Zakladačový systém disponuje velkou kapacitou zaparkovaných vozidel, využitím maximálního prostoru skládáním vozidel nad sebou. Vzhledem k mechanizaci celého systému není možné instalovat pevné potrubí uvnitř systému. Není tedy možné použití závěsných nebo stojatých hlavíc. Pro jištění prostoru tedy byla zvolena varianta horizontálních sprinklerových hlavíc, jak je patrné z obr. 33. Tento druh s rozšířeným výstřikem, pokrývá celou délku parkovacího stání. Z důvodu bezpečnosti,

*Obr. 33 – Parkovací zakladače*



však bylo použito jištění po obou stranách parkovacího stání pro případnou rychlejší reakci na vniklý požár. Jištění spodních vrstev zakladačového systému však opětovně nedodrží požadavky na maximální vzdálenost sprinklerové hlavice od stropní konstrukce, jak je popsáno v kapitole 2.4.1.4. Pro včasnou aktivaci spodních vrstev sprinklerového jištění se jeví vhodná varianta instalace zádržného plechu nad každou jednotlivou sprinklerovou hlavici, tak aby jejich vzdálenost od pevné překážky splňovala podmínky uvedené v ČSN EN 12 845.

#### 4.4. POSTUP ZKOUŠKY

Pro účely diplomové práce byl zvolen model č.1 a sice podstřešní vestavba. Tento model byl vybrán pro svoji jednoduchost a tím pádem možnou reprezentativnost celého problému. Pro účely zkoušky byl vybrán stejný prostor, jak je popsán v kapitole 4.1. Byl však zjednodušen o použité technologie. V prostoru byl tedy instalován pouze systém SHZ. Vypuštění technologií, i když představují možnou překážku a tedy zadržení stoupajícího tepla z potenciálního požáru, bylo použito z důvodu dalších možných modelových variant, které nebyly v této práci zvláště popsány. Jedná se zejména o rekonstrukce historických objektů, které ve svých prostorech disponují různými výklenky, nikami apod. Zde pak žádná potenciální zábrana není využita, proto jí nebylo použito ani při této zkoušce. Tento modelový prostor dále simuluje další složitější podmínky. Celý prostor byl během testu neizolovaný a nevytápěný, což simuluje hlavně podmínky v podzemních garážích, které bývají často vystaveny vlivu okolní teploty i v zimním období. Není tedy zajištěna minimální teplota +5 °C. Osazené potrubí, tedy nebylo zavodněno. Díky možnosti neosazení prostoru dalšími technologiemi byla zvolena varianta osazení sprinklerové hlavice v optimální pozici. Touto pozicí je uvažována vzdálenost tříštiče ve vzdálenosti 0,1m od stropu. Tato vzdálenost byla zvolena na základě doporučení výrobce sprinklerových hlavíc společnosti TYCO (20). Toto doporučení vychází ze zkušeností, že v nejnižší možné poloze tříštiče vzhledem ke stropní konstrukci dochází opětovně ke zpožděné aktivaci, díky podstropnímu proudění a ochlazování vzduchu od stropní konstrukce jak je popsáno v kapitole 2.1.9. Vzdálenost 0,1 m je tedy referenční vzdáleností.

Po aktivaci simulovaného požáru byl měřen čas, za který v daném prostoru došlo k aktivaci sprinklerové hlavice. V prostoru byly postupně simulovány zdroje požárů v různých vzdálenostech od sprinklerové hlavice, jak je uvedeno na obr. 34. Pozice zdrojů požáru byly následně dodrženy i v případě, že sprinklerová hlavice byla ve větší vzdálenosti než je povolená hodnota dle ČSN EN 12 845 a sice 0,45 m od stropní konstrukce. V tomto případě byla zvolena hodnota 0,53 m od stropní konstrukce, protože se jedná o hodnotu, která je definována skutečným projektem. V tomto případě je pak pozice tříštiče ve vzdálenosti 2,1 m od podlahy. Toto je například běžná podjezdová výška v podzemních garážích. Pro možnou eliminaci rozdílů aktivačního času mezi jednotlivými pozicemi sprinklerových hlavíc a zdrojů požáru bylo použito dvou různých druhů zádržných plechů.

První variantou byl originální výrobek společnosti TYCO. Kruhový zádržný plech o průměru 0,16 m, který bývá často uváděn v požadavcích projektové dokumentace systémů SHZ. Tento plech je však dodáván výhradně jako zádržný plech, který slouží k zabránění ochlazování sprinklerové hlavice, jak je popsáno v kapitole 2.4.1.4. Druhou variantou byl použit plech čtvercového tvaru o rozměrech 0,6 m x 0,6 m. Tento rozměr byl zvolen z důvodu, že se jedná o stejnou hodnotu, jako je rozměr standardního kazetového podhledu. Druhým faktorem byl i fakt, že větší rozměry měli za následek vyšší hmotnost a tím pádem vyšší nároky na kotevní systémy, které nejsou na dodatečné zatěžování konstruované. Větší účinná plocha by se pak spíše podobala nutnosti osazení podhledovou konstrukcí nebo simulované souvislé zádržné plochy dle předpisu FM Global.

Simulace požáru proběhla inspirována postupem, který je zavedený při testování hasicí schopností přenosných hasicích přístrojů typu A. Pro každý pokus byla vytvořena hranice z dřevěných hranolů, které jsou vyskládány na kovovém dně s hořlavinou. V tomto případě byl použitý technický benzín. Tato hořlavina usnadňuje počáteční fázi hoření, aby bylo rychleji dosaženo požadované teploty (9). Dle normativu ČSN 73 0802 – Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty a kapitoly 6 stanovíme požární riziko v pozorovaném prostoru a stanovíme výpočtové požární zatížení. Výpočtové požární zatížení  $p_v$  se určuje pro posuzovaný požární úsek dle rovnice (4.1) (33):

$$p_v = p \times a \times b \times c \text{ [kg.m}^{-2}\text{]} \quad (4.1)$$

kde:

- $p$  požární zatížení vyjadřující množství hořlavých látek v posuzovaném požárním úseku [kg.m<sup>-2</sup>]. Toto zatížení se stanoví součtem požárního zatížení stálého  $p_s$  a nahodilého  $p_n$
- $a$  součinitel vyjadřující rychlost odhořívání z hlediska charakteru hořlavých látek, popř. způsobu jejich uložení
- $b$  součinitel vyjadřující rychlost odhořívání z hlediska stavebních podmínek
- $c$  součinitel vyjadřující vliv požárně bezpečnostních zařízení

Hodnota stálého požárního zatížení může být uvažována  $p_s = 10 \text{ kg.m}^{-2}$ . Což je hodnota uvedená v tab. 1 normativu ČSN 73 0802. Stanovení této hodnoty je uvedeno v následujícím vzorci pro maximální možné plochy prostoru do 500 m<sup>2</sup> (33):

$$\sum p_s = p_{s(\text{oken})} + p_{s(\text{dveři})} + p_{s(\text{podlah})} = 3 + 2 + 5 = 10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$$

Hodnotu nahodilého požárního zatížení vezmeme pro jednoduchost jako již spočítanou hodnotu uvedenou v příloze B ČSN 73 0802 pro kancelářské prostory. Pro tyto prostory se uvádí hodnota nahodilého požárního zatížení jako  $p_n = 42 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$

Součinitel  $a$  – rychlost odhořívání z hlediska charakteru hořlavých látek lze stanovit dle následujícího vzorce (4.2):

$$a = \frac{p_n \times a_n + p_s \times a_s}{p_n + p_s} \quad (4.2)$$

kde:

- $p_n$  požární zatížení vyjadřující množství hořlavých látek v posuzovaném požárním úseku [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ]. Toto zatížení se stanoví součtem požárního zatížení stálého  $p_s$  a nahodilého  $p_n$
- $a_n$  součinitel pro nahodilé požární zatížení, které lze stanovit výpočtem případně dle předem vypočtené hodnoty obsažené v příloze A ČSN 73 0802.  $a_n = 1$
- $p_s$  součinitel vyjadřující rychlost odhořívání z hlediska stavebních podmínek
- $a_s$  součinitel pro stálé požární zatížení – dle ČSN 73 0802  $a_s = 0,9$

Po dosazení všech potřebných údajů získáváme hodnotu  $a = 0,98$ .

Součinitel  $b$  - rychlost odhořívání z hlediska stavebních podmínek lze stanovit dle následujícího vzorce (4.3) (33):

$$b = \frac{S \times k}{S_0 \times \sqrt{h_0}} \quad (4.3)$$

Kde:

- $S$  je celková půdorysná plocha požárního úseku v  $\text{m}^2$  ( $S = 4 \times 5,03 = 20,12 \text{ m}^2$ )
- $S_0$  celková plocha otvorů v obvodových a střešních konstrukcích požárního úseku v  $\text{m}^2$  ( $S_0 = 0,27 + 0,24 + 2,2 = 2,71 \text{ m}^2$ )
- $h_0$  výška otvorů v obvodových a střešních konstrukcích požárního úseku v metrech (2,06 m)
- $k$  součinitel požárních úseků dle přílohy E ČSN 73 0802 – 0,247

Po dosazení všech potřebných údajů získáváme hodnotu  $b = 1,278$ . (Nejvyšší přípustná hodnota  $b = 1,7$ , nejnižší pak  $0,5$ .)

Součinitel  $c$  - vliv požárně bezpečnostních zařízení (PBZ) zohledňuje použitá zařízení v objektu. Vždy se vybírá pouze jedna z následujících možností. (33)

- elektrická požární signalizace EPS (součinitel  $c_1$ )
- možnost zásahu jednotek požární ochrany HZS (součinitel  $c_2$ )
- samočinné stabilní hasicí zařízení SHZ (součinitel  $c_3$ )
- samočinné odvětrací zařízení ZOTK (součinitel  $c_4$ )

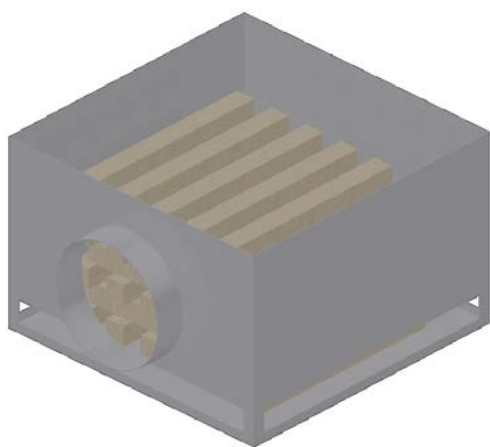
Pro tento objekt byl vybrán součinitel  $c = 0,50$  jako součinitel  $c_3$  pro objekty maximální požární výškou do  $22,5$  m s posuzovaným požárním úsekem do  $250$  m<sup>2</sup> počtem podlaží v požárním úseku rovným 1.

Celkové požární zatížení v posuzovaném prostoru je dle následující rovnice (4.4):

$$p_v = p \times a \times b \times c = (42 + 10) \times 0,98 \times 1,278 \times 0,5 = 32,56 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \quad (4.4)$$

Výše uvedená hodnota odpovídá součtu všech hořlavých látek v posuzovaném prostoru v převedení na pomyslné množství dřeva na  $1$  m<sup>2</sup> podlahové plochy prostoru. Tato hodnota byla pro zkoušku limitní a nebyla překročena. Požární zatížení při zkoušce bylo simulováno hranicí dřeva za použití podpurného hořlavého materiálu. Hranice dřeva byla vytvořena z borovicových hranolků o přibližných rozměrech  $0,04 \times 0,04$  m vyskládaných do hranice o rozměrech  $0,4 \times 0,4 \times 0,28$  m. Celkově bylo použito 33ks těchto hranolků. 1 ks hranolku má celkový objem  $0,00064$  m<sup>3</sup>. Borovicové dřevo má objemovou hmotnost  $670$  kg·m<sup>-3</sup>. (34) Celkový počet pak odpovídá množství  $14,124$ kg. Z bezpečnostních důvodů byla hranice uložena do plechové skříně s větracími otvory pro zabezpečení přísunu vzduchu pro proces hoření viz. obr. 34. Dno skříně pak bylo vyplněné technickým benzínem. V počáteční fázi bylo použito  $0,1$  l technického benzínu. Při objemové hmotnosti  $700 - 750$  kg·m<sup>-3</sup> se jedná o  $0,073$  kg technického benzínu. Toto množství pak odpovídá na základě výhřevnosti  $0,22$  kg dřeva (35).

Obr. 34 – Hranice dřevěných hranolků



Pro účely zkoušky byly použity sprinklerové hlavice společnosti TYCO se standardní odezvou A (standard response A) – RTI 80 – 200 (skleněná pojistka 5mm) a rychlou odezvou (quick response) – RTI < 50 (skleněná pojistka 3mm).

Pro simulaci odvětrávání v daném prostoru bylo vytvořeno několik otvorů v obvodové konstrukci. První otvor byl osazen do nejnižšího bodu stropní konstrukce o rozměrech 0,6 x 0,45 m

s celkovou plochou 0,27 m<sup>2</sup>. Druhý otvor byl osazen v horizontální obvodové konstrukci uprostřed pozorovaného prostoru těsně pod stropní konstrukcí o rozměrech 0,5 x 0,4 m s celkovou plochou 0,24 m<sup>2</sup>. Posledním otvorem byl vstup do posuzovaného prostoru na nejvyšší horizontální obvodové konstrukci o rozměrech 1,1 x 2,0 m s celkovou plochou 2,2 m<sup>2</sup>. Tyto otvory nebyli po dobu zkoušek zakryty.

Při zkouškách byla monitorována počáteční teplota v posuzovaném prostoru, celkový čas zkoušky a teplota aktivace sprinklerové hlavice. Teplota byla monitorována pomocí termokamery Testo 881.



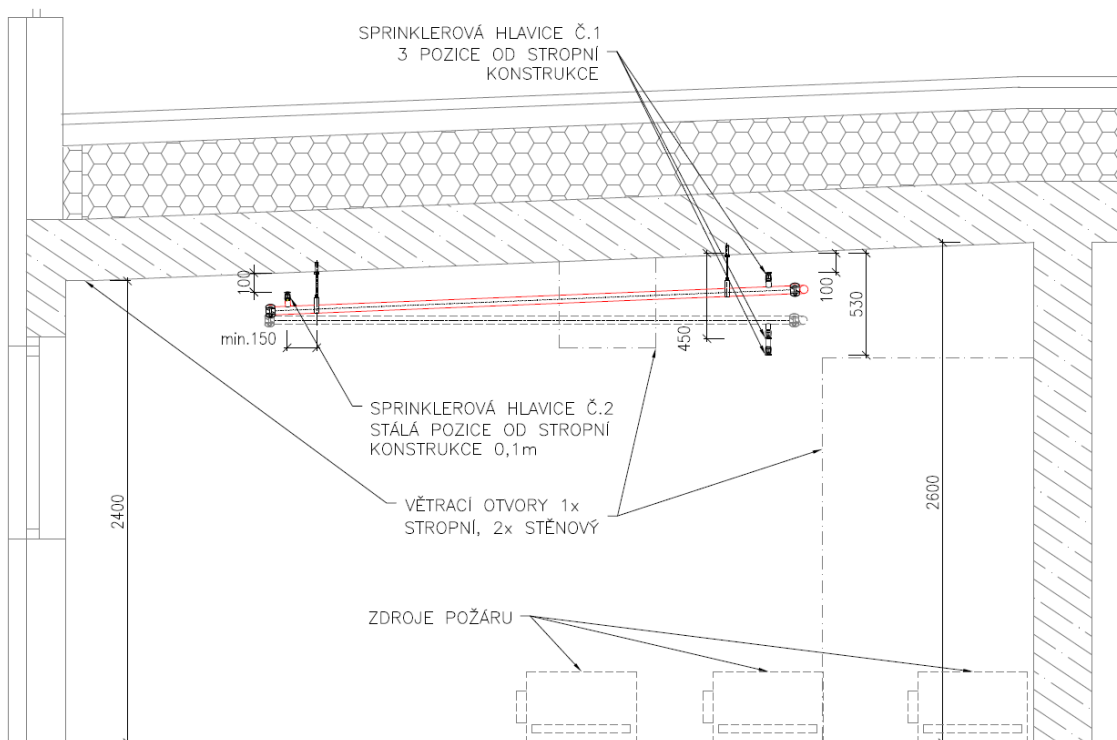
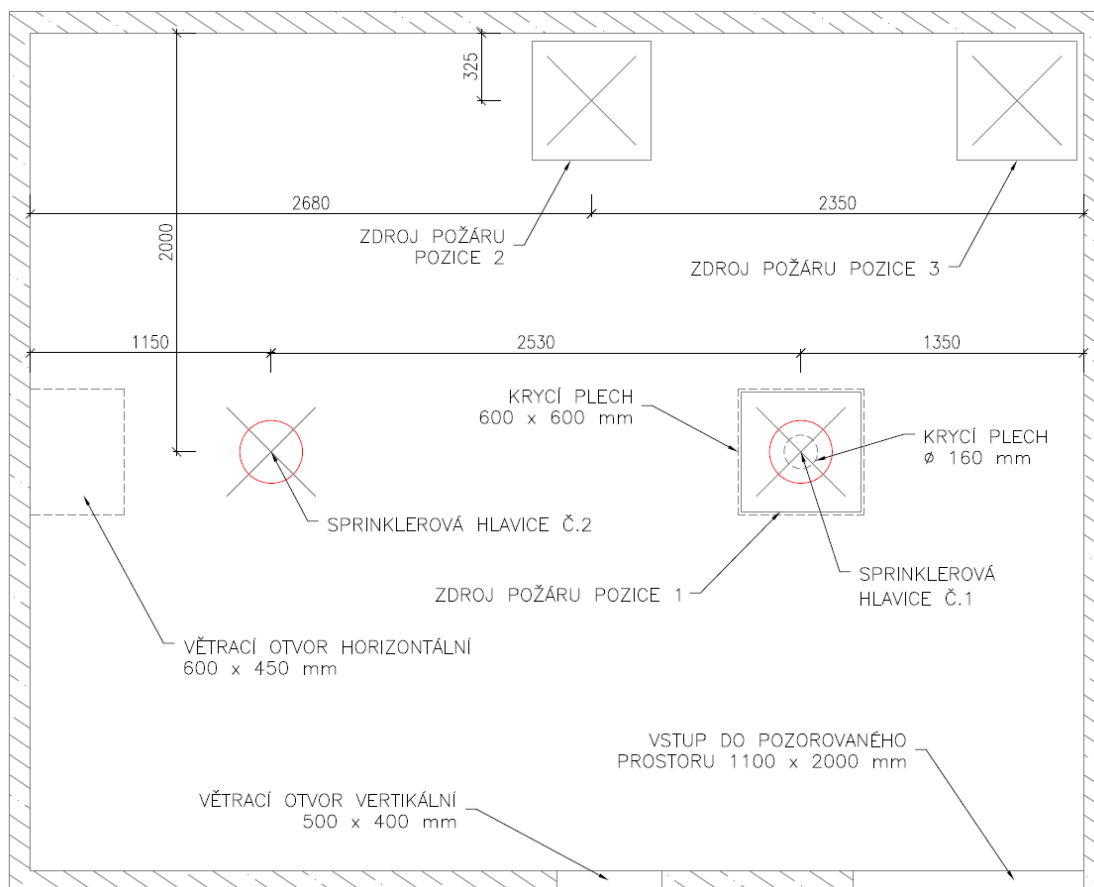
## 4.5. VÝSLEDKY ZKOUŠKY

Prvním sledovaným údajem byla reakce sprinklerové hlavice osazené v referenční vzdálenosti 0,1 m pod stropní konstrukcí bez jakéhokoli zádržného plechu. Zdroj požáru byl umístěn přímo pod sprinklerovou hlavici. Pozice sprinklerových hlavice a zdrojů požáru v prostoru jsou znázorněny na obr. 35. Referenční vzdálenost od stropu 0,1 m byla použita pro hlavice se standardní citlivostí (5 mm), ale také pro citlivost vysokou (3 mm). V ostatních případech bylo použito pouze vysoké citlivosti. Pro referenční vzdálenost hlavice bylo použito i optimální vedení potrubí se stejným sklonem se stropní konstrukcí, aby potrubí systému SHZ bylo také v neoptimálnější pozici pro vedení tepla potrubím do hlavice.

Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 6 – 8. Zvýrazněné zkoušky jsou zobrazeny i na snímcích z termokamery uvedených jako obr. 36 – 39. Veškeré tyto snímky jsou pořízeny v době aktivace sprinklerové hlavice č. 1 nebo č. 2. Výjimkou jsou první snímky, které zobrazují počáteční stavy v daných zkouškách.

V případech použití zádržných plechů ať již se zdrojem požáru v pozici 2 nebo 3, bylo zajímavostí, že v případě osazení sprinklerové hlavice v pozici 3 tzn. 0,53 m pod stropem, došlo vždy k rychlejší aktivaci druhého sprinkleru, který zůstal na pozici 0,1 m pod stropem v nižší části sledovaného prostoru. Tento jev se projevoval, i když záběry z termokamery dokazují, že v době aktivace hlavice byla teplota nižší než u primárně sledované sprinklerové hlavice. Na obr. 40 je to snímek č.5. Toto bylo jistě způsobeno menší vzdáleností hlavice pod stropní konstrukcí, ale také i vedením tepla samotným potrubím systému SHZ. Na tomto snímku je patrné, že v okolí sprinklerové hlavice č.2 byla teplota okolo 55 °C což je o více než 15 °C méně než u sprinklerové hlavice č.1. Přesto došlo k její aktivaci. Vzhledem k delšímu času požáru je patrné, že dochází ke značnému vedení tepla potrubím systému SHZ což má za následek aktivace hlavice i mimo zdroje tepla. Tento jev bude méně patrný při zavodněném potrubí, protože vedení tepla bude přecházet i do kapaliny uvnitř potrubí. Nicméně nezavodněná potrubí se v praxi běžně vyskytují. I tento fakt, je nutné vzít v úvahu při řešení následných projektů.

Obr. 35 – Půdorys, řez posuzovaného prostoru



Tab. 6 – Reakční časy sprinklerových hlavice pozice 1 (0,1 m pod stropem)

Vzdálenost tříštic od stropní konstrukce 0,1 m	Typ hlavice (rychlost odezvy)	Zk 1		Zk 2		Zk 3	
		Čas	Teplota	Čas	Teplota	Čas	Teplota
		t	T1 / T2	t	T1 / T2	t	T1 / T2
		[min]	[°C]	[min]	[°C]	[min]	[°C]
Zdroj požáru ①	Standard (5 mm)	9:13	15,8 / 70	7:10	29,9 / 68	7:59	17,2 / 69
	Vysoká (3 mm)	5:45	15,2 / 71	5:59	18,3 / 70	5:41	16,7 / 70
Zdroj požáru ②	Standard (5 mm)	7:05	18,1 / 69	9:09	16,5 / 71	8:49	14,9 / 66
	Vysoká (3 mm)	6:35	18,3 / 70	6:39	17,0 / 69	7:01	18,5 / 58
Zdroj požáru ③	Standard (5 mm)	8:45	19,2 / 67	8:55	22,2 / 70	9:01	15,8 / 70
	Vysoká (3 mm)	6:32	18,9 / 70	6:27	17,6 / 66	6:21	16,3 / 70

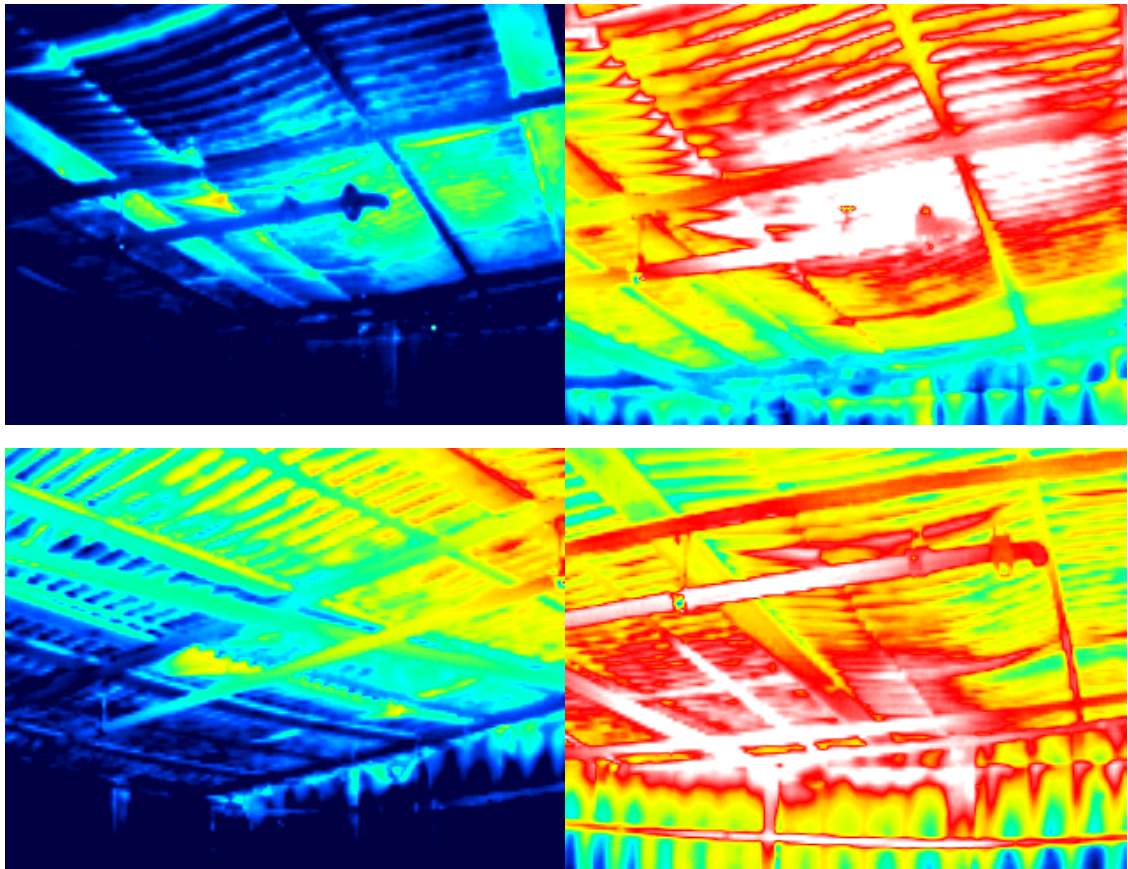
Tab. 7 – Reakční časy sprinklerových hlavice pozice 2 (0,45 m pod stropem)

Vzdálenost tříštic od stropní konstrukce 0,45 m	Zádržný plech	Zk 1		Zk 2		Zk 3	
		Čas	Teplota	Čas	Teplota	Čas	Teplota
		t	T1 / T2	t	T1 / T2	t	T1 / T2
		[min]	[°C]	[min]	[°C]	[min]	[°C]
Zdroj požáru ①	-	4:52	24,1 / 70	5:15	19,2 / 71	4:31	20,1 / 70
	Ø 160mm	4:10	17,4 / 71	3:58	15,7 / 69	4:03	20,1 / 69
	600x600mm	3:02	15,8 / 70	3:10	18,3 / 71	3:15	21,6 / 70
Zdroj požáru ②	-	6:30	25,3 / 67	6:27	15,3 / 69	6:12	30,0 / 67
	Ø 160mm	7:07	26,8 / 68	7:21	21,0 / 69	7:38	18,2 / 70
	600x600mm	7:29	15,9 / 68	7:39	19,1 / 71	7:15	24,7 / 67
Zdroj požáru ③	-	6:40	20,6 / 71	6:24	18,5 / 72	6:27	29,7 / 68
	Ø 160mm	7:31	30,1 / 69	7:48	16,4 / 68	7:45	17,8 / 70
	600x600mm	7:40	15,9 / 68	8:14	18,7 / 68	8:27	19,9 / 67

Tab. 8 – Reakční časy sprinklerových hlavice pozice 3 (0,53 m pod stropem)

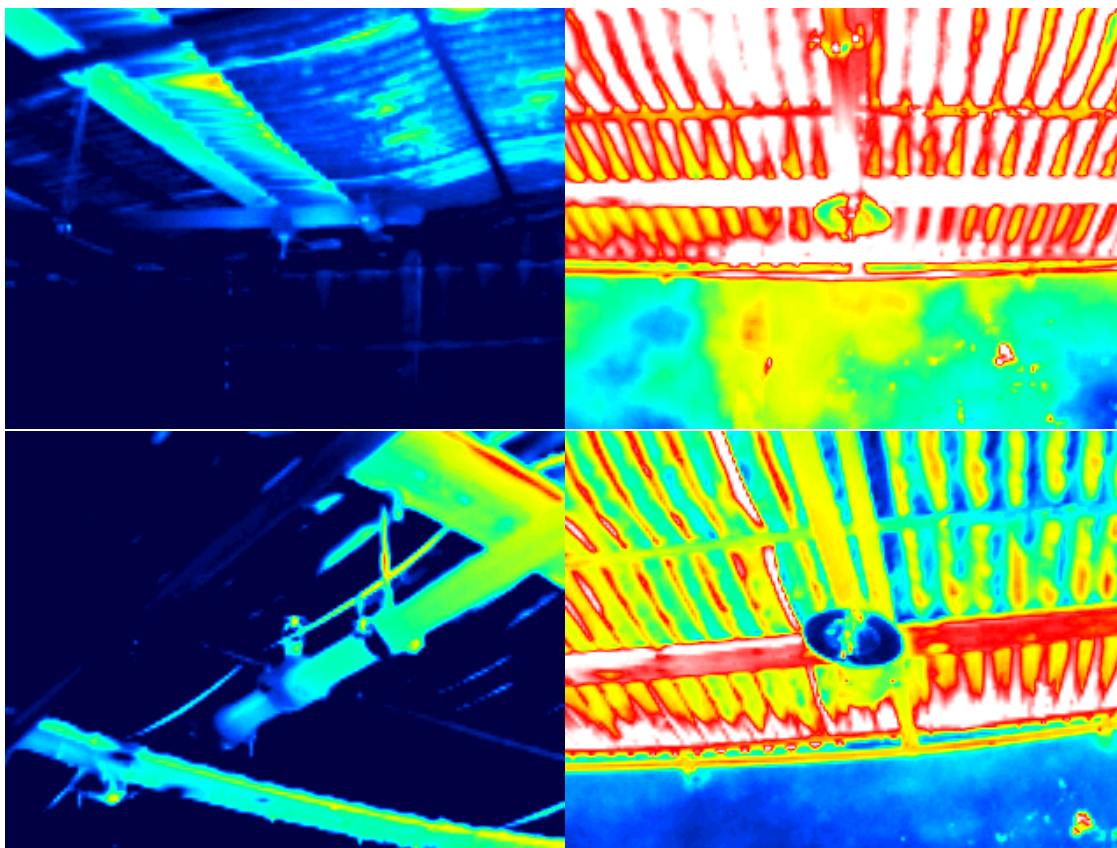
Vzdálenost tříštic od stropní konstrukce 0,53 m	Zádržný plech	Zk 1		Zk 2		Zk 3	
		Čas	Teplota	Čas	Teplota	Čas	Teplota
		t	T1 / T2	t	T1 / T2	t	T1 / T2
		[min]	[°C]	[min]	[°C]	[min]	[°C]
Zdroj požáru ①	-	4:32	16,2 / 70	4:59	15,1 / 65	4:58	18,7 / 69
	Ø 160mm	3:45	18,3 / 69	3:47	18,2 / 70	4:00	20,1 / 70
	600x600mm	2:31	15,8 / 70	2:23	17,9 / 68	2:58	15,6 / 71
Zdroj požáru ②	-	6:40	19,2 / 69	7:19	14,8 / 69	6:51	22,5 / 70
	Ø 160mm	7:39	20,0 / 70	7:34	22,4 / 67	7:13	20,1 / 66
	600x600mm	7:20	15,9 / 68	6:24	15,9 / 68	7:41	28,4 / 70
Zdroj požáru ③	-	6:30	14,4 / 70	6:44	15,6 / 70	6:20	23,2 / 70
	Ø 160mm	7:29	16,8 / 68	7:50	18,1 / 67	7:40	19,4 / 69
	600x600mm	7:34	15,9 / 68	6:38	15,9 / 68	10:11	15,1 / 72

*Obr. 36 – Snímky z termokamery pozice 1*



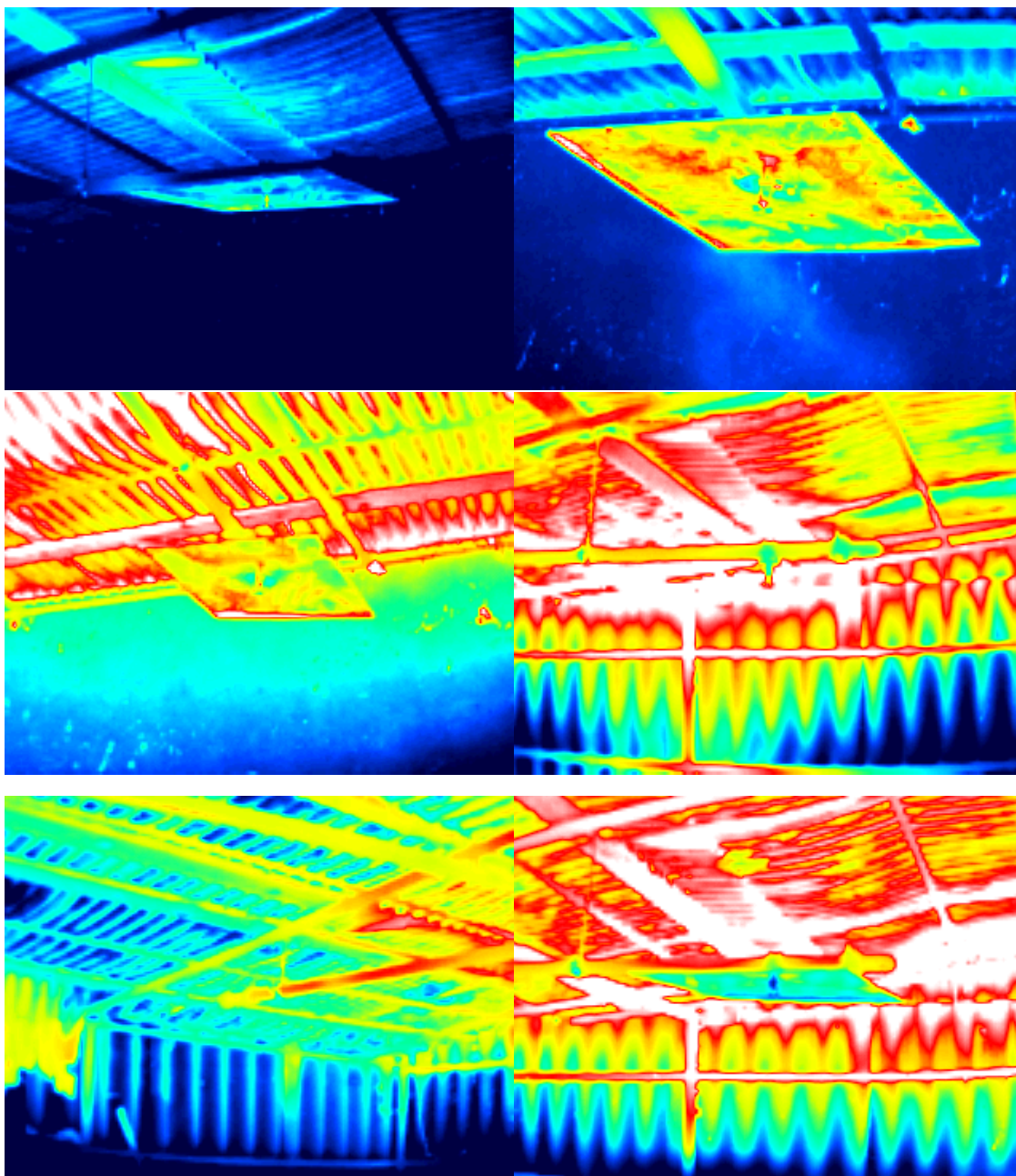
1 - Výchozí teplota 15,9 °C ; 2 - Teplota aktivace 71 °C zdroj požáru přímo pod hlavicí;  
3 - Teplota v místě sprinkleru č. 2 48,9 °C ; 4 - Teplota aktivace 72 °C zdroj požáru v pozici 2

Obr. 37 – Snímky z termokamery pozice 2 (0,45 m od stropní konstrukce)



1 - Výchozí teplota 14,9 °C ; 2 - Teplota aktivace 72 °C zdroj požáru přímo pod hlavicí;  
3 - Teplota v místě sprinkleru č. 2 45,6 °C zdroj požáru v pozici 2 ; 4 - Teplota aktivace 72 °C  
zdroj požáru v pozici 3

Obr. 38 – Snímky z termokamery pozice 3 (0,53 m pod stropní konstrukcí)



1 - Výchozí teplota 16,5 °C (se zádržným plechem) ; 2 - Teplota aktivace 65 °C zdroj požáru přímo pod hlavicí (se zádržným plechem) ; 3 - Teplota aktivace 69 °C zdroj požáru v pozici 2 (se zádržným plechem) ; 4 - Teplota aktivace 69 °C zdroj požáru v pozici 2 (bez zádržného plechu) ; 5 - Teplota aktivace sprinkleru č. 2 66 °C, zdroj požáru v pozici 2 ; 6 – Teplota pod zádržným plechem při zdroji požáru v pozici 3, teplota pod stropní konstrukcí 89 °C, pod zádržným plechem 52 °C

#### 4.6. ŘEŠENÍ SITUACÍ 1 - 3

S ohledem na výsledky zkoušky, která prokazuje, že zádržný plech má účinek pouze v případě lokalizace požáru přímo pod hlavicí, musí se uvažovat s celistvou plochou mezi sprinklerovými hlavicemi, případně druhou vrstvou jištění, jak to požaduje norma FM Global. V případě popisované situace č.1 je tedy nutné při realizaci instalovat sprinklerové jištění pod stropní konstrukcí, která bude jistit prostor nad technologiemi, a druhou vrstvu jištění, která bude umístěna pod instalovanými technologiemi. V obou případech je nutné použití sprinklerových hlavice s vysokou citlivostí. Druhá vrstva jištění musí být opatřena zádržným plechem. Tento plech ale musí být o co nejmenší velikosti. Společnost TYCO vyrábí zádržné plechy o různých rozměrech. Ø 160 mm je největší rozměr. Nejmenším vyráběným rozměrem je pak Ø 76,2 mm. Tento zádržný plech má pak pouze funkci jak je popisována v ČSN EN 12 845, a sice k zabránění případného zkrápění a tím pádem ochlazování sprinklerové hlavice od horní vrstvy jištění.

V případě situace č.2 není možné nainstalovat druhou vrstvu jištění z prostorových důvodů. V tomto případě je možné instalovat vrstvu jištění, jak je znázorněno na 3D modelu obr. 32. Nicméně je nutné, osadit souvislý zádržný plech po celé délce rozteče mezi sprinklerovými hlavicemi, jak požaduje norma FM Global viz. obr. 29. Vzhledem k velké hustotě instalovaných technologií vzniká téměř souvislá vrstva, která bude zadržovat požadované teplo od případného požáru. Vzniklá mezera, kde prochází potrubí a následně sprinklerové hlavice bude osazena souvislým zádržným plechem simulující částečný podhled.

V případě situace č.3 je nutné pak instalovat souvislou zádržnou plochu u každého parkovacího stání. Tato souvislá zádržná plocha by v ideálním případě měla být nejen jako horizontální zábrana mezi jednotlivými výškovými úrovněmi parkovacích stání, ale měla by mít i plochu vertikální, čímž dojde k rychlejší kumulaci tepla u sprinklerové hlavice díky podstropnímu proudění. Zádržná plocha bude mít tedy tvar písmene „L“. Je tedy nutné ji vyrobit přímo na požadavky této instalace.

## 5. DISKUZE A ZÁVĚR

Z výsledků průběhu zkoušky je patrné, že vliv zádržného plechu nedokazuje kladný účinek na aktivační čas sprinklerové hlavice. V případě, že byl zdroj požáru přímo pod sprinklerovou hlavici, byly reakční časy výrazně příznivější, díky kratší vzdálenosti zdroje tepla od hlavice a kumulaci teploty pod tímto zádržným plechem. Nicméně v pozicích, kdy zdroj požáru byl umístěn mimo pozici sprinklerové hlavice, zádržný plech tento reakční čas prodlužoval. Naopak docházelo ke včasnější reakci sprinklerové hlavice č. 2 v pozorovaném prostoru, který zůstával na optimální pozici 0,1 m pod stropní konstrukcí. Tento jev nastal ve všech případech při použití zádržného plechu o rozměrech 600 x 600 mm a ve většině případů i při použití zádržného plechu Ø 160 mm. Při použití kruhového plechu docházelo k aktivaci sprinklerové hlavice č. 2 v prakticky stejném, případně nižším čase, než došlo k aktivaci sprinklerové hlavice č. 1. V jednom z případů pozice 3 došlo k aktivaci sprinklerové hlavice č. 1 při prakticky dvojnásobném čase, než byla výchozí hodnota referenční pozice 1 a také dvojnásobnému času než sprinkleru č. 2, který zůstával ve své optimální pozici i když zcela mimo zdroj tepla.

Vzhledem ke skutečnosti, že ve zvoleném modelu bylo použito spíše menší hodnoty roztečí sprinklerových hlavice, připomeňme si, že minimální hodnota dle ČSN EN 12 845 je 2,0 m a maximální hodnota je 4,0 m, je pravděpodobnější, že zdroj požáru nebude lokalizován pouze pod sprinklerovou hlavici. Každá hlavice má obvyklou plochu jištění mezi 8 – 12 m<sup>2</sup>. Je tedy patrné, že krycí plech o ploše 0,36 m<sup>2</sup> zabírá pouze 4,5 % z nejmenší běžné krycí plochy. Zdroj požáru tedy v dalších více než 80 % může vzniknout mimo plochu zádržného plechu. Z tohoto poznatku a z naměřených reakčních časů jasně vyplývá, že použití zádržného plechu není správným řešením pro snižování reakčního času hlavice v jejich neoptimální poloze.

Výsledkem je fakt, že pro optimální ochranu systémem SHZ je nutné dodržet pozice předepsané normativy VdS, FM Global, NFPA či jiných celosvětově uznávaných předpisů. Nejdetailnější předpis v tomto ohledu je předpis FM Global, který nařizuje sice větší maximální vzdálenost od stropní konstrukce, nicméně striktně předepisuje použití druhé vrstvy jištění a v případě použití této vrstvy i použití pouze hlavice s hodnotou RTI pro vysokou citlivost.



## 6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KVARČÁK, Miloš. Základy požární ochrany. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. ISBN 80-86634-76-0.
2. BALOG Karol, KVARČÁK Miloš. Dynamika požáru. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. ISBN 80-86634-50-7.
3. VOLF Oldřich. Proces hoření. HZSCR. [Online] 2018. [Citace: 27. 11 2019.] <http://www.hzscr.cz/clanek/konspekty-odborne-pripravy-i.aspx?q=Y2hudW09NQ%3D%3D>.
4. COUP OSTRAVA s.r.o. [Online] 2020. [Citace: 01. 03 2020.] <https://www.coup-ostrava.cz/sluzby/stanoveni-ptch-kapalin/>.
5. FIREFIGHTER TOOLBOX. Modern fire behavior; stages of fire development. FirefighterToolbox.com. [Online] 2017. [Citace: 1. 3 2020.] <https://firefightertoolbox.com/wp-content/uploads/2015/02/MFB-3.pdf>.
6. KUČERA Petr, POKORNÝ Jiří, PAVLÍK Tomáš. Požární inženýrství - aktivní prvky požární ochrany. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2013. ISBN 978-80-7385-136-1.
7. LENNON, Tom. Structural Fire Engineering. místo neznámé : ICE Publishing, 2011. ISBN 978-07-2774-141-7.
8. SFPE, Society of Fire Protection Engineers. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. místo neznámé : National Fire Protection Association, 2008. ISBN 9780877658214.
9. HÜTTER, Marek pplk. a kol. Učební texty pro přípravu ke zkoušce podle 11 zákona o požární ochraně. místo neznámé : MV-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2014. ISBN 978-80-86466-61-3.
10. KUČERA Petr, KAISER Rudolf. Úvod do požárního inženýrství. Frýdek-Místek : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007. ISBN 978-80-7385-024-1.
11. MICHEJEV M.A. Základy sdílení tepla. Praha : Průmyslové vydavatelství, 1952.
12. BWALYA A. & SULTAN M. & BENICHO. Design fires for fire safety engineering: a state-of-the-art review. ResearchGate GmbH. [Online] 2004. [Citace: 02. 03 2020.] [https://www.researchgate.net/publication/44055698\\_Design\\_fires\\_for\\_fire\\_safety\\_engineering\\_a\\_state-of-the-art\\_review](https://www.researchgate.net/publication/44055698_Design_fires_for_fire_safety_engineering_a_state-of-the-art_review).
13. KARLSSON Björn, QUINTIERE James. Enclosure fire dynamics. CRC Press, 1999. ISBN 978-0849313004.
14. STAFFANSSON, Leif. Selecting design fires. Research Portal Lund University. [Online] 2010. [Citace: 06. 03 2020.] [https://portal.research.lu.se/portal/en/publications/selecting-design-fires\(93bc80b0-691c-4196-8785-0fbd0082e436\).html](https://portal.research.lu.se/portal/en/publications/selecting-design-fires(93bc80b0-691c-4196-8785-0fbd0082e436).html).
15. BECK Kevin. Sciencing. [Online] 24. 02 2020. [Citace: 05. 03 2020.] <https://sciencing.com/colors-fire-hot-8631323.html>.
16. EGAN M. David. Concepts in building firesafety. R. Krieger Pub. Co., 1978. ISBN 9780898749564.
17. ČSN EN 12 845. ČSN EN 12 845 - Stabilní hasicí zařízení - Sprinklerová zařízení - Navrhování, instalace a údržba. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. Třídící znak 389211.

18. KRATOCHVÍL Václav, NAVRÁTILOVÁ Šárka, KRATOCHVÍL Michal. Stavby a požárně bezpečnostní zařízení. Praha : MV - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2010. ISBN 978-80-866640-53-2.
19. AHRENS Marty. U.S. Experience with Sprinklers. NFPA Research. [Online] 07 2017. [Citace: 05. 03 2020.] <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Suppression/ossprinklers.pdf>. MA 02169.
20. TYCO - Johnson Controls. Tyco - Standard Spray Sprinklers. [Online] 07 2004. [Citace: 03. 05 2020.] [https://www.tyco-fire.com/TFP\\_translate/TFP151\\_CS.pdf](https://www.tyco-fire.com/TFP_translate/TFP151_CS.pdf). TFP151\_CS.
21. CANUTE LLP. K-Factor formula for fire sprinklers. [Online] 2019. [Citace: 06. 03 2020.] <https://www.canutesoft.com/Hydraulic-calculation-for-fire-protection-engineers/k-factor-formula.html>.
22. RYBÁŘ, Pavel. Sprinklerová zařízení. Ostrava : Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství), 2011. ISBN 978-80-7385-106-4.
23. NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. NFPA. Fire research division. [Online] [Citace: 20. 01 2020.] <https://www.nist.gov/el/fire-research-division-73300>.
24. QRFS Team. Fire Sprinkler Head Types. [Online] Quick Response Fire Supply LLC, 2019. [Citace: 06. 03 2020.] <https://www.qrfs.com/blog/61-fire-sprinkler-head-types-pendants-uprights-sidewalls-and-concealed/>.
25. ORWIN Automation. Sprinkler Assembly. [Online] Orwin Automation, 2015. [Citace: 15. 11 2019.] <https://www.youtube.com/watch?v=l0UHKE8d9J4>.
26. JOB Group. JOB Thermo Bulbs. [Online] JOB Group, 2020. [Citace: 08. 03 2020.] <https://www.job-group.com/en/products/job-thermo-bulbs>.
27. MOHLER Johann G., BOHAC Petr. Trigger element for a sprinkler. Pratteln : United States Patent, 1990. Patent Number: 4,938,294.
28. YATES D.A., CAMPBELL C.K., STOLIAROV S.I., SUNDERLAND P.B. Liquid Expansion in Glass Sprinkler Bulbs. Research gate. [Online] 2011. [Citace: 06. 03 2020.] [https://www.researchgate.net/publication/269538203\\_Liquid\\_Expansion\\_in\\_Glass\\_Sprinkler\\_Bulbs](https://www.researchgate.net/publication/269538203_Liquid_Expansion_in_Glass_Sprinkler_Bulbs).
29. SPEARPOINT, Michael. Variability of sprinkler response time index and conduction factor using the plunge test. [Online] 04 2010. [Citace: 08. 03 2020.] [https://www.researchgate.net/publication/245383005\\_Variability\\_of\\_sprinkler\\_response\\_time\\_index\\_and\\_conduction\\_factor\\_using\\_the\\_plunge\\_test](https://www.researchgate.net/publication/245383005_Variability_of_sprinkler_response_time_index_and_conduction_factor_using_the_plunge_test).
30. FM Global. Instalation guidelines for automatic sprinklers. Factory Mutual Insurance Company, 2018. 2-0.
31. VdS SCHADENVERHÜTUNG GmbH. VdS CEA Guidelines for Sprinkler Systems. Köln : VdS Schadenverhütung GmbH, 2011.
32. NFPA. NFPA 13 - Standard for the instalation of Sprinkler Systems. Quincy : National Fire Protection Association, 2010. ISBN 978-0064641791.
33. ČSN 73 0802. ČSN 73 0802 - Požární bezpečnost staveb - nevýrobních objekty. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Třídící znak 83429.

34. DŘEVORUBEC. *Objemová hmotnost dřeva*. Drevorubec.cz. [Online] 2020. [Citace: 21. 03 2020.] <http://drevorubec.cz/prodej-dreva/objemova-hmotnost-dreva>.
35. TZB INFO. *Výhřevnost paliv*. TZB Info. [Online] 2020. [Citace: 21. 03 2020.] <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv?r=25&p=0%2C073>.
36. SUNDÉN, Bengt a Mohammad FAGHRI. *Transport phenomena in fires*. Southampton : International series on developments in heat transfer, 2008. ISBN 978-1-84564-160-3.
37. KUČERA, Petr. *Požární inženýrství: dynamika požáru*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. ISBN 978-80-7385-074-6.
38. ŠENOVSÝ, Michail a kol. *Základy požární ochrany*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2004. ISBN 80-86634-50-7.
39. EVANS, David D. *Ceiling jet flows*. [Online] [Citace: 12. 12 2019.] [https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=916864](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=916864).
40. BAYSIDE Fire Protection. *How Fire Sprinklers Work*. Bayside Fire Protection. [Online] 2019. [Citace: 06. 03 2020.] <http://www.baysidefire.com/helpful-info/>.
41. Oldřich, VOLF. *Konspky odborné přípravy I*. HZSCR. [Online] 2018. [Citace: 1. 3 2020.] <http://www.hzscr.cz/clanek/konspky-odborne-pripravy-i.aspx?q=Y2hudW09NQ%3D%3D>.
42. DAY IMPEX Limited. *Sprinkler Bulbs*. [Online] Day-Impex Limited. [Citace: 08. 03 2020.] <http://www.day-impex.co.uk/sprinkler-bulbs.html>.
43. CARESI. *Caresi*. [Online] [Citace: 05. 03 2020.] <http://caresi.rezon.co/fire-color-temperature-chart/>.
44. PROMAT. *Promat Research & Technology Centre NV*. [Online] 2020. [Citace: 18. 02 2020.] [http://www.prtc.be/en/corporate\\_info/international%20fire%20curves](http://www.prtc.be/en/corporate_info/international%20fire%20curves).