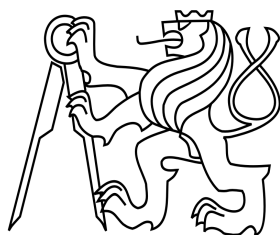


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2017**

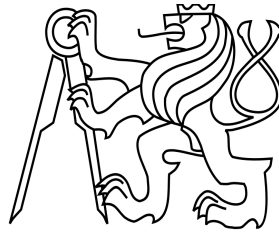
**Bc. Tereza Polívková**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



**Diplomová práce**

**CHLAZENÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ  
POMOCÍ SPRINKLERŮ**

COOLING OF STEEL STRUCTURES BY SPRINKLERS

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrální bezpečnost staveb

Vedoucí práce: Prof. Ing. František Wald, CSc.

**Bc. Tereza Polívková**

Praha 2017



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

|  |               |                      |
|--|---------------|----------------------|
| Příjmení: Polívková                    | Jméno: Tereza | Osobní číslo: 384702 |
| Zadávací katedra: K134                 |               |                      |
| Studijní program: Stavební inženýrství |               |                      |
| Studijní obor: Q                       |               |                      |

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

|  |   |
|--|---|
| Název diplomové práce: Chlazení ocelových konstrukcí pomocí sprinklerů   |   |
| Název diplomové práce anglicky: Cooling of steel structures by sprinklers  |   |
| Pokyny pro vypracování:<br>Shrnutí problematiky hašení sprinklery<br>Ochrana ocelové konstrukce sprinklerovým zařízením na účinky požáru<br>Analytický model chlazení příhradového nosníku<br>Numerický model chlazení příhradového nosníku  |   |
| Seznam doporučené literatury:<br>RYBÁŘ, Pavel. Příklady stabilních hasících zařízení v ochraně majetku a technologií. Praha : MV - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2014. 2. ISBN 978-80-86466-71-2.<br>BEBČÁK, Petr, DUDÁČEK, Aleš a ŠENOVSKÝ, Michail. Vybrané kapitoly z požární ochrany III. Fakulta bezpečnostního inženýrství. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. ISBN: 80-86634-98-1.<br>SHEPPARD, David Tomas. Spray characteristic of fire sprinklers. 2002.<br>RYBÁŘ, Pavel. Sprinklerová zařízení - I.díl. tzbinfo.<br>Fire protecting structural steelwork. SteelConstruction.info. |   |
| Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Ing. František Wald, CSc.   |   |
| Datum zadání diplomové práce: 1.10.2016  | Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017<br><i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i> |
| Podpis vedoucího práce   | Podpis vedoucího katedry  |

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

|                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| Datum převzetí zadání | Podpis studenta(ky) |
|-----------------------|---------------------|

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení prof. Ing. Františkem Waldem, CSc. Veškeré podklady, ze kterých bylo čerpáno, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Nemám námitky proti použití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 8.1.2017

.....

Podpis

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Františku Waldovi, CSc., za odborné vedení, gramatické úpravy a cenné rady. Dále bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytli rady k tvorbě této práce, paní Ing. Kamile Cábové, Ph.D. a Bc. Martinu Dobešovi. V neposlední řadě děkuji mé rodině a přátelům za podporu během celého studia.

---

# Obsah

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Úvod</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Hašení sprinklery</b> .....                                     | <b>2</b>  |
| 2.1      | Legislativní požadavky .....                                       | 2         |
| 2.2      | Historie sprinklerových zařízení .....                             | 3         |
| 2.3      | Typy sprinklerových systémů .....                                  | 4         |
| 2.3.1    | Mokrý soustava .....   | 4         |
| 2.3.2    | Suchá soustava .....   | 4         |
| 2.3.3    | Soustava předstihová.....  | 5         |
| 2.4      | Sprinklerová soustava .....  | 5         |
| 2.4.1    | Vodní zdroj .....  | 6         |
| 2.4.2    | Čerpadla .....   | 6         |
| 2.4.3    | Ventilová stanice.....   | 7         |
| 2.4.4    | Potrubní rozvody.....  | 7         |
| 2.4.5    | Poplachové a monitorovací zařízení .....                           | 7         |
| 2.5      | Sprinklerové hlavice .....   | 8         |
| 2.6      | Sprinklery ESFR .....  | 11        |
| 2.7      | Návrh sprinklerového zařízení .....                                | 12        |
| 2.8      | Ostatní stabilní hasící zařízení .....                             | 12        |
| 2.8.1    | Vodní stabilní hasící zařízení.....                                | 13        |
| 2.8.2    | Pěnové stabilní hasící zařízení .....                              | 14        |
| 2.8.3    | Plynové stabilní hasící zařízení.....                              | 16        |
| 2.8.4    | Práškové stabilní hasící zařízení .....                            | 16        |
| <b>3</b> | <b>Ochrana ocelové konstrukce chlazením na účinky požáru</b> ..... | <b>18</b> |
| 3.1      | Ochrana konstrukcí .....   | 18        |
| 3.2      | Ochlazování vodou .....  | 18        |
| 3.3      | Dodání vody .....  | 24        |
| <b>4</b> | <b>Modelování požárů</b> .....                                     | <b>25</b> |
| 4.1      | Zónové modely .....  | 25        |
| 4.2      | CFD modely .....   | 25        |
| <b>5</b> | <b>Cíle práce</b> .....  | <b>26</b> |
| <b>6</b> | <b>Analytický model chlazení ocelového nosníku</b> .....           | <b>27</b> |
| 6.1      | Popis prostoru a posuzované konstrukce .....                       | 27        |
| 6.1.1    | Prostor .....  | 27        |
| 6.1.2    | Konstrukce .....   | 27        |
| 6.2      | Průběh požáru .....  | 28        |
| 6.2.1    | Software .....   | 28        |
| 6.2.2    | Okrajové podmínky.....   | 28        |
| 6.2.3    | Rychlost uvolňování tepla.....                                     | 29        |
| 6.2.4    | Teplota plynu .....  | 30        |
| 6.3      | Teplota ocelové konstrukce .....                                   | 31        |
| 6.3.1    | Požární odolnost konstrukce .....                                  | 31        |

---

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 6.4      | Návrh sprinklerových hlavic .....   | 33        |
| 6.5      | Chlazení konstrukce .....   | 35        |
| 6.5.1    | Množství tepla přestoupeného do konstrukce .....  | 35        |
| 6.5.2    | Minimální nutná dodávka vody .....  | 37        |
| 6.5.3    | Teplo odvedené z konstrukce .....   | 39        |
| <b>7</b> | <b>Numerický model chlazení ocelového nosníku .....</b>   | <b>41</b> |
| 7.1      | Software .....  | 41        |
| 7.2      | Popis modelu .....  | 41        |
| 7.2.1    | Požární scénář .....  | 43        |
| 7.2.2    | Okrajové podmínky .....   | 44        |
| 7.2.3    | Teplota konstrukce .....  | 45        |
| 7.2.4    | Sprinklerové zařízení .....   | 46        |
| 7.2.5    | Modelový požár .....  | 46        |
| 7.3      | Rozvoj teplot v konstrukci .....  | 48        |
| <b>8</b> | <b>Studie chlazení ocelové konstrukce pomocí CFD modelu .....</b>                                     | <b>51</b> |
| 8.1      | Popis modelu .....  | 51        |
| 8.1.1    | Požární scénář .....  | 52        |
| 8.1.2    | Okrajové podmínky .....   | 52        |
| 8.1.3    | Sprinklerová ochrana .....  | 53        |
| 8.2      | Vliv množství vody a velikosti kapek .....  | 54        |
| 8.3      | Ovlivnění teplot konstrukce časem spuštění sprinklerů .....   | 56        |
| <b>9</b> | <b>Shrnutí .....</b>  | <b>57</b> |
| 9.1      | Další otázky v problematice .....   | 58        |
|          | <b>Seznam obrázků .....</b>   | <b>59</b> |
|          | <b>Seznam tabulek .....</b>   | <b>60</b> |
|          | <b>Literatura .....</b>   | <b>61</b> |
|          | <b>Příloha 1 – Určení stupně požární bezpečnosti a požárního rizika řešené skladovací haly .....</b>  | <b>63</b> |
|          | <b>Příloha 2 – Vstupy do programu FDS: Numerický model chlazení ocelového nosníku ..</b>              | <b>65</b> |
|          | <b>Příloha 3 – Vstupy do programu FDS: Studie chlazení ocelové konstrukce pomocí CFD modelu .....</b> | <b>76</b> |



---

## Abstrakt

Práce je zaměřena na ochranu ocelových konstrukcí při zvýšených teplotách za požární situace pomocí sprinklerových zařízení. Je ukázáno, jak skrápění ocelových konstrukcí vodou ovlivňuje jejich teplotu. Tak lze zajistit, že teplota konstrukce se udrží pod kritickou hodnotou a zajistí se požadovaná požární odolnost. Na příhradovém nosníku byla pomocí analytických vztahů prokázána vhodnost chlazení konstrukce. Byl vytvořen numerický model FDS, ve kterém byla sledována teplota na konstrukci při chlazení sprinklery. Pomocí numerického modelu byla vytvořena studie citlivosti teploty konstrukce na parametry sprinklerů.

### Klíčová slova

Sprinklerové zařízení; stabilní hasící zařízení, požární ochrana; ocelová konstrukce; chlazení konstrukcí vodou; příhradový nosník; požární odolnost

## Abstract

The thesis is focussed to protection of steel structures at increased temperatures in fire situations by sprinklers. It is shown how spray of steel structures by water can affect the temperature of structures. Thus it can be ensured that the temperature of the structure is kept below the critical one to ensure the required fire resistance. Solution shown in truss girder. Analytical models demonstrated the suitability of the cooling of structures by water. It was created numerical model and in this model was monitored temperature of the steel structures with cooling by sprinklers. The sensitivity of temperature of structures was studied in numerical model.

### Keywords

Fire sprinklers; fire fighting equipment; fire protect; steel structures; cooling of structures by water; truss beam; fire resistance

---

## Seznam použitých symbolů a zkratek

### Latinské symboly

|            |   |                |
|------------|---|----------------|
| $Q$        | teplo   | W              |
| $C_p$      | tepelná kapacita                                  | W/K            |
| $c_p$      | měrná tepelná kapacita                            | W/(kg·K)       |
| $m$        | hmotnost  | kg             |
| $m_{vv}$   | měrné skupenské teplo                             | J/kg           |
| $t$        | čas   | s              |
| $S$        | plocha  | m <sup>2</sup> |
| $l_v$      | měrné skupenské teplo                             | J/kg           |
| $L_v$      | měrné skupenské teplo varu vody                   | J/min          |
| $E_{fi,d}$ | návrhová hodnota účinků zatížení za požáru        | N              |
| $R_{fi,d}$ | návrhová hodnota únosnosti prvku za požáru v čase | N              |

### Řecké symboly

|                 |   |                                   |
|-----------------|---|-----------------------------------|
| $\alpha$        | součinitel přestupu tepla                 | W/(m <sup>2</sup> ·K)             |
| $\theta$        | teplota                                   | °C                                |
| $\sigma$        | Stephan-Boltzmanova konstanta             | W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ] |
| $\Phi$          | polohový faktor                           | -                                 |
| $\varepsilon_m$ | povrchová emisivita prvku                 | -                                 |
| $\varepsilon_f$ | emisivita požáru                          | -                                 |
| $k_{E,\theta}$  | redukční součinitel pro modul pružnosti   | -                                 |
| $k_{y,\theta}$  | redukční součinitel pro účinnou mez kluzu | -                                 |
| $k_{p,\theta}$  | redukční součinitel pro mez úměrnosti     | -                                 |
| $\mu_0$         | stupeň využití                            | -                                 |
| $n_{fi}$        | redukční součinitel zatížení              | -                                 |

---

## **Zkratky**

|          |  |
|----------|--|
| EPS      | Elektrická požární signalizace           |
| SHZ      | Stabilní hasící zařízení                 |
| ESFR     | Early Suppression Fast Responce          |
| RTI      | Index reakční doby - Reaction Time Index |
| CFD      | Computational Fluid Dynamics             |
| FDS      | Fire Dynamics Simulator (software)       |
| RHR, HRR | Rychlost uvolňování tepla                |
| SPB      | Stupeň požární bezpečnosti               |

# 1 Úvod

Stavební konstrukce musí splňovat požární odolnost, která se odvíjí od požárního zatížení požárního úseku. Požární odolnost je schopnost konstrukce odolávat účinkům požáru a plnit svou funkci po určitou dobu. Určuje se zkouškou nebo výpočtem a udává se v min, je odstupňována: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 min. Pokud stavební konstrukce požadavek na požární odolnost nesplňují, zvyšuje se jejich požární odolnost na požadovanou hodnotu. Zvýšit ji lze pasivními prvky, jako jsou obklady, nátěry a nástřiky nebo aktivní ochranou jako jsou skrápěcí zařízení.

Aktivní prvky v požární ochraně jsou obecně požárně bezpečnostní zařízení PBZ: elektrická požární signalizace, požární větrání (zařízení pro odvod kouře a tepla) a stabilní hasící zařízení. PBZ zabraňují šíření požáru a informují hasičský záchranný sbor o jeho vzniku.

V současné době se stabilní hasící zařízení (SHZ) stávají součástí požární ochrany budov. Nejčastěji se využívají v průmyslových výrobních objektech nebo skladovacích halách pro ochranu majetku při případném vzniklém požáru. Nejčastějším SHZ jsou sprinklerová zařízení. Sprinklerová zařízení lze využít jako aktivní prvky při zvyšování požární odolnosti konstrukcí jejich ochlazováním pomocí hasební látky, vody.

Voda, která se využívá jako hasební médium u sprinklerových zařízení, je snadno dostupná a má dobré hasící chladící vlastnosti. Je schopna odebírat tepelnou energii ze stavebních konstrukcí, přičemž je schopna omezovat tepelný tok, který z požáru do konstrukcí sálá.

## 2 Hašení sprinklery

Sprinklerová zařízení jsou nejznámějším a nejčastěji používaným stabilním hasícím zařízením a již jsou nedílnou součástí aktivní požární ochrany staveb. Výrazně přispívají k ochraně majetku a bezpečnosti osob, která je ohrožena při vzniku požáru v objektech. Prvotně byla používána v průmyslových objektech, nyní se tato ochrana používá v občanských stavbách a rozšiřují se již i do oblasti rodinných domů.

Výhodou sprinklerových zařízení je jejich automatická aktivace bez nutnosti přítomnosti osob, jejich lokální působení a reakce zařízení na požár již brzy od vznícení. Tak může být požár uhašen již v zárodku nebo může být zabráněno jeho šíření v objektu před příjezdem jednotek hasičského záchranného sboru.

Zařízení se spouští samočinně po zahřátí tepelné pojistky v hlavici sprinkleru na otevírací teplotu. Tím dojde k uvolnění tlaku a otevření ventilové stanice a ke spuštění zařízení pro zásobování vodou. Pro hašení je třeba dostatečný vodní zdroj a přívod elektrické energie. Sprinklery zastavuje velitel jednotky požární ochrany. Zařízení se odstavuje ručně [1].

### 2.1 Legislativní požadavky

V roce 2003 byla vydána evropská norma EN 12 845 Sprinklerová zařízení – navrhování, instalace a montáž. Do vydání této normy byl jako první vydán soubor technických předpisů pro navrhování sprinklerových zařízení z roku 1987 (vycházel z německých směrnic). Dalším krokem bylo vydání technických podmínek CEA 4001, který vydala ČAP – Česká asociace pojišťoven. Tento předpis vznikl jednáním významných evropských pojišťoven [2].

Norma ČSN EN 12 845 je platná ve všech zemích EU. Následovně v r. 2004 byla vydána první česká norma ČSN EN 12 845 se stejným názvem, která je harmonizovaná s normou evropskou. Jako základ pro tuto normu byla norma anglická BS 5306, díl 2. Nyní se využívá nová verze normy ČSN EN 12 845, která nabyla účinnost 1.11.2015. Tato norma je českou verzí normy evropské [3], [4].

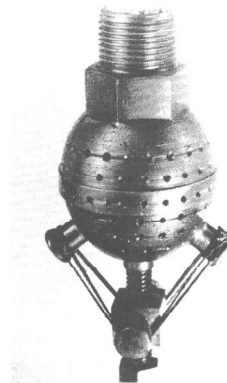
Oba tyto předpisy jsou bez minimálních rozdílů shodné. Došlo však k vyjmutí některých příloh a předpisů z ČSN EN 12 845, které se neshodovaly s EN 12 845 [4].

## 2.2 Historie sprinklerových zařízení

První ochrana objektů před účinky požáru i bez pomoci lidského činitele vznikla na začátku 19. století, pro průmyslové závody, ve kterých požáry byly rozsáhlejší a nebezpečnější. Díky prachu, papíru a odpadkům se požár šířil velmi rychle. Sprinklery se ve velkém začaly v 2. polovině 19. století, na počátku průmyslové revoluce v USA [5], [6].

Prvním typem sprinklerového zařízení bylo perforované potrubí rozvedené po chráněných objektech. Díry v potrubí směřovaly směrem nahoru v úhlu 60°. Nádrže na vodu byly umístěny na střeše. Nejprve byla smáčena stropní konstrukce a poté docházelo k dodání vody na podlahu. Potrubí (objekt) bylo rozděleno do sekcí a podle toho, v které sekci objektu vznikl požár, bylo příslušné potrubí zaplaveno vodou. Zařízení byla ovládána ručně. Nevýhody byly, že vodou byly zaplavovány poměrně velké části objektů a docházelo k poškozování majetku vodou. Dále potrubí korodovalo a byla náročná jeho údržba [5], [6].

První sprinklerová hlavice, viz obr. 1, byla vynalezena v roce 1864 A. Stewartem Harrisonem v Anglii. Jednalo se o děrovanou mosaznou kouli o průměru 2-3 palců (5 – 7,5 cm). Uvnitř koule byla pojistka připájená ke spodku hlavice. Po roztavení pojistky došlo k samočinnému otevření hlavice, což zajistilo hašení pouze v místě požáru se zvýšenou teplotou [5], [6].



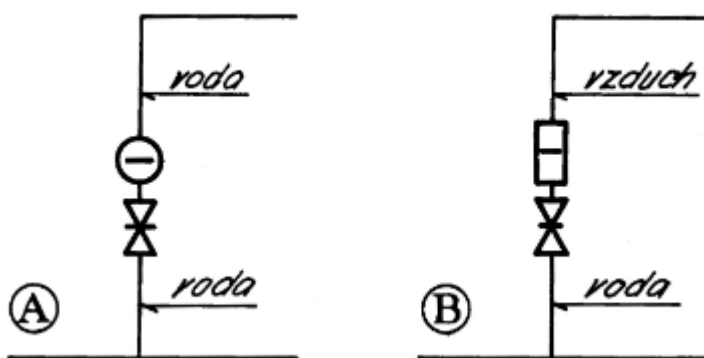
Obrázek 1: Harrisonova sprinklerová hlavice [5]

Prvními hlavicemi, které se používaly, byly hlavice od Heryho S. Palmelee, který patentoval celkem 5 typů sprinklerových hlavic. Dalším důležitým krokem ve vývoji sprinklerových hlavic byly hlavice, které využívaly citlivější pájku, proto se nazývají „první

citlivý sprinkler“ a vynalezl je Frederic Grinnel. Grinnel také vynalez první hlavici se skleněnou pojistkou plněnou lihem v roce 1922 [5], [6].

## 2.3 Typy sprinklerových systémů

Existují tři typy sprinklerových soustav: mokrá, suchá a předstihová soustava. Navrhují se podle teplot prostředí, které ovlivní zamrznutí/var vody v rozvodném potrubí. Na obr. 2 je vidět rozdíl mezi ventilovou stanicí mokré a suché soustavy [1], [7], [8].



Obrázek 2: Schéma ventilové stanice mokré (obrázek A) a suché (obrázek B) ventilové stanice sprinklerové soustavy [9]

### 2.3.1 Mokrý soustava

Tato soustava se používá v prostředích, kde je rozmezí teplot mezi bodem mrazu a 95 °C. Důvodem je, že soustava je trvale zaplněná vodou pod tlakem a hrozí zamrznutí nebo naopak var vody. Je – li navržena v prostředí s možností teplot pod bodem mrazu chrání se rozvodná potrubí nemrznoucí kapalinou nebo elektrickým trasovým topením [1], [8].

### 2.3.2 Suchá soustava

V soustavě suché je voda pod tlakem pouze do řídicího ventilu. Od řídicího ventilu až po sprinklerové hlavice je natlakovaná vzduchem nebo inertním plynem. Může být navržena i v prostředích s teplotami pod bodem mrazu nebo naopak s teplotami nad 95 °C. Její

nevýhodou je pozdější reakce na oheň, protože ventilová stanice se otevře až po uvolnění tlaku vzduchu (plynu) v potrubích [1], [8].

### 2.3.3 Soustava předstihová

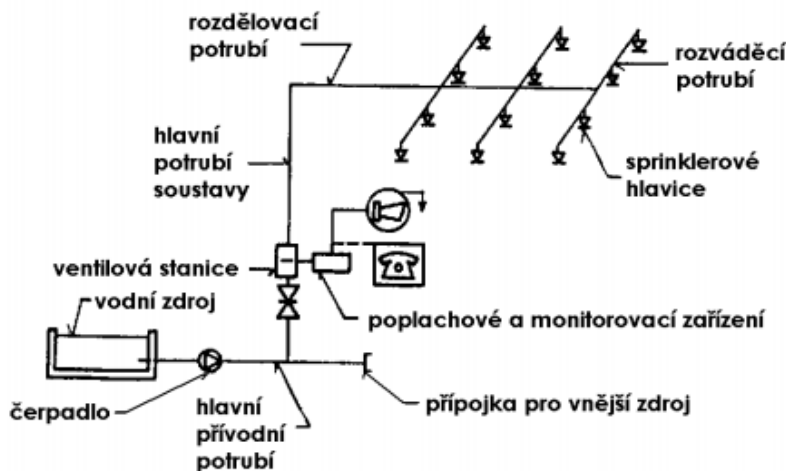
Kombinací suché soustavy sprinklerového zařízení a elektrické požární signalizace (EPS) je soustava předstihová. Řídící ventil v tomto případě není spouštěn pouze sprinklerovým zařízením, ale také pomocí EPS. Aby se řídicí ventil uvolnil, musí být požár potvrzen ústřednou EPS nebo může být EPS využita k urychlení jeho otevření. Předstihová soustava se dělí na dva typy. Typ A a B [1], [8].

Typ A se užívá v prostorech, kde při nechtěném výstřiku sprinklerů může dojít ke značné škodě majetku. Uvedení ventilové stanice do provozu řídí samočinné detekční zařízení (EPS) ale výstřik z hlavice nastane po prasknutí tepelné pojistky. Pro spuštění sprinklerového zařízení je třeba obou iniciací [1], [8].

U typu B se řídicí ventil spustí jak samočinným detekčním zařízením, tak pokles tlaku. Využijí se pro objekty se suchou soustavou a s možností rychlého šíření požáru [1], [8].

## 2.4 Sprinklerová soustava

Sprinklerová soustava jako celek má mnoho částí, viz obr. 3. Dále jsou popsány jednotlivé prvky sprinklerové soustavy.



Obrázek 3: Schéma sprinklerového zařízení [10]



### 2.4.1 Vodní zdroj

Sprinklerovou soustavu lze zásobovat několika způsoby [1], [10]:

- Z veřejné vodovodní sítě
- Ze zásobních nádrží
- Z nevyčerpatelných zdrojů
- Z tlakových nádrží

Volbu vodního zdroje ovlivňuje [1], [10]:

- Umístění a velikost stavby
- Možnosti vodovodního řadu
- Požadavky investora

Protože pro každé zařízení je stanoven minimální objem vody, musí zásobní nádrže být navrhovány s plným objemem (objem vody v nádrži musí být rovný minimálnímu stanovenému objemu) nebo s redukováným objemem (minimální objem vody je splněn objemem nádrže a automatickým doplňováním vody z veřejné vodovodní sítě). Druhá varianta výrazně snižuje náklady spojené se zásobováním vodou. Plný objem se stanoví hydraulickým výpočtem pro dobu činnosti, podle prostorů s nejvyšší třídou rizika v objektu a hydraulicky nejprůzračnější účinnou plochou. U nebezpečí LH je to 30 min, OH 60 min a u nebezpečí HHP a HHS je to 90 min [7], [8], [10].

Vodní nádrže mohou být nadzemní nebo podzemní. Podzemní nádrže se navrhují betonové nebo plastové. Opatřují se dvěma plovákovými uzávěry a přepadovým potrubím. Nadzemní nádrže proti zamrznutí ohřevem vody se zajišťují topnými tělesy, cirkulací teplé vody a/nebo tepelnou izolací [7].

### 2.4.2 Čerpadla

Sprinklerová soustava, pokud není napojena na veřejnou vodovodní síť o dostatečném tlaku a průtoku, má alespoň jedno čerpadlo. Pokud sprinklerové SHZ má čerpací zařízení, minimálně

jedno z nich má zajištěnou nepřetržitou dodávku energie. Čerpadlem s dieselpohonem nebo napájením elektropohonem, který je jištěný dieselaagregátorem [11].

Pro sprinklerová zařízení se používají čerpadla, která mají vyšší požadavky na použité materiály než čerpadla běžná. Čerpadla se spustí při poklesu tlaku v potrubí při rozdílu tlaku 20% oproti tlaku se zavřeným řídicím ventilem. Čerpadla mohou být i ponorná. V případě, kdy se nejedná o ponorná čerpadla, instalují se samočinná zavodňovací zařízení [12].

### 2.4.3 Ventilová stanice

K ovládání přívodu vody do potrubních rozvodů a poplachu slouží ventilová stanice. Ventilová stanice je soustavou armatur a jiných zařízení. Ventilové stanice mohou být mokré nebo suché, podle suché nebo mokré sprinklerové soustavy. Hlavní součástí je řídicí ventil, který má rozdílné funkce podle typu soustavy [7].

Mokrý řídicí ventil má hlavní funkci spuštění poplachu po jeho otevření. Suchý řídicí ventil odděluje nezavodněné potrubí od potrubí zavodněného. Uvnitř ventilu je talíř, který je přitlačován tlakem vzduchu (nebo dusíku) z nezavodněného potrubí k sedlu ventilu, a který se po aktivaci sprinklerové hlavice uvolní a tím voda začne proudit do nezavodněné části sprinklerového zařízení [7].

### 2.4.4 Potrubní rozvody

Potrubní rozvody jsou ocelové nebo plastové. Plastové jsou oproti ocelovému odolné vůči korozi a také je snadnější jeho instalace. Dříve bylo potrubí spojováno svařováním, ale vzhledem k pomalé montáži se přešlo k mechanickým spojům, které jsou současně i ekonomičtější. K potrubním rozvodům také patří potrubí zkušební a potrubí plnicí [7], [12].

### 2.4.5 Poplachové a monitorovací zařízení

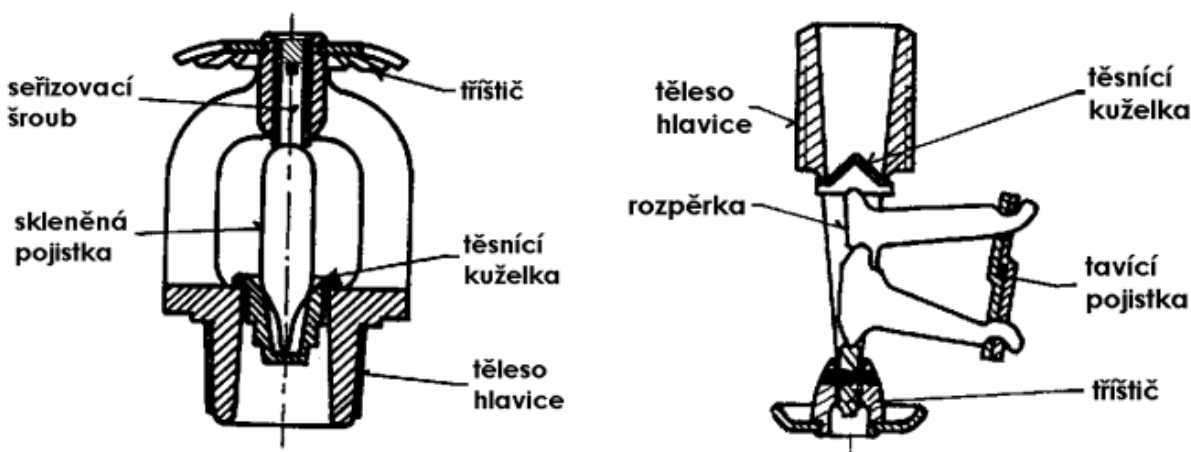
Poplachové a monitorovací zařízení průběžně zjišťuje stav a hladiny vody v nádržích, dále monitoruje tlak vody a vzduchu v zařízení a posílá hlášení o jeho stavu, poruchy nebo požárního poplach k místu se stálou obsluhou [1].

## 2.5 Sprinklerové hlavice

Sprinklerová hlavice (sprinkler), je poslední částí sprinklerové soustavy. Díky sprinkleru se uvede do provozu celé sprinklerové zařízení. Je to samočinný ventil, který se umísťuje pod strop nebo střechu chráněného prostoru, kde dochází k akumulaci tepla vyvinutého požárem. Samočinné spuštění závisí na teplotní pojistce, která je součástí sprinklerové hlavice [1].

Úkolem sprinklerových hlavice je zajistit rovnoměrnou dodávku vody na chráněnou plochu. Intenzita dodávky vody se určuje K faktorem. K faktor je průtok vody v l/min při jmenovitém výstupním tlaku na sprinkleru 1 bar. Základní sprinklery mají K57, K80, K115. Mají-li sprinklery K faktor vyšší než K115 užívají se většinou k ochraně skladů [13], [8].

Teplotní pojistky mohou mít skleněnou, nebo tavnou tepelnou pojistku, viz obr. 4. Skleněná pojistka je naplněná kapalinou s vysokou roztažností, která při zvýšené teplotě zvyšuje svůj objem, až skleněná baňka praskne a tím spustí výtok vody. Tavnou pojistku tvoří tenké plíšky, které jsou spojeny pájkou. Pájka drží pákový mechanismus a ten přitlačuje uzavírací kužel k sedlu ventilu. Po odstranění těsnícího kužele z kruhového otvoru začne stříkat voda, která naráží do kovového tříštiče a tak se voda roztříští. Tříštič je držen kovovým rámem na opačných stranách hlavice. Voda opouští tříštič v tenkých proudech a ty se rozbíjí do kapiček vlivem povrchového napětí [1], [9].



Obrázek 4: sprinklerové hlavice se skleněnou (vlevo) a s tavnou (vpravo) pojistkou

Sprinkler se navrhuje s otevírací teplotou minimálně 30 °C nad nejvyšší očekávanou teplotou prostředí, ve kterém je instalován. Nejběžnější otevírací teplotou je 68 °C. Každá

sprinklerová hlavice má barevné označení podle dané teploty otevření, viz tab. 1. Skleněné pojistky mají odlišnou barvu tekutin.

Tabulka 1: Barevný kód jmenovité otevírací teploty sprinklerových hlavíc

| Skleněná pojistka |                | Tavná pojistka |              |
|-------------------|----------------|----------------|--------------|
| °C                | Barva          | °C             | Barva        |
| 57                | Oranžová       | 55-57          | Bez označení |
| 68                | Červená        | 80-107         | Bílá         |
| 79                | Žlutá          | 121-149        | Modrá        |
| 93-100            | Zelená         | 163-191        | Červená      |
| 121-182           | Modrá          | 204-246        | Zelená       |
| 163-182           | Světle fialová | 260-302        | Oranžová     |
| 204/260           | Černá          | 320-343        | Černá        |

Pojistky mohou být s jednorázovou nebo opakovatelnou funkcí. Nejčastěji se však používají hlavice s jednorázovou skleněnou pojistkou, které je třeba po ukončení požárního zásahu vyměnit [12].

Podle toho jak sprinklery reagují na tepelnou odezvu, která je vyjádřena indexem reakční doby RTI, se rozdělují na standardní, speciální a rychlé [12].

Standardní A: RTI < 50

Standardní B: RTI 50-80

Speciální: RTI 80-200

Rychlé: RTI 200-400

Hlavice s rychlou tepelnou odezvou QR (Quick Responce) mají skleněnou baňku o průměru přibližně 3 mm, zatímco sprinklery, kde je reakce na teplo pomalejší mají baňky o průměrech 5 až 8 mm, viz obr. 5. Podle tepelné odezvy se sprinklery mohou používat podle tab. 2 [1], [8].



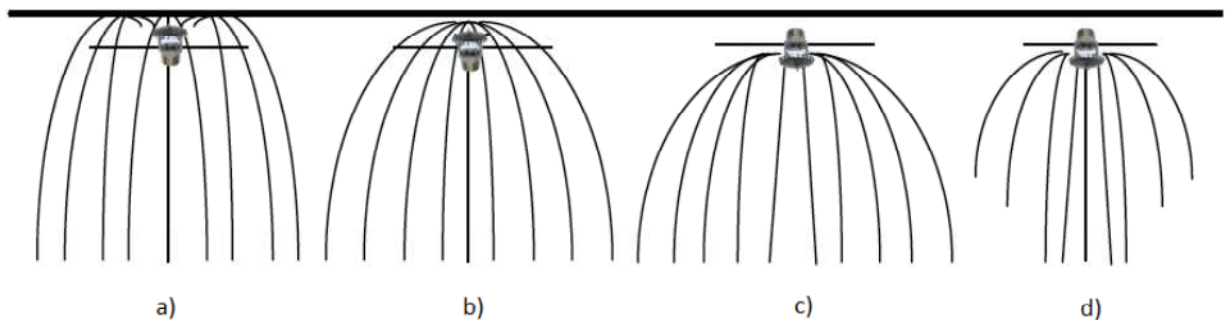
Obrázek 5: Sprinklerové hlavice se skleněnou baňkou s různou tepelnou odezvou [12]

Tabulka 2: Použití sprinklerů podle tepelné odezvy

| <i>Tepelná odezva</i> | <i>Regálové jištění</i> | <i>Stropní jištění nad regálovým jištěním</i> | <i>Suché soustavy</i> | <i>Ostatní</i> |
|-----------------------|-------------------------|---|-----------------------|----------------|
| Standartní            | Ne                      | Ano   | Ano                   | Ano            |
| Speciální             | Ne                      | Ano   | Ano                   | Ano            |
| Rychlá                | Ano                     | Ano   | Ne                    | Ano            |

Sprinklerové hlavice se rozdělují i podle způsobu montáže na stojaté, závěsné nebo horizontální. Stojaté se navrhují do suchých i do mokrých systémů a montují se na přívodné potrubí směrem nahoru. Závěsné hlavice se neinstalují do suchých systémů. Montují se většinou do podhledů tedy směrem dolů od potrubí. Horizontální se montují na stěny a používají se pro ochranu prostor s nižší třídou rizika, jelikož nejdou použít pro větší intenzity skrápění [1].

Dále se hlavice dělí podle typů výstřiků. Na obr. 6 je vidět, že některé vystřikují nejprve směrem nahoru a skrápějí strop a poté kapky vody spadávají dolů a u jiných voda padá rovnou dolů na zdroj ohně. Tradiční stojatá sprinklerová hlavice nejprve skrápí strop, moderní stojatá sprinklerová hlavice stříká nahoru, ale voda se odráží a padá dolů, standardní závěsná hlavice stříká dolů a kapky vody padají dolů a u hlavice s rychlou odezvou voda padá přímo dolů. Používá se tam, kde hrozí rychlé rozhořívání požáru [14].



Obrázek 6: Typy výstřiků sprinklerových hlavice

- a) *Tradiční stojatá sprinklerová hlavice, b) Moderní stojatá sprinklerová hlavice, c) Standardní závěsná sprinklerová hlavice, d) Hlavice s rychlou odezvou*

Hlavice se umísťují 70 až 150 mm pod stropní nebo střešní konstrukcí. Nejvýše 300 mm pod hořlavými stropy nebo 450 mm pod nehořlavými stropy. Pokud rozstříku brání vazník, rozvody vzduchotechnických zařízení, manipulační plošiny a jiné překážky, se sprinklery instalují pod nimi [8], [13].

## 2.6 Sprinklery ESFR

Sprinklerový systém ESFR (Early Suppression Fast Responce) je založen na hašení požáru co nejdříve po jeho vzniku velkým množstvím vody. Instaluje se do skladových hal, kde je mnoho různých materiálů a tím umožňuje flexibilitu ve změnách skladovacích materiálů [1].

Sprinklerové hlavice ESFR jsou instalovány pod stropem a tudíž není nutné instalovat sprinklery regálové. Hlavice ESFR jsou mnohem menší než klasické sprinklerové hlavice, viz obr. 7 [1].



Obrázek 7: Klasická sprinklerová hlavice (vlevo) a sprinklerová hlavice ESFR (vpravo) [1]

## 2.7 Návrh sprinklerového zařízení

K návrhu je připravena evropská norma ČSN EN 12 845. Nejprve se určí třída nebezpečí chráněného požárního úseku a dále intenzita dodávky vody, doba činnosti, účinná plocha a rozmístění sprinklerových hlavic. Součástí návrhu je hydraulický výpočet, který určí průměry potrubí a velikost nádrže. K návrhu se využívá výpočetní technika. Navrhovat sprinklerová zařízení a stejně tak ostatní SHZ mohou pouze osoby k tomu odborně způsobilé [1], [9], [13].

## 2.8 Ostatní stabilní hasící zařízení

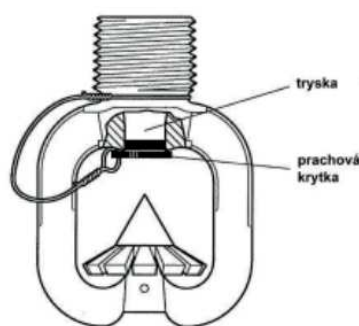
Stabilní hasící zařízení (SHZ) je zařízení, které je pevně zabudované v budovách a pomáhá k uhašení požáru nebo udržení požáru pod kontrolou. Navrhuje se přímo pro konkrétní požární nebezpečí, pro lokální, objemové nebo zónové hašení. SHZ se skládá z nádrže nebo zásobníku na hasivo, čerpacího zařízení, potrubních rozvodů, řídicích ventilů, výstřikových hubic. U většiny SHZ je součástí vybavení také detekční, monitorovací, řídicí a poplachové zařízení. SHZ nejčastěji dělíme podle druhu použitého hasiva na SHZ vodní, pěnové, plynové, halonové a práškové. Stabilní hasící zařízení lze využít také k omezení tepelného toku nebo ke chlazení povrchů konstrukcí [1].

### 2.8.1 Vodní stabilní hasící zařízení

Vodní stabilní hasící zařízení se navrhuje k chlazení chráněného prostoru. Vodní SHZ se dělí na hadicové systémy, sprinklerová zařízení, sprejová zařízení, mlhová zařízení, parní zařízení a zařízení s lafetovými proudnicemi [1].

Sprinklerová zařízení je nejčastějším a nejznámějším stabilním hasícím zařízením. Podrobněji je popsáno v předchozí kapitole.

Sprejová zařízení jsou obdobou sprinklerových zařízení. Pro zvýšení účinnosti se dodává voda nebo pěna sprchovým proudem do potřebného prostoru. Na rozdíl od sprinklerových zařízení je, kde se hlavice otevírají postupně vlivem teploty, zatímco po spuštění sprejového zařízení je výstřik ze všech sprejových hubic současný. Spouštěny jsou ručně nebo samočinně pomocí EPS. K výstřiku vody dochází sprejovými hubicemi, které jsou různé pro rychlosti výstřiků, vysokorychlostní, středně rychlostní, viz obr. 8. Středně rychlostní hubice se používají pro chlazení hořlavých látek s bodem splnutí pod 66°C a vysokorychlostní pro látky s vyšším bodem splnutí. Sprejová hasící zařízení mohou být určena k hašení, pro chlazení konstrukcí, ke zvýšení jejich požární odolnosti (sprejová skrápěcí ochlazovací zařízení, jinak drenčerová zařízení) anebo k omezení šíření tepelného toku (sprejové vodní clony). Používají se k ochraně technologických zařízení, jako jsou transformátory, kabelové trasy, pásové dopravníky, zásobníky uhlí, olejové potrubní rozvody, a dalších. Dále se používají k ochraně zásobníků na LPG a hořlavých kapalin [1].



Obrázek 8: Středně rychlostní sprejová hubice [1]

Mlhová zařízení využívají k hašení vodní mlhu. Proud vody, ve kterém je více než 90% kapek s průměrem menším než 1 mm. Tím je dosažena větší efektivita hašení s menší spotřebou vody, nejsou tedy potřeba tak velké vodní nádrže. Využívají kombinaci chladícího



a dusíčího efektu při přeměně vody na páru. Podle tlaku mlhová zařízení rozdělují na nízkotlaká (max. 1,25 MPa), středotlaká (1,25 MPa až 3,5 MPa), vysokotlaká (min. 3,5 MPa) a podle způsobu tvorby mlhy na jednofázová a dvoufázová. Jednofázová zařízení vytváří mlhu pouze pomocí vody a dvoufázová pomocí vody a plynu, který se přivádí do hubice samostatným potrubím. Nízkotlaká a středotlaká mlhová SHZ jsou obdobné sprejovým SHZ. Do této skupiny se řadí i zařízení na hašení jisker nebo žhavých částic v dopravních potrubích. Vysokotlaké mlhové zařízení tvoří kapky o průměrech 0,025 až 0,2 mm. Potrubní rozvody jsou nerezové o malých průměrech a místo ventilových stanic, které se užívají u sprinklerových zařízení, se používají solenoidové ventily, což jsou elektromagnetické ventily pro uzavírání průtoků plynů a kapalin. Vysokotlaká mlhová SHZ se využívá k hašení generátorů, parních a plynových turbín, hromadných garáží, tunelů, elektronických zařízení, telefonních ústředěn, hangárů, obráběcích a papírenských strojů a v objektech, kde se zpracovávají hořlavé kapaliny. Při ochraně památek nejméně zasahují do staveb a interiérů. Výhodou hašení vodní mlhou je ekologická a zdravotní nezávadnost. Po zásahu jsou minimální následky promáčení a v určitých podmínkách je málo vodivá [1].

Parní zařízení využívá k hašení vodní páru. Vodní pára vytěsňuje kyslík ze zóny hoření a tím vyvolává dusíčí účinek. Instalují se v petrochemickém průmyslu nebo v textilním průmyslu k ochraně technologií pro pogumování textilií [1].

Zařízení s lafetovými proudnicemi mohou být součástí pěnového nebo vodního SHZ nebo mohou být samostatná. Stabilní lafetová proudnice slouží pro dodávku velkého množství vody nebo pěny a je pevně připojená ke stavební konstrukci. S proudnicemi lze natáčet horizontálně i vertikálně. Ovládají se ručně nebo dálkově a jsou podle potřeby vodní nebo pěnové, případně kombinované. Průtok je přibližně 3000 l/min až 4000 l/min a dostřik až 70 m. použití je k hašení hangárů, heliportů, hořlavých kapalin nebo k ochlazení ocelových konstrukcí technologických zařízení a plášťů skladovacích nádrží hořlavých kapalin [1], [15].

### **2.8.2 Pěnové stabilní hasící zařízení**

Pěnové SHZ mají větší hasební schopnost než vodní SHZ a používá se pro hašení požárů plastů, kapalin nebo látek které přecházejí do kapalného stavu (benzín, alkohol, olej a dalších). Pěna omezuje přísun vzduchu k hladině hořící kapaliny a tím zabraňuje dalšímu

šíření požáru a hasí jej. Pěnová hasidla se rozdělují do tří tříd (I, II, III) podle hasících schopností a úrovně odolnosti proti zpětnému hoření (A, B, C, D) [1].

Hasební pěny se dělí do tří základních skupin: těžkou, střední a lehkou pěnu. Každá pěna má různé číslo napěnění, které vyjadřuje objem vyrobené pěny ku objemu roztoku vody a pěnidla. Těžká pěna má číslo napěnění do 20, u střední pěny je to 21 až 200 a u lehké pěny je číslo napěnění více než 200. Těžké a střední se používají k plošnému hašení, tedy vytvoření souvislé vrstvy na povrchu hořlavé látky, zatímco pěnou lehkou se naplní celý chráněný prostor, což je hašení objemové. Soustavy SHZ na těžkou nebo střední pěnu jsou v podstatě stejné jako sprinklerové a sprejové SHZ, rozdíl je v rozstříkových koncovkách a zařízení pro zásobování pěnotvorným roztokem. K tvorbě lehké pěny se používají generátory pěny [1], [16].

Použití je různorodé. Od hašení skladovacích nádrží na hořlavé kapaliny, výrobních prostor, hangárů skladů pneumatik, plastů a papíru, kabelových kanálů, jímek a nádrží na LPG až po hašení kuchyňských fritéz (hasivo Ansulex vhodné pro třídy požáru F) [1].

Pěna se dodává několika způsoby – sprinklery (standardními nebo pěnovými), sprejovými hubicemi (standardními nebo pěnovými), pěnotvornými soupravami na povrchovou dodávku pěny, pěnotvorným zařízením s vysokým protitlakem na podpovrchovou dodávku pěny, proudnicemi na střední pěnu, pěnovými generátory na lehkou pěnu, zařízeními na stlačenou pěnu a lafetovými proudnicemi na těžkou pěnu. Výstříkové koncovky jsou bez přísávání vzduchu nebo s přísáváním vzduchu [1], [17].



Obrázek 9: Pěnová sprejová hubice (vlevo), pěnový sprinkler (vpravo) [1]

Z ekologického hlediska se znečištěné hasivo zachycuje v retenčních jímkách a použití ekologicky nezávadných pěnidel. Pro korosivní účinky se pro rozvody potrubí používá nerezová ocel a plast [1].

### 2.8.3 Plynové stabilní hasící zařízení

Plynové SHZ zabraňuje poškození vybavení, jak požárem, tak hasební látkou. Používá se v serverovnách, rozvodnách, uměleckých galeriích, muzeích a v kulturních památkách. Jde o hašení snížením obsahu kyslíku v chráněném prostoru (inertní plyny) a chlazení v zóně plamenného hoření (CO<sub>2</sub> a chemické plyny). Jako hasivo se používá CO<sub>2</sub>, inertní plyny (argon, dusík a jejich směsi), halonové alternativy. SHZ rozdělujeme na nízkotlaká a vysokotlaká, či na bateriová a modulová. Umístění hasiva u bateriových typů je v samostatných požárních úsecích a u modulových typů je hasivo umístěno přímo v chráněném prostoru [1], [17].

Pro řízení plynového SHZ se navrhuje speciální ústředna nebo ústředna EPS, která je certifikovaná pro ovládání hasící části plynového SHZ. Pro detekci požáru se užívají hlásiče EPS, které aktivují hasící část zařízení. Při návrhu se bere zřetel na zpoždění spuštění zaplavování prostoru plynem pro bezpečné opuštění prostoru osobami [1].

### 2.8.4 Práškové stabilní hasící zařízení

Práškové stabilní hasící zařízení se používá v provozech se zvýšeným požárním rizikem, především v chemickém průmyslu nebo při hašení požáru alkalických kovů. Tam jsou ostatní hasiva neefektivní – čerpadla na hořlavé kapaliny, mlýny, kompresory v tlakových stanicích a hydraulických systémů. Hašení nastane přerušením chemické reakce v zóně plamenného hoření pomocí prášku [1], [10], [17].

Prášky jsou složeny z fosfátů, kaliumsulfátů, natriumhydrogenkarbonátů a natriumchloridů. Podle účinných látek se volí do jakých prostor a jaký prášek bude použit [10].

Zásoba prášku je v ocelových tlakových nádržích o objemu 50 – 3000 kg, na které jsou napojeny tlakové láhve nejčastěji s dusíkem, který po spuštění zařízení vytlačuje prášek do potrubních rozvodů. Zařízení se spustí pomocí EPS nebo ručně. U návrhu práškového

hasícího zařízení rozhoduje základní a doplňkové množství prášku. Základní množství prášku u objemového hašení je  $0,65 \text{ kg/m}^3$  a doplňkové množství se odvodí na základě předpokládaných ztrát v případě vzduchotechnického zařízení a velikosti otvorů v chráněném prostoru. V chráněném prostoru, kde se nacházejí osoby, se zdrží spuštění o čas, kdy osoby bezpečně opustí chráněný prostor [1], [17].

## **3 Ochrana ocelové konstrukce chlazením na účinky požáru**

### **3.1 Ochrana konstrukcí**

Chránit stavební konstrukce jde pasivními nebo aktivními prvky. Chránit ocelové konstrukce lze pasivně několika způsoby. To jsou nátěry nebo nástřiky, obložení konstrukcí ochrannými požárními deskami, obetonování nebo obezdění konstrukcí, vybetonování dutých ocelových konstrukcí nebo například instalace požárních podhledů pod stropní nebo střešní konstrukcí [18].

Tyto ochrany však mají své nevýhody. Požární obklady mají spáry v místech návazností a jsou náročné jak finančně, tak instalačně. Naopak nátěry a nástřiky se nanášejí bez větších potíží, nezatěžují konstrukce, ale mají nevýhody jiné. První nevýhodou je, že jsou náchylné k mechanickému poškození a další velkou nevýhodou je jejich životnost. Požární odolnost konstrukcí musí být zajištěna po celou předpokládanou dobu životnosti objektu. Výrobci intumescenčních nátěrů dokážou zajistit jejich životnost do 10 let a tudíž se musejí obnovovat. Starý nátěr se musí odstranit a nanést nový, což u některých konstrukcí, ke kterým je špatný přístup jde velmi obtížně [19].

Chránit ocelové konstrukce na účinky požáru lze také zkrápěním vodou, kdy je teplo odváděno přímo z povrchu konstrukce a současně je redukován tepelný tok z požáru dopadající na konstrukci. K těmto účelům se používají skrápěcí nebo clonová zařízení. Nejčastěji se používá drenčeroých zařízení, která jsou podobná zařízení sprinklerovému, ale mají jiné hlavice a vytvářejí souvislou vodní clonu.

### **3.2 Ochlazování vodou**

Voda je pro zkrápění konstrukcí a jejich ochlazování při požáru nejvhodnějším médiem. Voda je nejdostupnější univerzální chladicí látka. Má vysoký chladicí efekt, je chemicky neutrální a snadno dostupná. Je třeba počítat s tím, že při nízkých teplotách, voda mění své skupenství na

tuhé a zvyšuje svůj objem. Ochlazování vodou může způsobit velké škody na skladovaných materiálech nebo na technologiích. Nemůže se použít k hašení hořících olejů a tuků [20], [21].

Teplo, které vzniká při hoření, přechází z místa požáru do okolního prostoru a stavebních konstrukcí. Tepelná energie, kterou přebírají stavební konstrukce, konstrukce ohřívá. Se zvyšující se teplotou ocelové konstrukce ztrácejí své vlastnosti (mez kluzu a modul pružnosti) a tím se stávají méně únosnými. Principem ochlazování konstrukcí vodou je odebrat tepelnou energii z konstrukce a udržet teplotu ocelových konstrukcí pod kritickou hodnotou, kdy nastanou mezní stavy oceli. Teplota se nezvýší, pokud teplo odebírané z konstrukce je větší nebo rovno teplu přijímanému [20].

$$Q_0 \geq Q_k \quad [\text{kJ}/\text{min}] \quad (3.2.1)$$

kde

$Q_0$  je množství tepla odvedené z konstrukcí [kJ/min]

$Q_k$  množství tepla přestoupené do stavebních konstrukcí [kJ/min]

Při skrápění konstrukcí vodou dochází k jejich ochlazování, ohřevu použité vody a k jejímu částečnému odpaření. Tepelná kapacita  $C_p$  vyjadřuje množství tepla, o které se těleso ohřeje, o jednotku 1 K. Pro určení přivedeného tepla na ohřátí určitého množství látky je použita měrná tepelná kapacita  $c_p$ .

$$Q = C_p (\theta_{kon} - \theta_{poč}) \quad [\text{J}] \quad (3.2.2)$$

$$Q = c_p * m (\theta_{kon} - \theta_{poč}) \quad [\text{J}] \quad (3.2.3)$$

kde:

$Q$  je teplo odvedené ohřevem [J]

$C_p$  tepelná kapacita [J/K]

$c_p$  měrná tepelná kapacita [J/(kg\*K)]

$m$  hmotnost [kg]

$\theta_{kon}$  koncová teplota [°C]

$\theta_{poč}$  počáteční teplota [°C]

Aby chladicí látka změnila své skupenství, musí přijmout skupenské teplo  $m_{vv}$ . Tím se odvede další část tepla, které konstrukce přijímá. Hodnota měrného skupenského tepla pro změnu skupenství vody na páru je při 100 °C a normálním tlaku  $m_{vv} = 2\,260$  kJ/kg.

$$Q = m_{vv} * m \quad [J] \quad (3.2.4)$$

kde

$Q$  je teplo odvedené odparem [J]

$m_{vv}$  měrné skupenské teplo [J/kg]

$m$  hmotnost [kg]

Množství absorbovaného tepla konstrukcí lze zjistit rovnicí energetické rovnováhy:

$$Q_c = Q_{sal} + Q_{odv} + Q_k + Q_{ohr} \quad [J/min] \quad (3.2.5)$$

kde

$Q_c$  je celkové uvolněné teplo [J/min]

$Q_{sa}$  množství tepla vysálaného vně hořícího objektu [J/min]

$Q_{odv}$  množství tepla odvedeného zplodinami hoření [J/min]

$Q_k$  množství tepla přestoupené do stavebních konstrukcí [J/min]

$Q_{ohr}$  množství tepla, které je potřebné k ohřátí prostoru a hořlavého materiálu [J/min]

Teplu do konstrukce přestupuje konvekcí (prouděním) a radiací (sáláním). Hodnotu tepla absorbovaného konstrukcí lze vypočítat podle:

$$Q_k = Q_c + Q_r \quad [\text{J}/\text{min}] \quad (3.2.6)$$

$$Q_c = S_k * \alpha(\theta_g - \theta_k) \quad [\text{J}/\text{min}] \quad (3.2.7)$$

$$Q_r = \Phi * \varepsilon_m * \varepsilon_f * \sigma \left[ (\theta_g + 273)^4 - (\theta_k + 273)^4 \right] * S_k \quad [\text{J}/\text{min}] \quad (3.2.8)$$

kde

- $Q_k$  je množství tepla přestoupené do stavebních konstrukcí [J/min]
- $Q_c$  množství tepla přestoupené do stavebních konstrukcí prouděním [J/min]
- $Q_r$  množství tepla přestoupené do stavebních konstrukcí sáláním [J/min]
- $S_k$  povrchová plocha konstrukce [m<sup>2</sup>]
- $\alpha$  součinitel přestupu tepla [W/m<sup>2</sup> K]
- $\theta_g$  teplota plynu v prostoru [°C]
- $\theta_k$  povrchová teplota konstrukce [°C]
- $\Phi$  polohový faktor
- $\varepsilon_m$  povrchová emisivita prvku
- $\varepsilon_f$  emisivita požáru
- $\sigma$  Stephan-Boltzmanova konstanta –  $\sigma = 5,67 * 10^{-8}$  [W/m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>]



Teplu, které konstrukce přijme, musí být menší nebo rovno teplu, které chladicí kapalina z konstrukce odebere, rovní se stanoví hodnota tepelné energie odebrané vodou a kolik tepla může konstrukce akumulovat při zachování její požární odolnosti.

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad [\text{J}/\text{min}] \quad (3.2.9)$$

kde

$Q_0$  je množství tepla potřebné odvést z konstrukcí [J/min]

$Q_1$  množství tepla potřebné k ohřátí vody na teplotu varu [J/min]

$Q_2$  množství tepla spotřebovaného ke změně skupenství [J/min]

$Q_3$  množství tepla které může konstrukce pojmout, než dosáhne určité teploty (např. teploty mezních stavů) [J/min]

Aby se voda dostala k bodu varu, je třeba dodat množství tepla .

$$Q_1 = c_v * m(\theta_{var} - \theta_1) \quad [\text{J}] \quad (3.2.10)$$

kde

$c_v$  je měrná tepelná kapacita vody [J/kg]

$m$  hmotnost [kg]

$\theta_{var}$  teplota varu [°C]

$\theta_1$  teplota dodávané vody [°C]

Energie, která je potřebná ke změně vody ze skupenství kapalného na skupenství plynné, k převedení vody na páru se stanoví jako:

$$Q_2 = L_v = l_v * m \quad [\text{J}] \quad (3.2.11)$$

kde

$m$  je hmotnost [kg]

$L_v$  měrné skupenské teplo varu vody [J]

$l_v$  měrné skupenské teplo varu [J/kg]

Aby nedošlo k deformacím ocelových konstrukcí, které nastanou při zvýšených teplotách, musí se teplota konstrukce udržet pod její kritickou teplotou.

$$Q_1 = c_k * m(\theta_{mez} - \theta_0) \quad [J] \quad (3.2.12)$$

kde

$m$  je hmotnost [kg]

$c_k$  měrná tepelná kapacita konstrukce [J]

$\theta_{mez}$  mezní teplota konstrukce [°C]

$\theta_0$  počáteční teplota konstrukce [°C]

Změny teplot ocelových konstrukcí ovlivňují její materiálové charakteristiky – hustota, měrné teplo a tepelná vodivost. Hustota oceli se uvažuje  $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$ . Měrné teplo oceli se uvažuje  $c_a = 600 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ , a to nezávisle na teplotě oceli i když s teplotou vzrůstá. Tepelná vodivost se uvažuje  $\lambda = 40 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Mechanické vlastnosti – modul pružnosti, mez kluzu a mez úměrnosti jsou ovlivňovány teplotou. Pro zjednodušené výpočty se tyto mechanické vlastnosti při zvýšených teplotách popisují redukčními součiniteli stanovenými z hodnot určených při 20 °C [22].

$$k_{E,\theta} = \frac{E_{a,\theta}}{E_a} \quad (3.2.13)$$

$$k_{y,\theta} = \frac{f_{y,\theta}}{f_y} \quad (3.2.14)$$

$$k_{p,\theta} = \frac{f_{p,\theta}}{f_y} \quad (3.2.15)$$

kde

$k_{E,\theta}$  je redukční součinitel pro modul pružnosti [-]

$k_{y,\theta}$  redukční součinitel pro účinnou mez kluzu [-]

$k_{p,\theta}$  redukční součinitel pro mez úměrnosti [-]

Pro určení kritické teploty se při jednoduchém výpočtu používá rezerva v zatížení vyjádřená součinitelem stupně využití, který je při plném využití průřezu roven redukci účinné meze kluzu. Návrhová hodnota zatížení při účincích požáru se stanoví redukčním součinitelem daným poměrem charakteristických zatížení konstrukce, který lze pro zjednodušení výpočtů pro ocelové konstrukce uvažovat  $\eta_{fi} = 0,65$ . Z následujících vztahů pak lze určit redukční součinitel meze kluzu a následovně odvodit kritickou teplotu konstrukce [22].

$$\mu_0 = k_{y,\theta} = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}} \quad (3.2.16)$$

$$k_{y,\theta} * R_{fi,d,0} = \eta_{fi} * E_{fi,d} \quad (3.2.17)$$

kde

$\mu_0$  je stupeň využití [-]

$k_{y,\theta}$  redukční součinitel pro mez kluzu [-]

$\eta_{fi}$  redukční součinitel zatížení [-]

$E_{fi,d}$  návrhová hodnota účinků zatížení za požáru

$R_{fi,d,0}$  návrhová hodnota únosnosti prvku za požáru v čase nula

### 3.3 Dodání vody

Množství vody, které lze použít pro výpočet zvyšování požární odolnosti konstrukcí se stanoví experimentálním měřením. Musí se brát v úvahu rozmístění sprinklerových hlavíc kolem konstrukce, tlak dodávky vody, typ sprinklerových hlavíc a mnoho dalších aspektů. V rámci zkoušky se stanovuje množství vody stékající po konstrukci, která je svedena žlabem umístěným pod konstrukcí do záchytné nádoby a poté je posbíraná voda zvážena [20].

## 4 Modelování požárů

Modely požáru rozdělujeme na modely fyzikální a na modely matematické. Fyzikální modely jsou experimenty, které napodobují reálné chování požáru. Matematické modely se rozdělují na pravděpodobnostní a deterministické. Deterministické modely popisují požár jako fyzikální a chemický děj. Dělí se na zónové a CFD modely. Tyto modely jsou založeny na podobných principech výpočtu – rozdělují se na výpočetní oblasti (kontrolní objemy) [23].

### 4.1 Zónové modely

Prostor při požáru lze rozdělit do dvou zón – vrstev. Principem zónových modelů je numerické řešení rozvoje teploty plynů v čase integrací obyčejných diferenciálních rovnic, které vyjadřují zachování hmoty v každé vrstvě požárního úseku [24]. Dvouzónový model lze předpokládat při lokalizovaném požáru a před celkovým vzplanutím – předpoklad dvou teplotních vrstev. Teplotní vrstvy se dělí na spodní studenou a horní horkou vrstvu. Horní vrstva se postupně zahřívá proudem zplodin od požáru. Po celkovém vzplanutí nastává model jednozónový a je založen na předpokladu jedné teploty v celém prostoru [23], [24].

### 4.2 CFD modely

CFD modely jsou založeny na algoritmech proudění tekutin v prostoru. Výpočtová oblast pro CFD modely je rozdělena do trojrozměrných kontrolních oblastí, které vytvářejí výpočetní síť. V každé buňce jsou pak řešeny stavové rovnice, rovnice zachování energie, hmoty, chemických látek a zachování hybnosti. U výpočtu záleží na hrubosti výpočetní sítě a na množství buněk, kterých mohou být i miliony. Modely pak jsou více či méně náročné a mají i stejné požadavky na hardware a dobu trvání výpočtu. CFD programy jsou schopny simulovat účinky požáru, pohyb kouře v prostoru, šíření plamene, skrápěcí systémy a další [23].

Program FDS Fire Dynamic Simulator, který je používán v této práci, je založen na pohybu tekutin nízkých rychlostí pomocí Navier-Stoklesových rovnic. Je navržený především pro řešení pohybu kouře a tepla. Zadání do programu se řeší pomocí vstupního textového souboru ve zdrojovém kódu [23].

## 5 Cíle práce

Práce ověří účinnost sprinklerového zařízení pro zajištění požární odolnosti ocelových konstrukcí. Bude představena a shrnuta problematika hašení pomocí stabilních hasících zařízení, především sprinklerů a popsány účinky vody na chlazení konstrukcí. Připraví se analytický model chlazení příhradového nosníku, který dokáže schopnost sprinklerového zařízení chladit ocelový příhradový nosník a zajistí jeho požární odolnosti. Vytvořením modelu v programu FDS se ověří schopnost chlazení ocelové konstrukce sprinklery pomocí pokročilého numerického modelu. Studie citlivosti ukáže, jak parametry sprinklerů ovlivňují chlazení konstrukce.

## 6 Analytický model chlazení ocelového nosníku

### 6.1 Popis prostoru a posuzované konstrukce

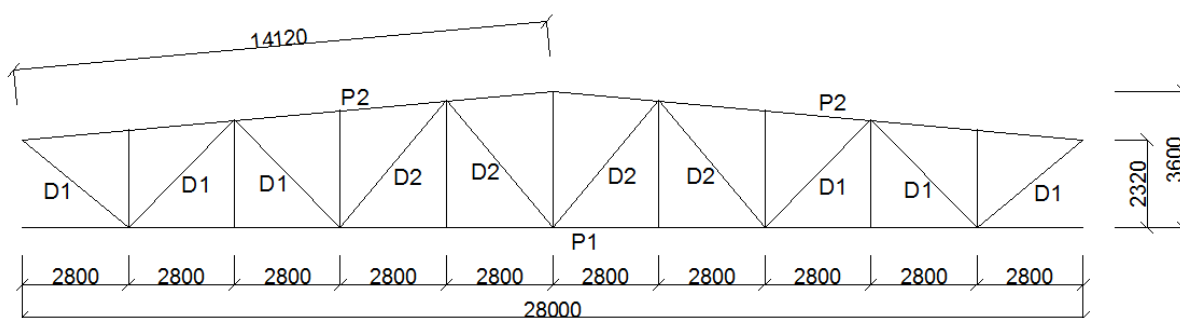
#### 6.1.1 Prostor

Pro příklad výpočtu požární odolnosti ocelového příhradového nosníku byla navržena fiktivní skladovací hala pro skladování PE lahví. Hala má rozměry 28 m x 72 m a celková plocha skladu je 2016 m<sup>2</sup>. Jedná se o regálové skladování, s maximální skladovací výškou 5 m. Hala je v V. SPB a požární zatížení je 620,34 kg/m<sup>2</sup> viz příloha 1. Střešní konstrukce haly je tvořena ocelovým příhradovým nosníkem, který je podepřen ocelovými sloupy. Osově vzdálenosti jednotlivých příhradových nosníků jsou 9 m.

Požární výška je 0 m, konstrukční výška je 9,84 m. Stěny a střešní plášť tvoří sendvičové panely s minerální vatou.

#### 6.1.2 Konstrukce

Příhradový nosník má rozpětí 28 m. Konstrukce nosníku je tvořena z čtvercových a obdélníkových uzavřených průřezů válcovaných za tepla z oceli třídy S355. Geometrie nosníku je na obr. 10. V tab. 3 jsou navržené profily příhradového nosníku.



Obrázek 10: Geometrie příhradového nosníku

Tabulka 3: Navržené průměry příhradového nosníku

| Označení prutu | Průměr         |
|----------------|----------------|
| P1             | TR 100x100x8,0 |
| P2             | TR 100x100x8,0 |
| D1             | TR 100x50x5,0  |
| D2             | TR 80x40x5,0   |

## 6.2 Průběh požáru

### 6.2.1 Software

Průběh požáru v požárním úseku a vývoj teplot v ocelové konstrukci byl vypočítán pomocí programu Ozone (verze 2.2, vydáno společností ArcelorMittal), který počítá vývoj teploty plynů při požáru a dokáže vyhodnotit požární odolnost jednoduchých ocelových prvků. Výpočet je založen na jedno nebo dvou zónovém modelu [25].

### 6.2.2 Okrajové podmínky

Pro výpočet průběhu požáru museli být do programu zadány geometrické parametry haly, materiály stěn a střechy.

- Rozměry prostoru jsou 28 m x 72m
- $S = 2016 \text{ m}^2$

Dále byly zadány charakteristiky požáru

- Rychlost rozvoje požáru – rychlá
- Nebezpečí vzniku požáru – střední
- Maximální rychlost uvolňování tepla

$$RHR_{max} = 4 \text{ 320 kW/m} - \text{plastové lahve do výšky 4,6 m}$$

- Charakteristické požární zatížení

$$H_u = 44,44 \text{ MJ/kg}$$

- Hustota požárního zatížení

Množství hořlavého materiálu v požárním úseku

$$M_k = p_n * S = 620,34 * 2\,016 = 1\,250\,605,44 \text{ kg}$$

Chráněné požární zatížení

$$\Psi = 1,0$$

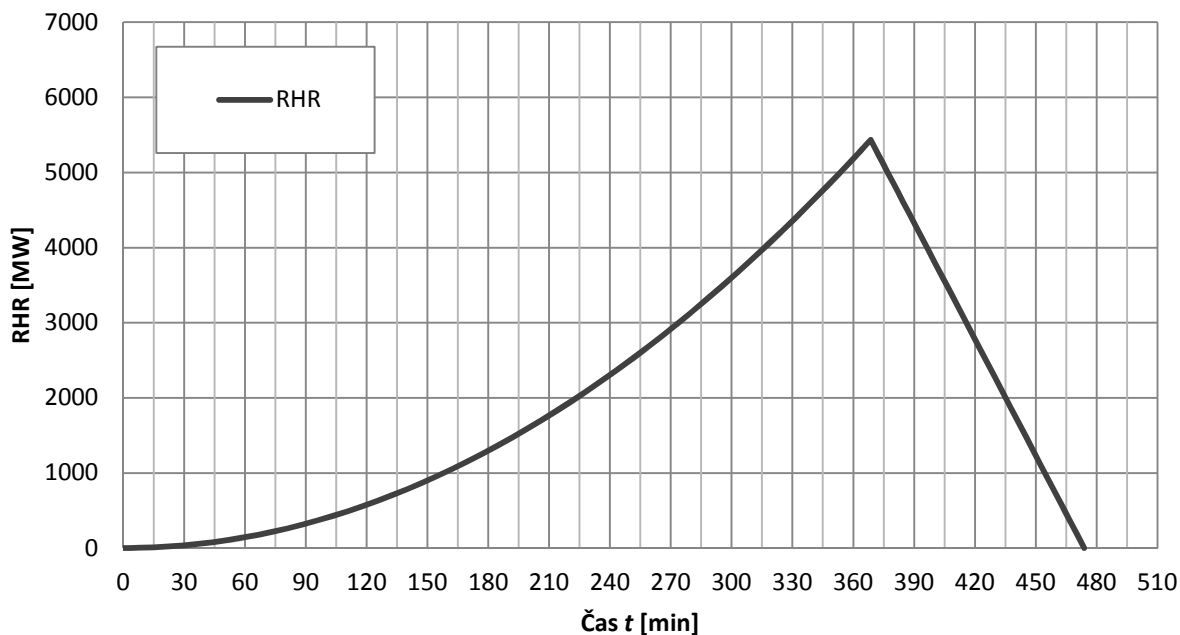
$$Q_{f,k} = M_k * H_u * \Psi = 1\,250\,605,44 * 44,44 * 1,0 = 55\,576\,905,75 \text{ MJ}$$

$$q_{f,k} = \frac{Q_{f,k}}{A_{fi}} = \frac{55\,576\,905,75}{2016} = 27\,568 \text{ MJ/m}^2$$

### 6.2.3 Rychlost uvolňování tepla

Rychlost uvolňování tepla (RHR) je popsána na Obrázek 11. Maximální uvolněné teplo je 5 435 MW. Podle grafu požár nedosáhne ustáleného hoření a v 369. min požár přechází do fáze chladnutí, která trvá 105 min, do 474. min od vzplanutí. Maximální plocha požáru je 150 m<sup>2</sup>, kterých požár dosáhne ve 42. min.

**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

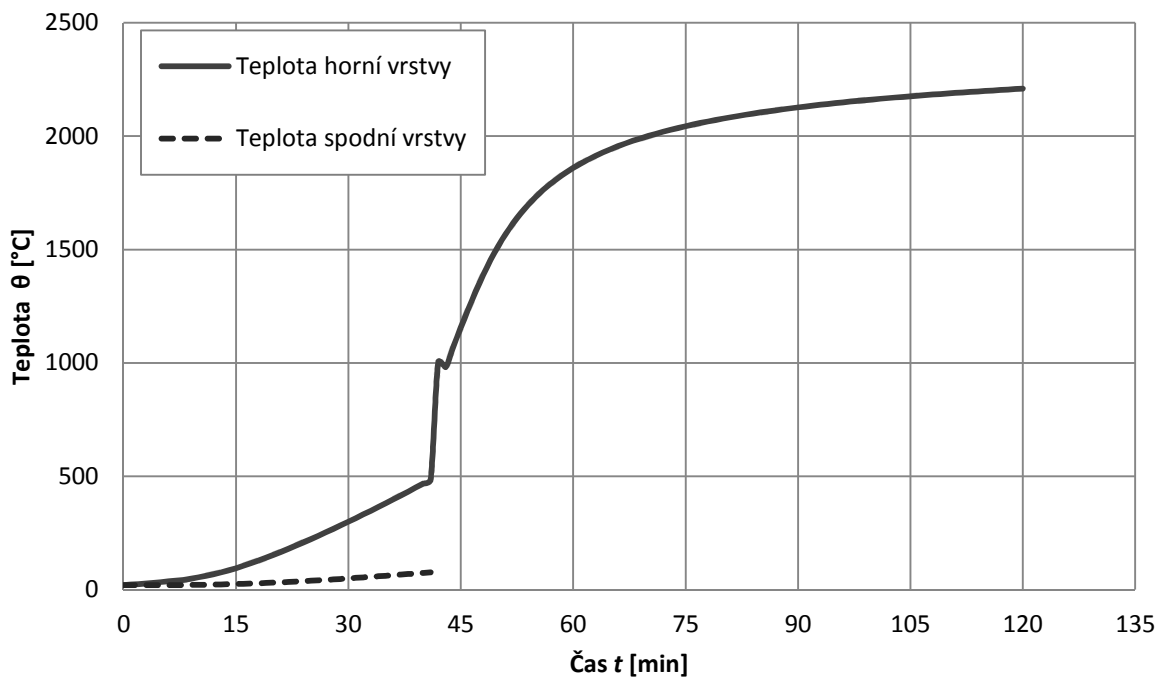


Obrázek 11: Průběh rychlosti uvolňování tepla v požárním úseku skladu



## 6.2.4 Teplota plynu

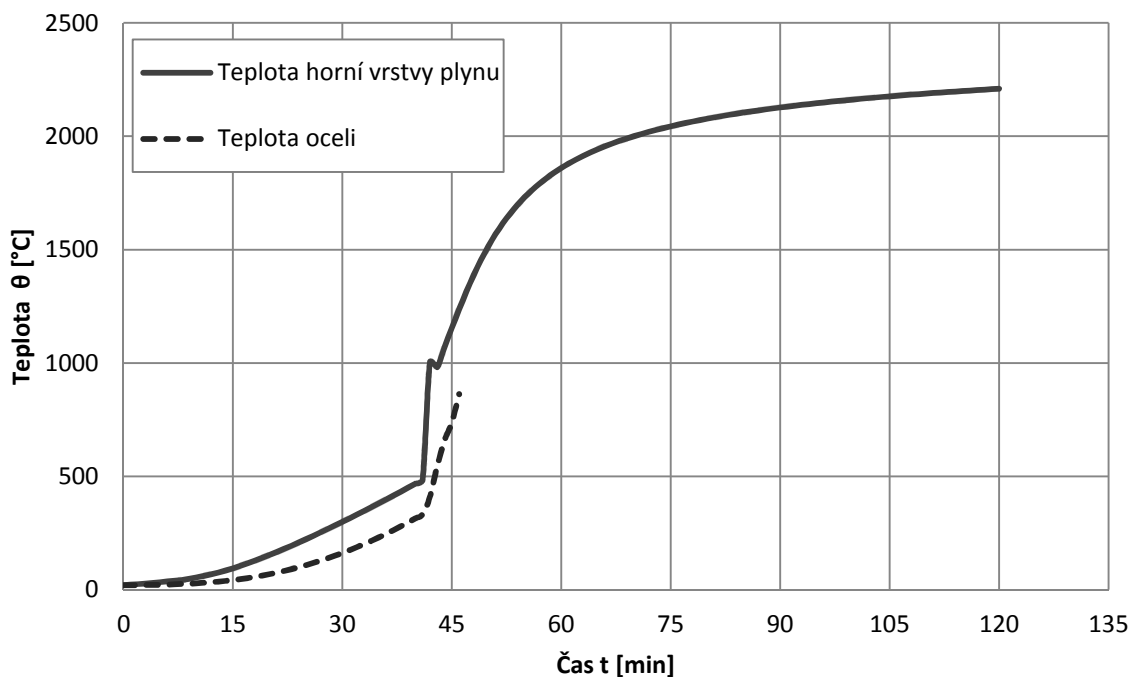
Průběh teploty plynu v požárním úseku je znázorněn na Obrázek 12. Jedná se o dvouzónový model. Na grafu je znázorněna teplota horní a spodní vrstvy. Ve 41. min požár přechází z dvouzónového na jednozónový. V tomto čase nastane flashover efekt a teplota ve 42. min je 1003 °C. Ve 120. min dosáhne teploty 2 209 °C.



Obrázek 12: Rozvoj teploty plynu v požárním úseku

## 6.3 Teplota ocelové konstrukce

Teplota konstrukce byla vypočtena pomocí programu Ozone. Průběh teploty je znázorněn na Obrázek 13. Ve 46. min prvek dosáhne teploty 862 °C.



Obrázek 13: Vývoj teploty ocelové konstrukce v závislosti na teplotě horní vrstvy plynu

### 6.3.1 Požární odolnost konstrukce

Vzhledem k V. SPB požárního úseku, kde se příhradový nosník nachází, má být požární odolnost konstrukce, která zajišťuje stabilitu objektu, R45.

Stanovení kritické teploty dolního pásu příhradového nosníku TR 100x100x8,0

$$A = 2,88 * 10^3 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 593,1 \text{ kN}$$

Návrhová odolnost taženého prvku  $N_{f_i, \theta, Rd}$  musí být větší nebo rovna než působící síla za běžné teploty v prvku  $N_{Ed}$  redukovaná součinitelem zatížení  $\eta_{f_i}$ , pro tento příklad byla použita jeho zjednodušená hodnota  $\eta_{f_i} = 0,65$ .

$$N_{Ed, f_i} = N_{Ed} * \eta_{f_i}$$

$$N_{Ed, f_i} = 593,1 * 0,65$$

$$N_{Ed, f_i} = 385,515 \text{ kN}$$

$$N_{f_i, \theta, Rd} \geq N_{Ed, f_i}$$

$$k_{y, \theta} * N_{Rd} \geq N_{Ed, f_i}$$

Stanovení redukčního součinitele pro mez kluzu  $k_{y, \theta, min}$  ke stanovení kritické teploty  $\theta_{a, max}$ .

$$k_{y, \theta, min} = \frac{N_{Ed, f_i}}{N_{Rd}} = \frac{N_{Ed, f_i}}{A * f_{yd}}$$

$$k_{y, \theta, min} = \frac{385,515}{2,88 * 10^{-3} * 355 * 10^3}$$

$$k_{y, \theta, min} = 0,377 \quad \rightarrow \quad \theta_{a, max} = 639 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### Stanovení kritické teploty dolního pásu příhradového nosníku TR 100x50x8,0

$$A = 1,37 * 10^3 \text{ mm}^2$$

$$N_{Ed, f_i} = N_{Ed} * \eta_{f_i}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed, f_i} = 248,34 * 0,65$$

$$N_{Ed} = 248,34 \text{ kN}$$

$$N_{Ed, f_i} = 161,42 \text{ kN}$$

$$N_{f_i, \theta, Rd} \geq N_{Ed, f_i}$$

$$k_{y, \theta} * N_{Rd} \geq N_{Ed, f_i}$$

$$k_{y, \theta, min} = \frac{N_{Ed, f_i}}{N_{Rd}} = \frac{N_{Ed, f_i}}{A * f_{yd}}$$

$$k_{y, \theta, min} = \frac{161,42}{1,37 * 10^{-3} * 355 * 10^3}$$

$$k_{y, \theta, min} = 0,331 \quad \rightarrow \quad \theta_{a, max} = 654 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Stanovení kritické teploty dolního pásu příhradového nosníku TR 80x40x5,0

$$A = 1,07 * 10^3 \text{ mm}^2$$

$$N_{Ed,fi} = N_{Ed} * \eta_{fi}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed,fi} = 29,75 * 0,65$$

$$N_{Ed} = 29,75 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,fi} = 19,34 \text{ kN}$$

$$N_{fi,\theta,Rd} \geq N_{Ed,fi}$$

$$k_{y,\theta} * N_{Rd} \geq N_{Ed,fi}$$

$$k_{y,\theta,min} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} = \frac{N_{Ed,fi}}{A * f_{yd}}$$

$$k_{y,\theta,min} = \frac{19,34}{1,07 * 10^{-3} * 355 * 10^3}$$

$$k_{y,\theta,min} = \mathbf{0,051} \quad \rightarrow \quad \theta_{a,max} = \mathbf{955} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nejnižší kritickou teplotu dosáhne dolní pás příhradového nosníku. Kritická teplota, kdy ztratí svou únosnost, je 639 °C, to je ve 44. min požáru. Pro splnění požadované požární odolnosti R45 je třeba udržet teplotu oceli na teplotě max 639°C, kdy nedochází ke ztrátě únosnosti konstrukce. Teplota konstrukce ve 45. min je 737 °C.

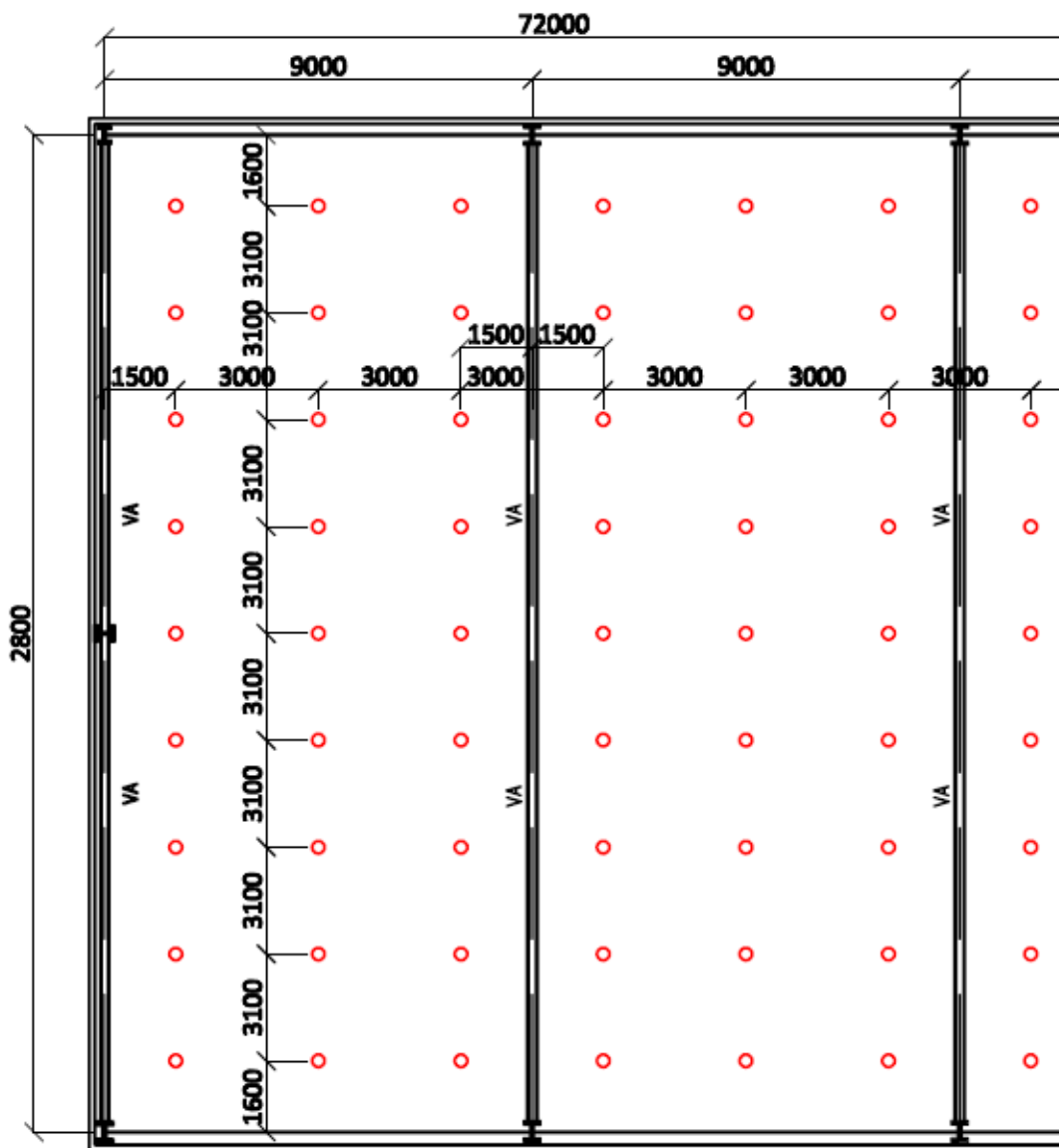
## 6.4 Návrh sprinklerových hlavic

Návrh sprinklerového zařízení do skladovací haly je podle ČSN EN 12845. Nejedná se o návrh úplný, ale pouze o navržení rozmístění sprinklerových hlavic a požadavky na ně.

Podle přílohy B této normy je určen materiálový součinitel číslo 3 (skladování nepěněných plastů) a kategorie skladování III a tedy požární úsek je zařazen do třídy velkého nebezpečí skladování HHS3. Způsob skladování je ST2, tedy regálové skladování a nejsou jiné požadavky na sprinklery než umístění sprinklerů pod stropem/střechem.

Návrhová intenzita dodávky vody je 17,5 mm/min, účinná plocha je 260 m<sup>2</sup>. Pro zařízení bez regálových sprinklerů má být tlak v nejvyšším návrhovém bodě, pokud je plocha chráněná jedním sprinklerem 6 m<sup>2</sup>,  $p_d = 1,25 \text{ bar}$ . K faktor je K115.

Umístění sprinklerových hlavice je pod střešní konstrukcí v max. vzdálenosti 0,45 m. Sprinklery mohou být vzdálené max. 3,7 m od sebe, od stěn mohou být vzdáleny 1,85 m a zároveň nesmějí být mezi sebou vzdáleny méně než 2 m a musejí být nainstalovány ve vzdálenosti 0,6 m od příhradového nosníku. Rozmístění sprinklerových hlavice je na Obrázek 14.



Obrázek 14: Rozmístění sprinklerových hlavice ve skladovací hale

## 6.5 Chlazení konstrukce

### 6.5.1 Množství tepla přestoupeného do konstrukce

Pro výpočet tepla, které konstrukce příhradového nosníku absorbuje od počátku tepelného namáhání, do 45. min požáru je vypočítána pomocí vztahů:

$$Q_c = S_k * \alpha (\theta_g - \theta_k)$$

$$Q_c = 36,5 * 25 * (1\,154,08 - 737,35) = 2\,990\,205\,W = 2,99\,MW$$

$$Q_c = 5\,224\,462\,W = 5,22\,MW$$

$$Q_r = \Phi * \varepsilon_m * \varepsilon_f * \sigma [(\theta_g + 273)^4 - (\theta_k + 273)^4] * S_k$$

$$Q_r = 1,0 * 0,7 * 0,8 * 5,67 * 10^{-8} * [(1\,154,08 - 273)^4 - (737,35 - 273)^4] * 36,5$$

$$Q_r = 18\,096\,763\,W = 18,09\,MW$$

$$Q_k = Q_c + Q_r$$

$$Q_k = 5,22 + 18,09$$

$$Q_k = 23,31\,MW$$

$$S_k = 28 * 0,1 * 4 + 2 * 14,2 * 0,1 * 4 + 2 * 3,64 * 0,3 + 4 * 3,98 * 0,3 + 4 * 4,36 * 0,24$$

$$S_k = 36,5\,m^2$$

Kde je

$$S_k \quad [m^2] \quad - \text{povrch konstrukce}$$

$$\alpha = 25\,W/m^2\,K \quad - \text{součinitel přestupu tepla}$$

$$\theta_g = 1154,08\,^\circ C \quad - \text{teplota plynu v prostoru}$$

$$\theta_k = 737\,^\circ C \quad - \text{povrchová teplota konstrukce}$$

$$\Phi = 1,0 \quad - \text{polohový faktor}$$

$$\varepsilon_m = 0,7 \quad - \text{povrchová emisivita prvku}$$

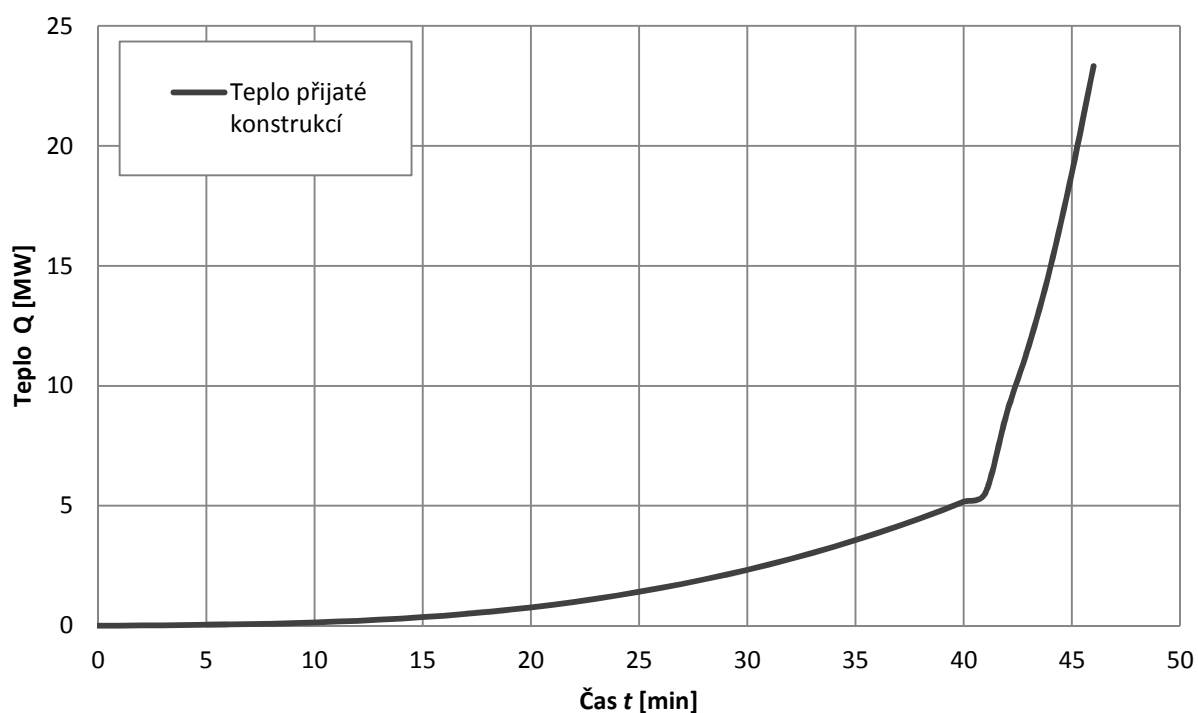
$$\varepsilon_f = 0,8 \quad - \text{emisivita požáru}$$

$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$  - Stephan – Boltzmanova konstanta

$Q_c$  [W] - množství tepla přestoupeného do konstrukce proděním

$Q_r$  [W] - množství tepla přestoupeného do konstrukce sáláním

Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je znázorněno, jak se stoupající teplotou prostoru stoupá teplota konstrukce. Do 45. min požáru konstrukce přijme 23,31 MW, kdy je teplota konstrukce 737 °C a teplota plynu je 1 154 °C. Teplota konstrukce však nesmí překročit 639 °C, což je mezní hodnota, kdy si konstrukce zachovává svoji únosnost.



Obrázek 15: Teplo absorbované konstrukcí

### 6.5.2 Minimální nutná dodávka vody

Hmotnost vody, které je nutné dodat konstrukci, aby nepřesáhla určenou teplotu, lze odvodit ze vztahů:

$$Q_{odvedé} = Q_1 + Q_2 \quad [W]$$

$$Q_1 = c_v * m(\theta_{var} - \theta_1) \quad [W]$$

$$Q_2 = L_v = l_v * m \quad [W]$$

Z toho vyplývá

$$m = \frac{Q_{odvedené}}{c_v * (\theta_{var} - \theta_1) + l_v} \quad [kg]$$

V rámci bezpečnosti bylo uvažováno, že teplota konstrukce nepřekročí 500 °C. Je třeba určit kolik tepla je nutné odvést z konstrukce od doby 42 min, kdy přesáhne teplotu 500 °C, do doby 45 min.

$$Q_c = S_k * \alpha(\theta_g - \theta_k)$$

$$Q_c = 36,5 * 25 * (737 - 500)$$

$$Q_c = 216\,262 \text{ W}$$

$$Q_r = \Phi * \varepsilon_m * \varepsilon_f * \sigma [(\theta_g + 273)^4 - (\theta_k + 273)^4] * S_k$$

$$Q_r = 1 * 0,7 * 0,8 * 5,67 * 10^{-8} * [(737 + 273)^4 - (500 + 273)^4] * 36,5$$

$$Q_r = 792\,214 \text{ W}$$

$$Q_{odvedené} = Q_c + Q_r$$

$$Q_{odvedené} = 216\,262 + 792\,214$$

$$Q_{odvedené} = 1\,008\,476 \text{ W}$$



$$m = \frac{Q_{odvedené}}{c_v * (\theta_{var} - \theta_1) + l_v}$$

$$m = \frac{1\ 00\ 476}{4\ 180 * (100 - 10) + 2\ 257}$$

$$m = 2,66\ kg/s$$

Kde je

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| $S_k = 36,5\ m^2$                     | - povrch konstrukce                                   |
| $\alpha = 25\ W/m^2\ K$               | - součinitel přestupu tepla                           |
| $\theta_g = 1154\ ^\circ C$           | - teplota plynu v prostoru                            |
| $\theta_k = 737\ ^\circ C$            | - povrchová teplota konstrukce                        |
| $\Phi = 1,0$                          | - polohový faktor                                     |
| $\varepsilon_m = 0,7$                 | - povrchová emisivita prvku                           |
| $\varepsilon_f = 0,8$                 | - emisivita požáru                                    |
| $\sigma = 5,67 * 10^{-8}\ W/m^2\ K^4$ | - Stephan – Boltzmanova konstanta                     |
| $c_v = 4180\ kJ/kg$                   | - měrná tepelná kapacita vody                         |
| $\theta_{var} = 100\ ^\circ C$        | - teplota varu vody                                   |
| $\theta_1 = 10\ ^\circ C$             | - teplota dodávané vody                               |
| $l_v = 2257\ kJ/kg$                   | - měrné skupenské teplo varu vody                     |
| $Q_c$ [W]                             | - množství tepla přestoupeného do konstrukce proděním |
| $Q_r$ [W]                             | - množství tepla přestoupeného do konstrukce sáláním  |
| $Q_{odvedené}$ [W]                    | - teplo potřebné odvést z konstrukce                  |
| $m$ [kg]                              | - hmotnost vody                                       |

Aby bylo dosaženo požadované teploty, je nutno dodat konstrukci 2,66 kg vody za 1 sekundu. Je – li potřeba dodávat vodu 4 min (42. min až 45. min) musí se voda dodávat 240 s. Aby teplota konstrukce zůstala požadovaných 500 °C, musí být na konstrukci celkem dodáno 638,4 kg vody.

### 6.5.3 Teplo odvedené z konstrukce

Množství vody, která je dodávána na příhradový nosník byla převzata z měření na konstrukci příhradového nosníku dlouhém 6 m. Byl skrápěn po dobu 5 minut a bylo naměřeno 38,863 kg vody. Zkušební tlak v tomto případě byl 2 bar [20]. Vzhledem k délce příhradového nosníku 6 m bylo na 1 m nosníku dodáno 6,5 kg vody za 5 min, za 1 min tedy 1,3 kg vody.

Aktivační teplota sprinklerů by navržena na 79 °C. Sprinklerové zařízení se tedy spustí ve 14 min od vzniku požáru, kdy je teplota konstrukce 39 °C. Je – li uvažována rezerva spuštění sprinklerů 5 min, tedy v 19 min požáru, je teplota konstrukce 62 °C. 100 °C konstrukce dosáhne v 24. min. Teplo, které je schopna voda odvést do 45. min z konstrukce je vypočtena podle vztahů:

$$Q_1 = c_v * m/t * (\theta_{konstrukce\ nebo\ varu} - \theta_1) \quad [W]$$

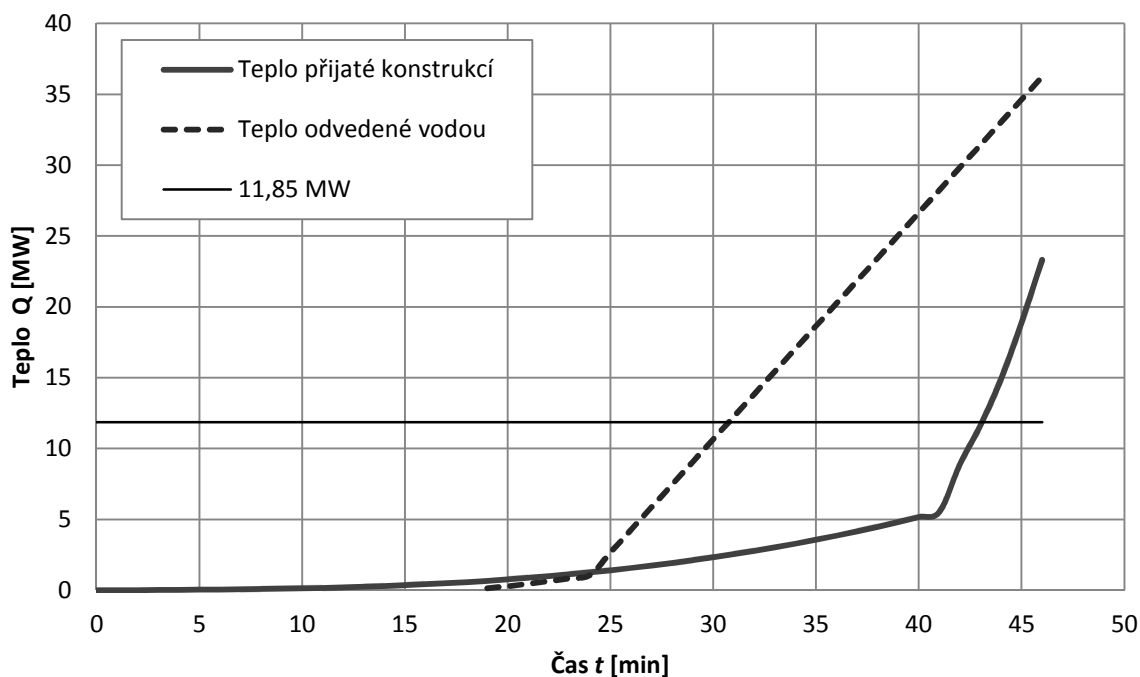
$$Q_2 = L_v = l_v * m/t \quad [W]$$

$$Q_{odvedé} = Q_1 + Q_2 \quad [W]$$

Kde je

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| $c_v = 4180 \text{ kJ/kg}$         | - měrná tepelná kapacita vody                   |
| $\theta_{varu} = 100 \text{ °C}$   | - teplota varu vody                             |
| $\theta_{konstrukce} \text{ [°C]}$ | - teplota konstrukce před dosažením 100 °C      |
| $\theta_1 = 10 \text{ °C}$         | - teplota dodávané vody                         |
| $l_v = 2257 \text{ kJ/kg}$         | - měrné skupenské teplo varu vody               |
| $t = 60 \text{ s}$                 | - čas (1,3 l vody dodaného za 1 min)            |
| $Q_1 \quad [W]$                    | - množství tepla odebraného ohřevem             |
| $Q_2 \quad [W]$                    | - množství tepla odebraného přeměnou skupenství |
| $Q_{odvedené} \text{ [W]}$         | - teplo potřebné odvést z konstrukce            |
| $m \quad [kg]$                     | - hmotnost vody                                 |

Do 24 min, kdy je teplota konstrukce pod  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tedy bodem varu vody, tepelná energie odebíraná vodou se vypočítá pouze rovnicí pro ohřev vody. Rovnice pro odebrání energie potřebné ke změně skupenství vstupuje do výpočtu až při teplotě konstrukce  $100^{\circ}\text{C}$  a více. Tepelnou energii převzatou vodou z konstrukce popisuje Obrázek 16.



Obrázek 16: Rozdíl tepla absorbovaného konstrukcí a tepla odebraného vodou

Z grafu na Obrázek 16 lze vyčíst, že teplo odvedené vodou je vyšší než teplo konstrukcí přijaté. Teplo přijaté konstrukcí je 23,31 MW a teplo, které je voda schopna za čas 45 min z konstrukce odebrat je 32,3 MW. Ve 24. min, kdy voda začne měnit své skupenství, voda pojme více energie než je schopna konstrukce akumulovat. V této chvíli teplota konstrukce přestane stoupat a začne klesat. Při teplotě  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , která je dosažena ve 43. min, je teplo přijaté konstrukcí 11,85 MW. Voda je schopna do tohoto času odebrat 30,9 MW. Splnění podmínky, že teplo odvedené z konstrukce je větší, než teplo přijaté konstrukcí je tedy splněna.

## 7 Numerický model chlazení ocelového nosníku

### 7.1 Software

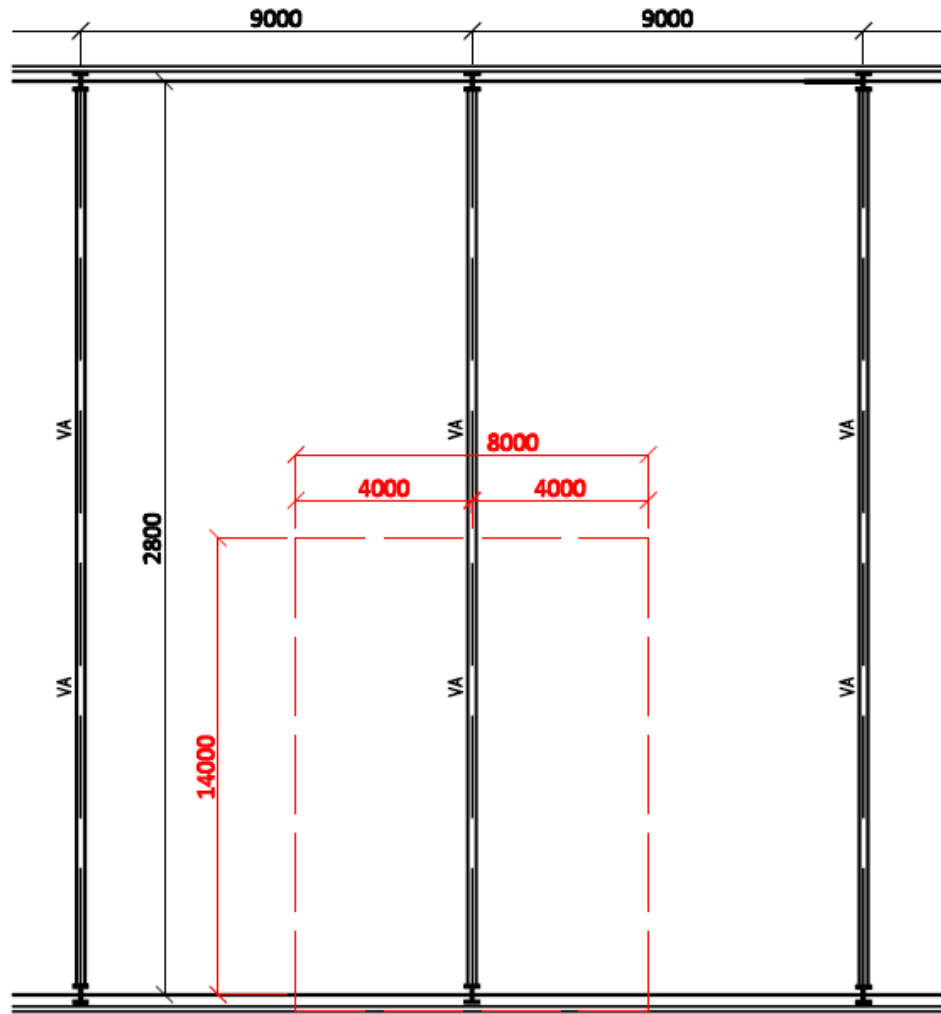
Chlazení příhradového nosníku pomocí sprinklerů bylo simulováno CFD modelem. V modelu byla zkoumána účinnost chlazení vodou dopadající na konstrukci.

Pro CFD model byl použit výpočetní program FDS Fire Dynamic Simulator (verze 6.0.1). Pro modelaci prostoru a vytvoření zdrojového textového souboru byl využit program Pyrosim 2014.3, který byl použit i k tvorbě výstupů. Vizualizace a grafické výstupy byly vytvořeny programem Smokewiew.

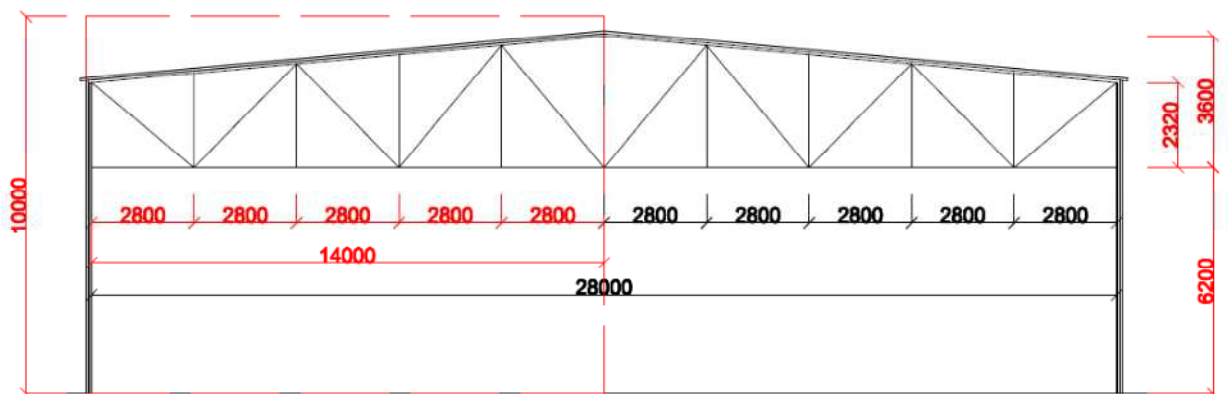
Program FDS je založen na principu dynamického proudění tekutin (CFD programy) – kouř, plynné zplodiny hoření, které se pohybují díky tepelným účinkům požáru. Pro tuto práci byla využita schopnost programu teploty v prostoru, transport tepla prouděním a sáláním a schopnost modelace sprinklerového skrápění [23].

### 7.2 Popis modelu

Modelování v programu FDS je zjednodušené z důvodu velké náročnosti programu na výpočet, čas a výpočetní techniku. Model průmyslové haly, popisuje část požárního úseku. Jedná se o část haly okolo příhradového nosníku umístěného ve vnitřním poli haly, na obr. 12 a obr. 13 je vyznačená červeně. Půdorysná plocha modelovaného prostoru je 14 m x 8 m, výška objektu je 9,8 m.



Obrázek 17: Půdorys části haly modelovaný programem FDS

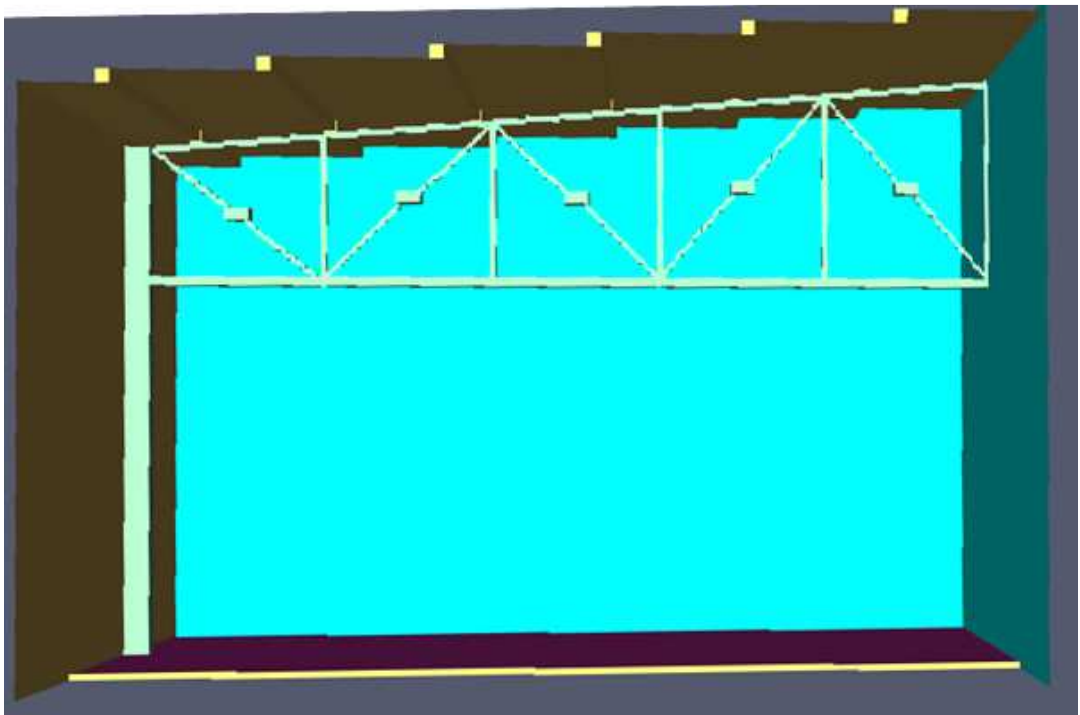


Obrázek 18: Řez halou modelovanou programem FDS

### 7.2.1 Požární scénář

Jedná se o simulaci požáru ve skladové hale, ve které se skladují polyethylenové lahve na paletách. Bližší popis účelu a konstrukce haly je v příloze 1 a v kap. 5. Hlavním cílem je zjištění vývoje teplot konstrukce příhradového nosníku. V modelu byly použity dva požární scénáře:

- Vývoj teplot bez použití sprinklerového zařízení
- Vývoj teplot s použitím sprinklerového zařízení



Obrázek 19: Modelový prostor

## 7.2.2 Okrajové podmínky

Počáteční teplota: 20 °C

Modelový prostor: Podlaha – inertní

Strop – inertní

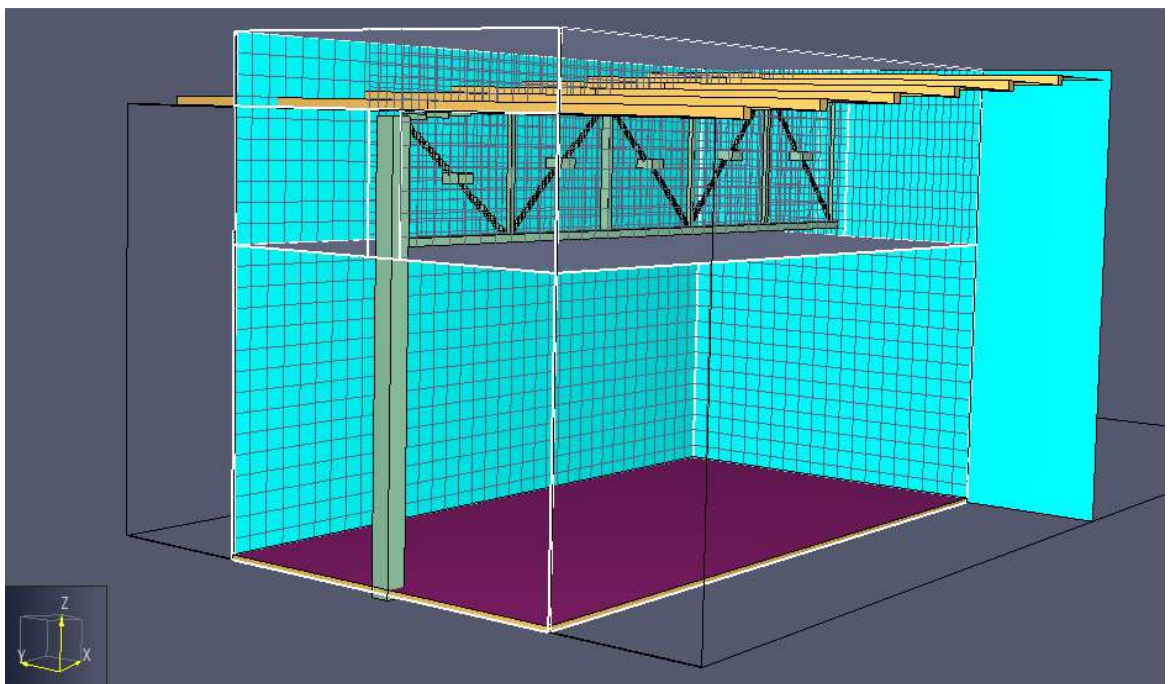
Levá stěna – inertní

Pravá stěna – zrcadlo (osová souměrnost)

Zadní a přední stěna – otevřený prostor (nahrazuje velký prostor haly) a umožňuje přívod vzduchu

Příhradový nosník a sloup: ocel

Velikost buněk výpočetní sítě je 40 mm, pouze okolo příhradového nosníku je velikost buněk 10 mm, viz obr. 15.

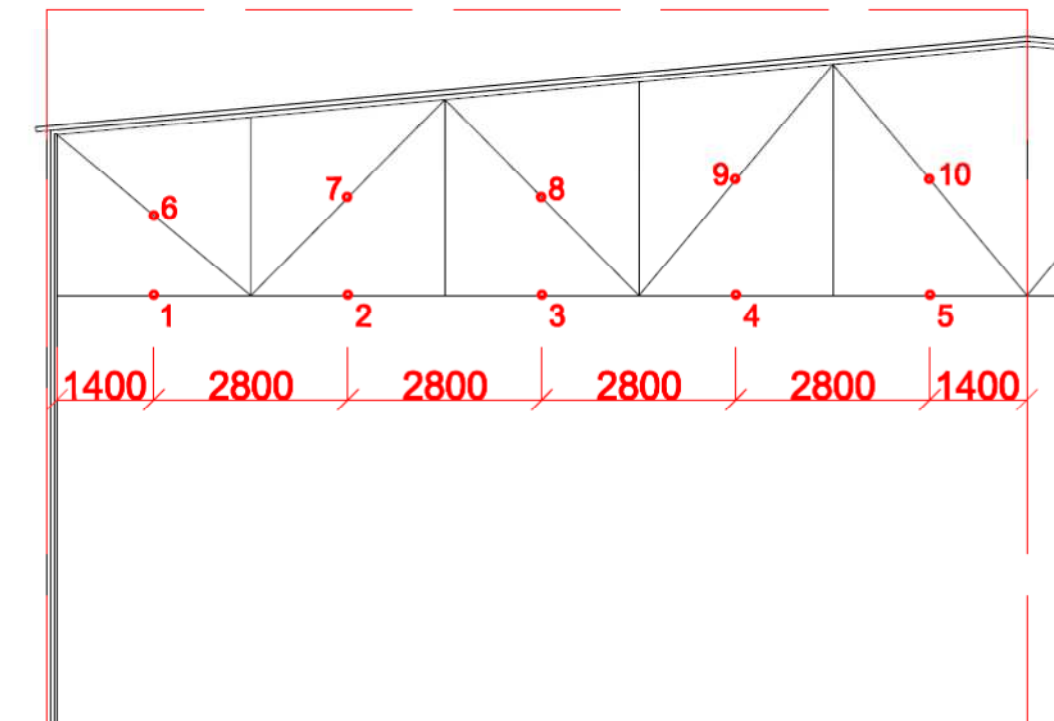


Obrázek 20: Výpočetní síť pokrývající modelovaný prostor

### 7.2.3 Teplota konstrukce

V modelovém prostoru je umístěno 10 měřících bodů na ocelové konstrukci. Jsou vzdáleny 2,8 m od sebe na ose příhradového nosníku. Měřena je teplota na spodní hraně ocelového uzavřeného průřezu. Na Obrázek 21 je zobrazeno umístění měřících bodů. Na spodní pásnici příhradového nosníku je 5 měřících bodů dalších 5 je uprostřed každé diagonály.

Při měření povrchové teploty ocelové konstrukce byla použita funkce „WALL TEMPERATURE“. Musejí být vždy na povrchu konstrukce. Pro funkci je třeba určit směrovou orientaci bodu, které musejí být orientovány směrem do konstrukce [23].



Obrázek 21: Rozmístění měřících bodů v modelovaném prostoru



### 7.2.4 Sprinklerové zařízení

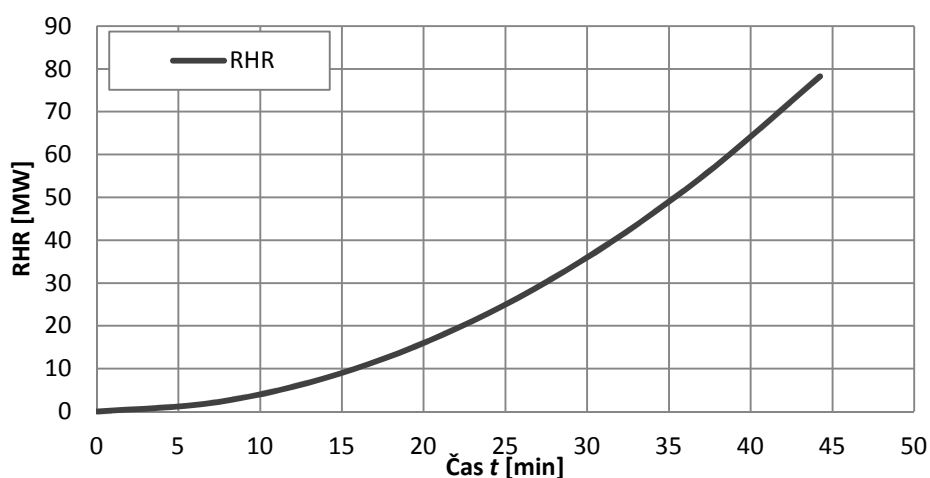
V modelovém prostoru byly použity klasické závěsné sprinklerové hlavice. Byly dodrženy požadavky na sprinklerovou ochranu dle ČSN EN 12 845. Návrh sprinklerů pro tuto halu je v kap. 5. Umístění sprinklerů je 1,4 m od osy příhradového nosníku a jsou umístěny po obou stranách nosníku. Sprinklery byly v modelu definovány takto:

- Otevírací teplota      79 °C
- K faktor                    115
- Operační tlak            1,25
- Rychlost                    8,75
- Úhel vodního kužele 60° – 75°
- Velikost kapek            2 mm

### 7.2.5 Modelový požár

V numerickém modelu bylo požární zatížení definováno plochou sálající teplo, která je po celé podlahové ploše modelu. Rychlost uvolňování tepla byla zadána podle RHR vypočteného pomocí programu Ozone z předchozí kapitoly.

Délka výpočtu byla nastavena podle času požadované požární odolnosti konstrukce na 45 min. Maximální RHR je nadefinováno tedy hodnotou ve 45 min průběhu požáru což je 78,3 MW.



Obrázek 22: Průběh RHR pro modelový požár

Do výpočtu byl průběh požáru zadán výkonem požáru, který je vztažený na metr čtvereční plochy, pomocí zápisu  $HRRPUA$  [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ]. RHR tedy bylo přepočítáno:

$$HRRPUA = \frac{RHR}{S} = \frac{78300}{112} = 699 \text{ kW}/\text{m}^2$$

Kde je

RHR rychlost uvolňování tepla

S plocha oblasti sálavé plochy zadána v metrech čtverečních

Křivka je pak popsána v závislosti na čase  $T$  a poměru  $F$  k maximálnímu výkonu. Maximální hodnota poměru je  $F = 1$ . Nastavení průběhu uvolňování tepla je popsáno v Tabulka 1 Čas je zadáván v sekundách.

Tabulka 4: Nastavení průběhu uvolňování tepla modelového požáru

| Čas [s] | Poměr ku max. výkonu |
|---------|----------------------|
| 0       | 0,01                 |
| 420     | 0,02                 |
| 840     | 0,08                 |
| 1260    | 0,18                 |
| 1680    | 0,32                 |
| 2100    | 0,51                 |
| 2520    | 0,73                 |
| 2700    | 1,0                  |

### 7.3 Rozvoj teplot v konstrukci

Pro zjištění teplot v konstrukci příhradového nosníku při skrápění sprinklery byl nejprve namodelován numerický model bez skrápění sprinklery pro určení rozvoje tepla v konstrukci bez chlazení.

V Tabulka 5 jsou je vidět průběh teplot příhradového nosníku bez skrápění sprinklery. Maximální teplota ve 45. min je na spodní pásnici a je to 420 °C. Byla naměřena v měřícím bodě 2 umístěným 5,6 m od levé stěny modelové haly.

*Tabulka 5: Teploty příhradového nosníku bez chlazení*

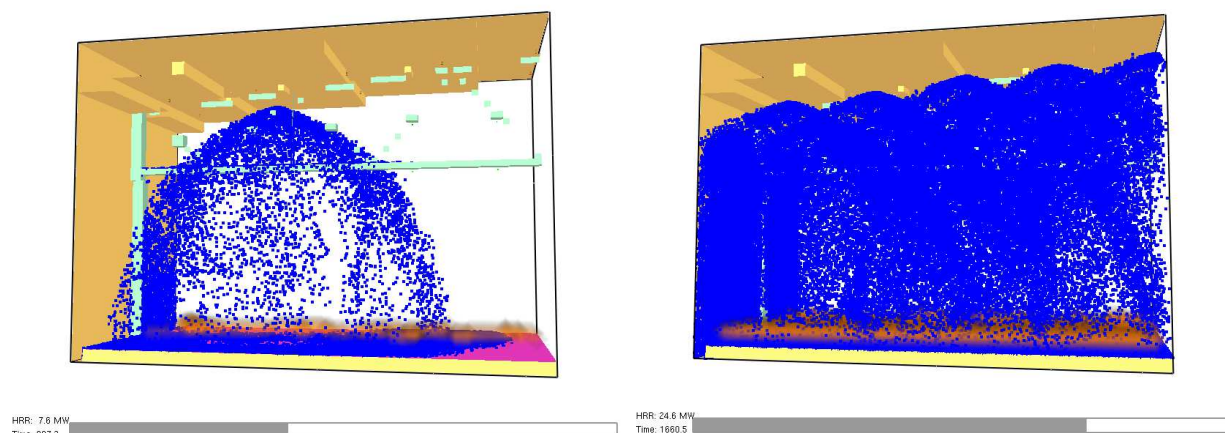
| Čas  | 10 min | 20 min | 30 min | 40 min | 45 min |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| WT1  | 38     | 79     | 171    | 228    | 480    |
| WT2  | 38     | 76     | 269    | 292    | 505    |
| WT3  | 33     | 74     | 175    | 312    | 457    |
| WT4  | 41     | 86     | 167    | 278    | 475    |
| WT5  | 32     | 92     | 136    | 226    | 438    |
| WT6  | 37     | 70     | 128    | 234    | 418    |
| WT7  | 32     | 75     | 196    | 273    | 493    |
| WT8  | 36     | 79     | 131    | 221    | 405    |
| WT9  | 29     | 82     | 125    | 248    | 456    |
| WT10 | 32     | 73     | 132    | 218    | 421    |

Ve druhém požárním scénáři byl zjišťován vývoj teplot příhradového nosníku při skrápění sprinkery. První sprinklerová hlavice se otevře v 901. s a je to hlavice umístěná u stěny haly. Teplota vody dodávané ze sprinklerů je 20 °C. V Tabulka 6 je vidět průběh teplot oceli příhradového nosníku chlazeného pomocí skrápění sprinklerů.

Tabulka 6: Teploty oceli příhradového nosníku chlazeném vodou

| Čas  | 10 min | 20 min | 30 min | 40 min | 45 min |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| WT1  | 39     | 37     | 63     | 93     | 104    |
| WT2  | 38     | 35     | 80     | 140    | 188    |
| WT3  | 37     | 38     | 87     | 119    | 132    |
| WT4  | 34     | 22     | 62     | 119    | 126    |
| WT5  | 33     | 36     | 60     | 87     | 122    |
| WT6  | 34     | 31     | 55     | 98     | 131    |
| WT7  | 31     | 42     | 88     | 113    | 168    |
| WT8  | 35     | 34     | 64     | 96     | 142    |
| WT9  | 30     | 36     | 76     | 82     | 138    |
| WT10 | 32     | 33     | 65     | 81     | 132    |

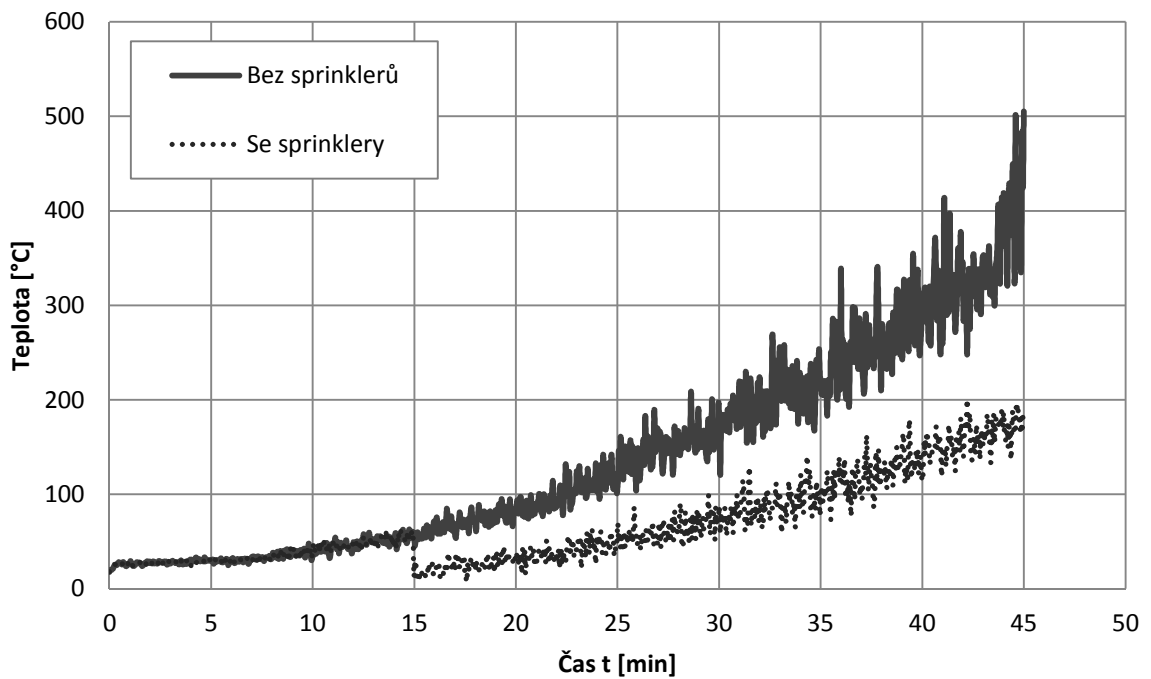
Na Obrázek 23 je vidět model prostoru, když se v 901. s otevře první sprinkler (vlevo) a model při skrápění všemi sprinklerovými hlavicemi. Všechny hlavice se otevřou v 1 017. s.



Obrázek 23: Otevření prvního sprinkleru (vlevo) a otevření všech sprinklerových hlavíc (vpravo)

V grafu na Obrázek 24 je vidět vývoj teplot v druhém měřícím bodě v požárním scénáři bez použití sprinklerů a požárním scénáři se sprinklery. Na grafu je zřetelně vidět, jak při otevření sprinklerových hlavice teplota konstrukce klesne z 58 °C na 24 °C. Dodávání vody také výrazně snižuje rychlost rozvoje teploty v konstrukci.

Nejvyšší teplota konstrukce dosažená bez použití sprinklerů je ve 44 min a je to 505 °C. Nejvyšší teplota dosažení při skrápění sprinklery je 188 °C.



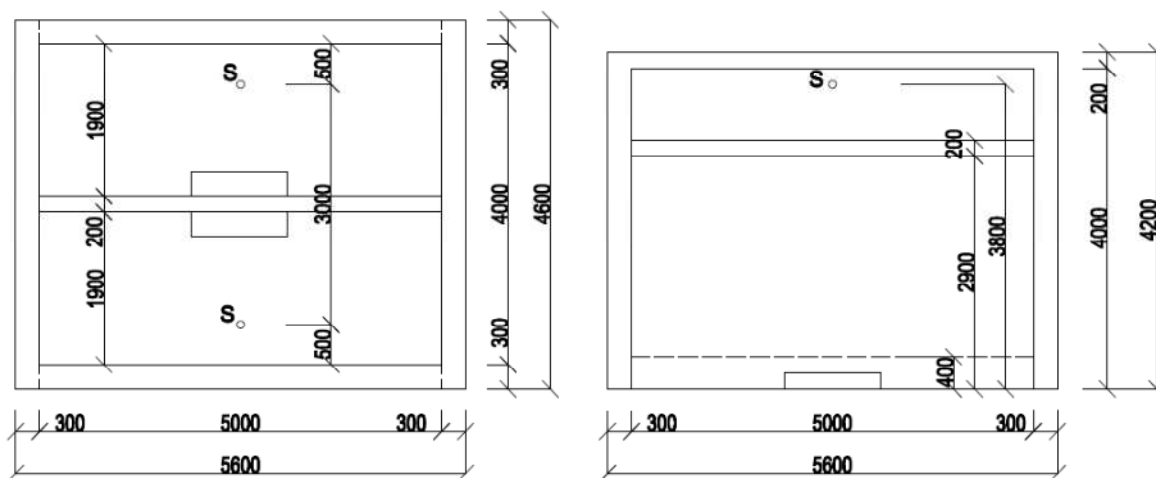
Obrázek 24: Srovnání teplot ocelového nosníku bez a se skrápěním sprinklery

## 8 Studie chlazení ocelové konstrukce pomocí CFD modelu

### 8.1 Popis modelu

Pokročilý numerický model je vytvořen v FDS programu. Účinnost chlazení konstrukce sprinklery lze ovlivnit parametry sprinkleru. Základními parametry sprinkleru jsou otevírací teplota hlavice, velikost kapek a intenzita dodávky vody. V pokročilých numerických modelech jsou tyto tři parametry sledovány a je porovnán vývoj teplot ocelové konstrukce.

Je vymodelována požární komora, která má vnitřní rozměry 5 m x 4 m a vysoká je 4 m. Uprostřed místnosti ve výšce 2,9 m je ocelová konstrukce. Vzduch je do místnosti přiváděn větracími otvory vysokými 0,4 m, dlouhými 5 m, které jsou nad podlahou. V místnosti jsou umístěny dva sprinklery, jsou vzdáleny 1,5 m od osy ocelové konstrukce. Půdorys a řez požární komory je na Obrázek 25.

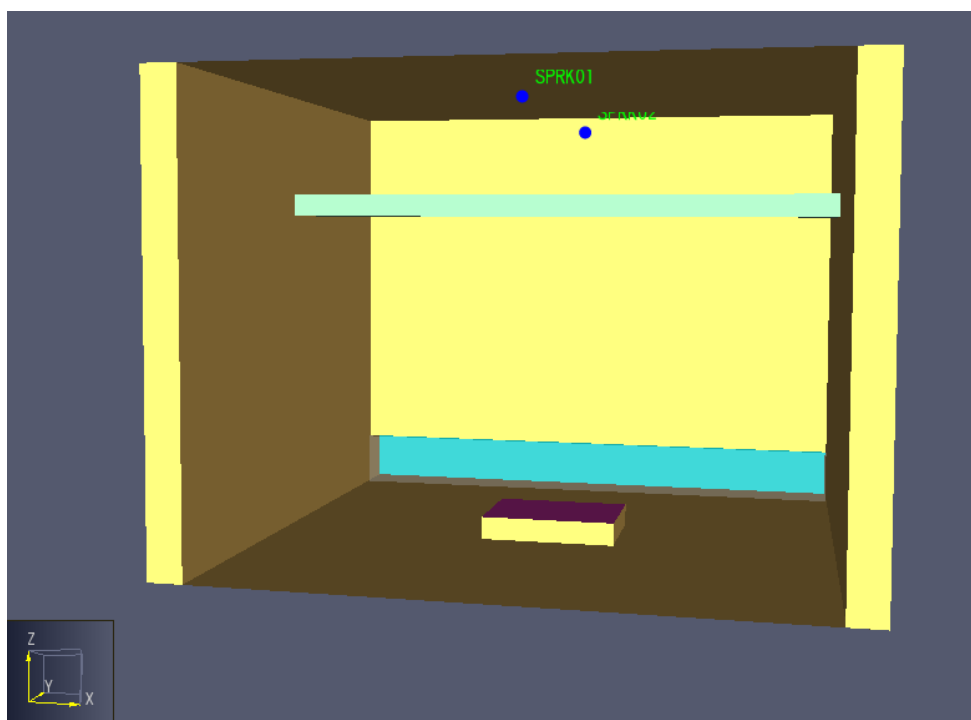


Obrázek 25: Půdorys požární komory (vlevo) a svislý řez požární komorou (vpravo)

Body měřící teplotu konstrukce jsou umístěny na spodní straně ocelového nosníku. Měřící body jsou zadány funkcí „WALL TEMPERATURE“ a je umístěn uprostřed nosníku na jeho spodní straně. Hořák simulující požár je velikosti dřevěné palety (1,2 m x 0,8m). Výkon hořáku je zadáný 500 kW/m<sup>2</sup>.

### 8.1.1 Požární scénář

V modelu je simulován požár pod ocelovou konstrukcí. Hořák, který požár simuluje je umístěn uprostřed místnosti. V požární komoře je sprinklerové hasící zařízení, které se aktivuje při dosažení určitých teplot a začne skrápět a chladit ocelovou konstrukci. Bylo vytvořeno celkem 8 modelů, ve kterých se kombinují různé parametry sprinklerů. Jedna simulace trvala 15 min. Modelový prostor je na Obrázek 26.



Obrázek 26: Modelový prostor

### 8.1.2 Okrajové podmínky

|                    |   |
|--------------------|---|
| Počáteční teplota: | 20 °C   |
| Modelový prostor:  | Podlaha – inertní                             |
|                    | Strop – inertní                               |
|                    | Stěny – inertní                               |
|                    | Otvory – simulují přívod vzduchu do místnosti |
| Výpočetní síť:     | Velikost buněk 10 mm, celkem 103 040 buněk    |

### 8.1.3 Sprinklerová ochrana

Zkoumány jsou tři důležité aspekty, které ovlivňují funkci sprinklerů. Jsou to jmenovitá otevírací teplota sprinklerových hlavíc, velikost kapek a intenzita dodávky vody (K faktor). Kombinace jsou v Tabulka 7.

Tabulka 7: Kombinace zadaných parametrů sprinklerů

| Otevírací teplota [°C] | Velikost kapek [mm] | K faktor |
|------------------------|---------------------|----------|
| 68                     | 1                   | 57       |
|                        |                     | 80       |
|                        |                     | 115      |
|                        | 3                   | 57       |
|                        |                     | 80       |
|                        |                     | 115      |

Jako další byl porovnáván rozvoj teploty při různých jmenovitých otevíracích teplotách sprinklerových hlavíc. Kombinace jsou v Tabulka 8.

Tabulka 8: Kombinace parametrů při zadání otevíracích teplot sprinklerových hlavíc

| Otevírací teplota [°C] | Velikost kapek [mm] | K faktor |
|------------------------|---------------------|----------|
| 57                     | 1                   | 80       |
| 68                     |                     |          |
| 79                     |                     |          |

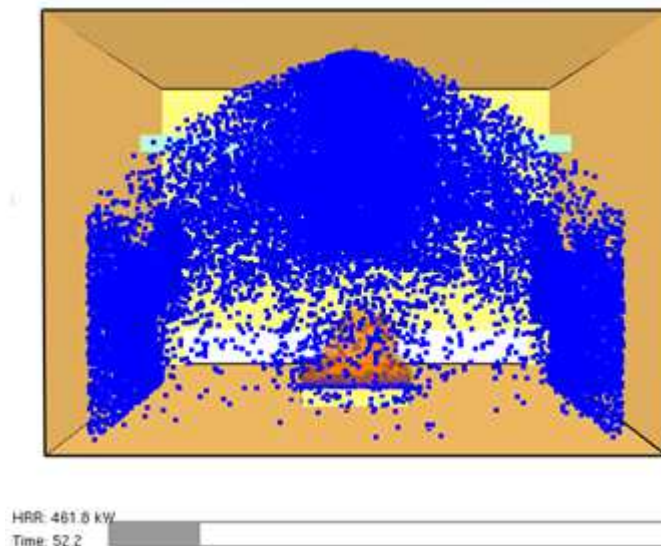
Další definice sprinklerů v modelu:

- Operační tlak                      1,0
- Rychlost                              8,75
- Úhel vodního kužele              60° – 75°



## 8.2 Vliv množství vody a velikosti kapek

Ve výpočtu byl řešený vliv dodávané vody a velikosti kapek na teplotu konstrukce pomocí K faktoru 57, 80 a 115 a velikosti kapek 1 mm a 3 mm při jmenovité otevírací teplotě 68 °C, která je nejběžnější. Sprinklerové zařízení se spustí v 50. s simulace, viz Obrázek 27.

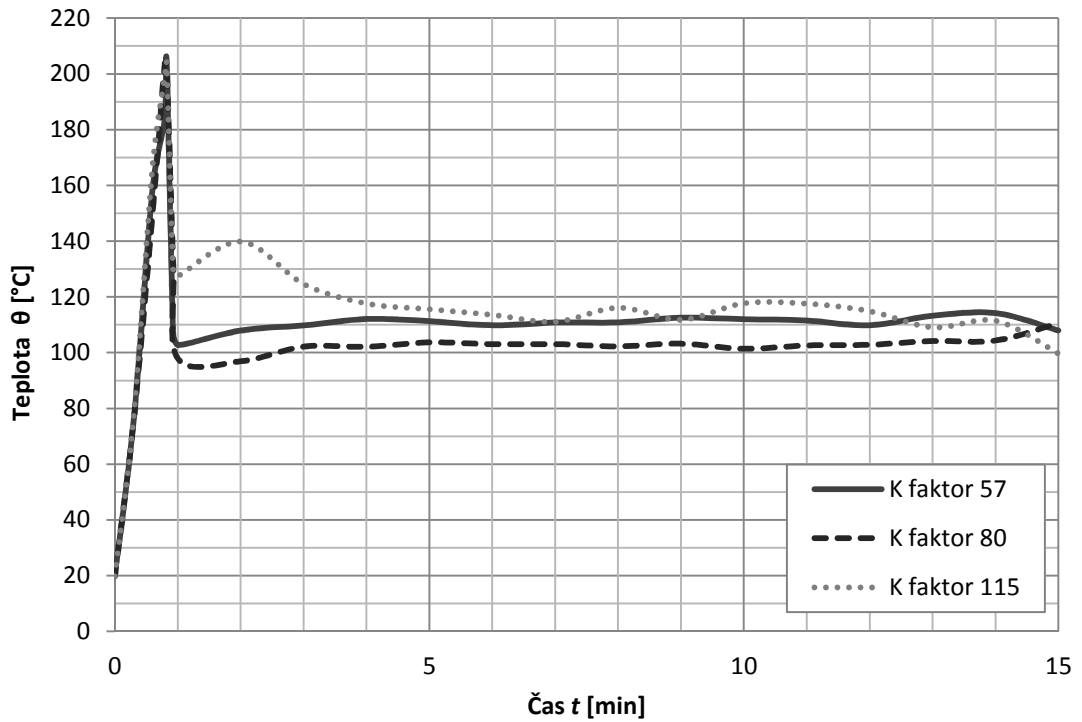


Obrázek 27: Spuštění sprinklerů v simulaci

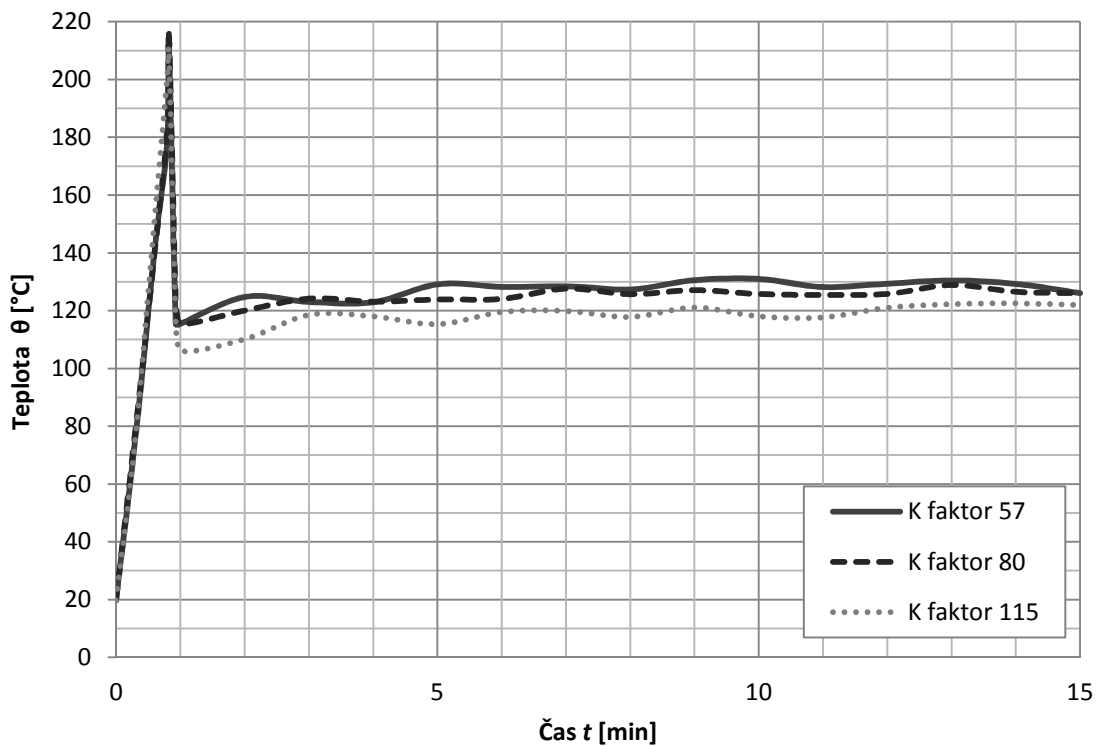
Při velikosti kapek 1 mm je nejvyšší teplota konstrukce je 206 °C. Na grafu na Obrázek 28 je vidět, že nejefektivněji byla konstrukce chlazena intenzitou dodávky vody s K faktorem 80. Teploty konstrukce se při ochlazování drží mezi 90 °C a 110 °C. Užitím K faktoru 57 se teploty pohybují mezi 100 °C a 120 °C. Mají – li sprinklery K faktor 115, po spuštění jsou teploty do 140 °C, ale následně se teploty sníží a ustálí mezi 110 °C a 120 °C.

Při velikosti kapek 3 mm nejvyšší teplota konstrukce je 215 °C. Průběh teploty je na grafu na Obrázek 29. Nejefektivněji chladil K faktor 115, kdy se teploty pohybují od 105 °C do 125 °C. Při K faktoru 80 se teploty pohybují mezi 120 °C a 130 °C. Nejmenší chladicí účinek má K faktor 50, kdy teplota konstrukce přesáhne 130 °C.

Rozdíl účinnosti sprinklerů při užití rozdílných velikostí kapek je zřetelně vidět při srovnání tepot znázorněných v grafech na Obrázek 28 a Obrázek 29. Efektivnější chlazení je při chlazení menšími kapkami než při užití kapek větších. Drobnější kapky se rychleji ohřívají a odpařují a tím urychlují ochlazení konstrukce.



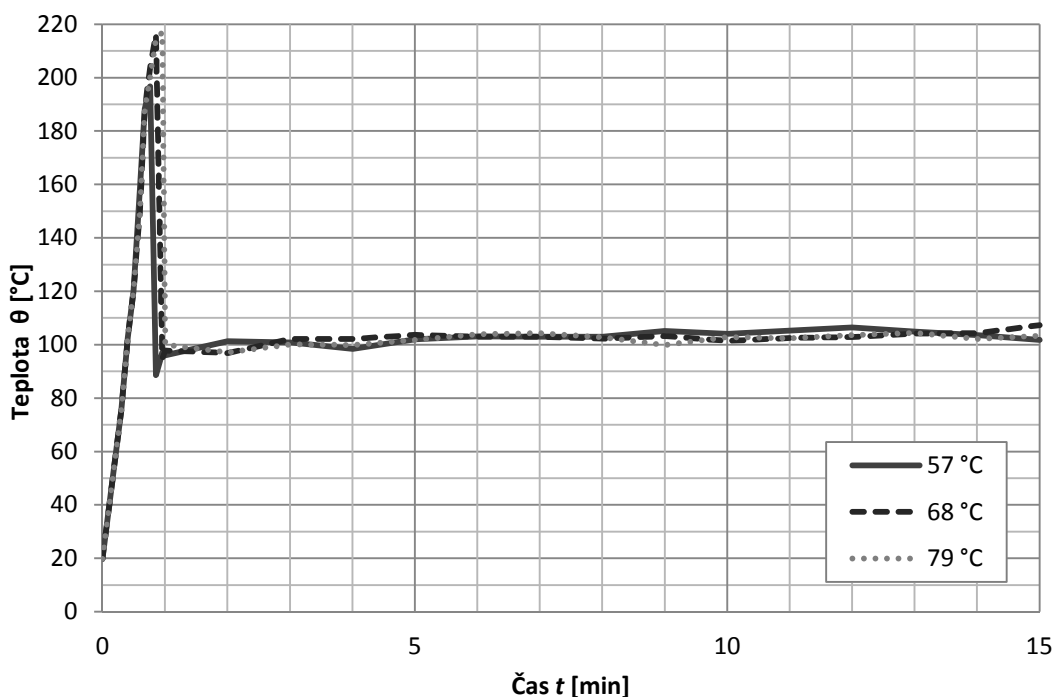
Obrázek 28: Teploty konstrukce ovlivněné intenzitou dodávky vody při spuštění sprinklerů v 68 °C a velikosti kapek 1 mm



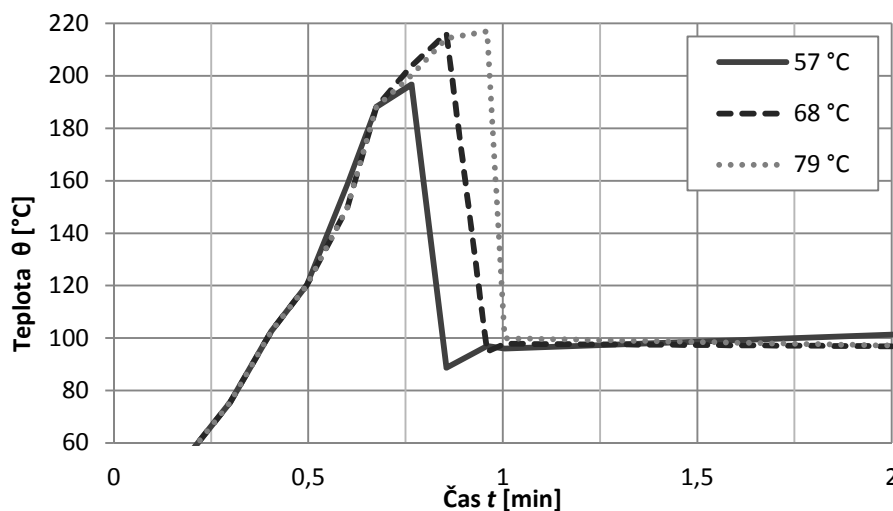
Obrázek 29: Teploty konstrukce ovlivněné intenzitou dodávky vody při spuštění sprinklerů v 68 °C a velikosti kapek 3 mm

### 8.3 Ovlivnění teplot konstrukce časem spuštění sprinklerů

Čas spuštění sprinklerů závisí na jmenovité otevírací teplotě sprinklerových hlavíc. Byly zadány tři otevírací teploty: 57 °C, 68 °C a 79 °C. Velikost kapek byla zadána 1 mm a K faktor 80. Z grafů na Obrázek 30 a Obrázek 31 je zřejmé, že teplota konstrukce se jinak rozvíjí pouze před spuštěním sprinklerů. Jelikož se ostatní parametry sprinklerů neliší a rozdílná je pouze jmenovitá otevírací teplota, v čase 90 s jsou již křivky teplot konstrukce relativně sjednocené.



Obrázek 30: Teploty konstrukce ovlivněné otevřením sprinklerových hlavíc



Obrázek 31: Detail teplot konstrukce ovlivněných otevřením sprinklerových hlavíc

## 9 Shrnutí

Práce ukazuje, za jakých podmínek může sprinklerové zařízení chránit ocelový příhradový nosník před účinky požáru.

Nejprve byla řešena požární odolnost konstrukce analytickými vztahy. Byl připraven požární scénář ve skladovací hale. Pro popsání požáru byl použit program Ozone. Maximální rychlost uvolňování tepla byla vypočtena na 5 435 MW. Požární odolnost konstrukce byla 45 min. Požadovaná teplota dolního pasu vazníku konstrukce v tomto čase byla 737 °C. Do konstrukce přestoupí 23,31 MW tepla. Aby byla zajištěna požární odolnost konstrukce, bylo stanoveno, že voda musí z konstrukce odebrat 0,6 MW tepla. Od začátku skrápění konstrukce voda může ohřátím a následnou změnou na skupenství plynné odebrat 32,3 MW. Bylo prokázáno, že tepelná energie přestoupená do konstrukce z požáru je menší, než kterou je voda schopna odebrat. Tím je zajištěna požadovaná požární odolnost.

Pomocí numerického CFD modelu vytvořeného v programu FDS bylo ukázáno, jak se vyvíjí teplota v ocelovém příhradovém nosníku bez a se sprinklerovým zařízením. Aktivační teplota sprinklerů byla uvažována 79 °C. Tuto teplotu první sprinklerová hlavice dosáhla v 16. min požáru. Sprinklerové zařízení sníží teplotu konstrukce z 58 °C na 24 °C. Nejvyšší teplota konstrukce bez skrápění sprinklerů by byla 505 °C. Při skrápění sprinklery dosáhla konstrukce 188 °C.

V programu FDS byl vytvořen model místnosti, ve které byly zkoumány rozdíly při chlazení sprinklery s různými parametry, které ovlivňují hašení sprinklerového zařízení, tj. intenzita dodávky vody (K faktor), velikost dodávaných kapek a jmenovitá teplota otevření sprinklerových hlavic. Při velikosti kapek 1 mm nejlépe chladily sprinklery s K faktorem 80 a nejhůře s K faktorem 115. Teplota konstrukce při užití K faktoru 57 se pohybovala v jejich středu. Při velikosti kapek 3 mm nejlépe chladily sprinklery s K faktorem 115 a nejhůře s K faktorem 57. Výsledky chlazení K faktorem 115 byly relativně podobné během chlazení s velikostí kapek 1 mm i 3 mm. S K faktorem 57 a 80 byly tyto rozdíly viditelnější. Jmenovitá teplota otevření sprinklerových hlavic ovlivní pouze teploty konstrukce před počátkem skrápění. Poté se teplota sjednotí a rozvoj teploty v konstrukci je stejný u všech tří modelů pro zkoušení rozdílu při různých aktivačních teplotách.

## 9.1 Další otázky v problematice

Bylo by zajímavé rozšířit tuto problematiku o chlazení ocelových konstrukcí pomocí vodní mlhy, která má jiné vlastnosti než sprinklerové zařízení. Experimentálně bude třeba ověřit a určit množství vody ulpěné na konstrukci v závislosti na parametrech sprinklerů a velikosti konstrukce. Experimenty a numerickými modely lze ověřit zvýšení požární odolnosti ocelových konstrukcí i nepřímým skrápěním konstrukce, pouze ochlazováním prostoru.

## Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1: Harrisonova sprinklerová hlavice [5].....   | 3  |
| Obrázek 2: Schéma ventilové stanice mokré a suché ventilové stanice sprinklerové soustavy [9].....                           | 4  |
| Obrázek 3: Schéma sprinklerového zařízení [10].....  | 5  |
| Obrázek 4: sprinklerové hlavice se skleněnou a s tavnou pojistkou.....   | 8  |
| Obrázek 5: Sprinklerové hlavice se skleněnou baňkou s různou tepelnou odezvou [12].....                                      | 10 |
| Obrázek 6: Typy výstřiků sprinklerových hlavíc .....   | 11 |
| Obrázek 7: Klasická sprinklerová hlavice a sprinklerová hlavice ESFR [1].....  | 12 |
| Obrázek 8: Středně rychlostní sprejová hubice [1].....   | 13 |
| Obrázek 9: Pěnová sprejová hubice, pěnový sprinkler [1] .....  | 15 |
| Obrázek 10: Geometrie příhradového nosníku .....   | 27 |
| Obrázek 11: Průběh rychlosti uvolňování tepla v požárním úseku skladu.....   | 29 |
| Obrázek 12: Rozvoj teploty plynu v požárním úseku.....   | 30 |
| Obrázek 13: Vývoj teploty ocelové konstrukce v závislosti na teplotě horní vrstvy plynu .....                                | 31 |
| Obrázek 14: Rozmístění sprinklerových hlavíc ve skladovací hale .....  | 34 |
| Obrázek 15: Teplo absorbované konstrukcí .....   | 36 |
| Obrázek 16: Rozdíl tepla absorbovaného konstrukcí a tepla odebraného vodou .....   | 40 |
| Obrázek 17: Půdorys části haly modelovaný programem FDS .....  | 42 |
| Obrázek 18: Řez halou modelovanou programem FDS .....  | 42 |
| Obrázek 19: Modelový prostor .....   | 43 |
| Obrázek 20: Výpočetní síť pokrývající modelovaný prostor .....   | 44 |
| Obrázek 21: Rozmístění měřících bodů v modelovaném prostoru.....   | 45 |
| Obrázek 22: Průběh RHR pro modelový požár .....  | 46 |
| Obrázek 23: Otevření prvního sprinkleru a otevření všech sprinklerových hlavíc .....   | 49 |
| Obrázek 24: Srovnání teplot ocelového nosníku bez a se skrápěním sprinklery.....   | 50 |
| Obrázek 25: Půdorys požární komory a svislý řez požární komorou.....   | 51 |
| Obrázek 26: Modelový prostor .....   | 52 |
| Obrázek 27: Spuštění sprinklerů v simulaci .....   | 54 |
| Obrázek 28: Teploty konstrukce ovlivněné intenzitou dodávky vody při spuštění sprinklerů v 68 °C a velikosti kapek 1 mm..... | 55 |

---

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 29: Teploty konstrukce ovlivněné intenzitou dodávky vody při spuštění sprinklerů v 68 °C a velikosti kapek 3 mm..... | 55 |
| Obrázek 30: Teploty konstrukce ovlivněné otevření sprinklerových hlavic .....  | 56 |
| Obrázek 31:Detail teplot konstrukce ovlivněných otevřením sprinklerových hlavic.....   | 56 |

## Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| Tabulka 1: Barevný kód jmenovité otevírací teploty sprinklerových hlavic .....           | 9  |
| Tabulka 2: Použití sprinklerů podle tepelné odezvy .....                                 | 10 |
| Tabulka 3: Navržené průměry příhradového nosníku .....                                   | 28 |
| Tabulka 4: Nastavení průběhu uvolňování tepla modelového požáru.....                     | 47 |
| Tabulka 5: Teploty příhradového nosníku bez chlazení.....                                | 48 |
| Tabulka 6: Teploty oceli příhradového nosníku chlazeném vodou .....                      | 49 |
| Tabulka 7: Kombinace zadaných parametrů sprinklerů .....                                 | 53 |
| Tabulka 8: Kombinace parametrů při zadání otevíracích teplot sprinklerových hlavic ..... | 53 |

---

## Literatura

1. **RYBÁŘ, Pavel.** Příklady stabilních hasících zařízení v ochraně majetku a technologií. Praha : MV - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2014. 2. ISBN 978-80-86466-71-2.
2. SHARK sprinklerové hasící systémy. [Online] [Citace: 12. 12 2016.] <http://www.shark-cz.com/sprinklery-norma.html>.
3. Požárně bezpečnostní zařízení. *Hasičský záchranný sbor české Republiky*. [Online] [Citace: 5. prosinec 2016.] <http://www.hzscr.cz/clanek/pozarne-bezpecnostni-zarizeni.aspx>.
4. *Požární bezpečnost stavebních objektů*. Ostrava, 2005. Sborník přednášek. ISBN: 80-86634-63-9.
5. **ŠCOTKOVÁ, Petra.** Historický vývoj sprinklerového zařízení. *Bakalářská práce*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2008.
6. **BEATTIE, Walter S.** Evolution of the fire sprinkler. [Online] [Citace: 2. 4 2016.] <https://waltbeattie.files.wordpress.com/2010/08/evolution-of-as-beattie.pdf>.
7. **POLÍVKOVÁ, Tereza.** Návrh sprinklerů na chlazení konstrukce. *Seminární práce*. Praha : ČVUT-Praha, 2016.
8. Předpis ČAP CEA 4001 - Sprinklerová hasící zařízení - instalace a montáž. [Online] 2004. [Citace: 4. 4 2016.] <http://www.cap.cz/odborna-verejnost/smernice-metodiky-a-doporuceni/pozarni-ochrana/875-2>.
9. **RYBÁŘ, Pavel.** *Stabilní hasící zařízení*. 2007. Nové systémy v požární ochraně 2008.
10. **KUPILÍK, Václav, VALDMANN, Zbyněk a ŠIMÁK, Stanislav.** Skripta vzdělávání v oblasti požární ochrany staveb. [Online] 2013. [Citace: 25. Listopad 2016.] <http://bozp.firegroup.cz/wp-content/themes/firegroup/img/material/scripta-pozarni-ochrana-staveb.pdf>.
11. **ZELINGER, Jiří.** *Technologie ochrany kulturního dědictví před požáry*. Brno, 2010.
12. **RYBÁŘ, Pavel.** Sprinklerová zařízení - I.díl. *tzbinfo*. [Online] 3. Únor 2016. [Citace: 4. 4 2016.] <http://voda.tzb-info.cz/pozarni-vodovod/13971-sprinklerova-zarizeni-i-dil>.
13. ČSN EN 12845 Stabilní hasící zařízení - Sprinklerová zařízení - navrhování, instalace a údržba. Praha : ÚNMZ, 2015.
14. **SHEPPARD, David Tomas.** *Spray characteristic of fire sprinklers*. 2002.
15. **MACHT, Karel.** Hašení vodou, vodní proudy, proudnice . *Konспекty odborné přípravy jednotek požární ochrany* . místo neznámé : MV- generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. 1.
16. **PALOCH, Radim.** Hasební látky. [Online] [Citace: 2. 4 2016.] [https://www.hasici-vzdelavani.cz/download/bravansky/pdf/hasebni\\_latky-pena.pdf](https://www.hasici-vzdelavani.cz/download/bravansky/pdf/hasebni_latky-pena.pdf).



- 
17. **BEBČÁK, Petr, DUDÁČEK, Aleš a ŠENOVSKÝ, Michail.** *Vybrané kapitoly z požární ochrany III.* Fakulta bezpečnostního inženýrství. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. ISBN: 80-86634-98-1.
18. **KUPILÍK, Václav.** *Stavební konstrukce z požárního hlediska.* Praha, 2006. ISBN 80-247-1329-2.
19. Fire protecting structural steelwork. *SteelConstruction.info*. [Online] [Citace: 23. Duben 2016.] [http://www.steelconstruction.info/Fire\\_protecting\\_structural\\_steelwork](http://www.steelconstruction.info/Fire_protecting_structural_steelwork).
20. **Bebčák, Petr a Bebčák, Martin.** Zvyšování požární odolnosti ocelových konstrukcí vodním stabilním zařízením. Ostrava : VŠB-TU Ostrava.
21. **BOBČÍK, Petr.** *Stabilní hasící zařízení.* Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012. Bakalářská práce.
22. **Wald, František a kolektiv.** *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí.* Praha : ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03157-8.
23. **WALD, František, a další.** *Modelování dynamiky požáru v budovách.* Praha : ČVUT, 2015. ISBN 978-80-01-05633-2.
24. **VASSART, O., a další.** Tepelná a mechanická zatížení.
25. Faculty of applied science. [Online] School of engineering and computer science. [Citace: 8. 12 2016.] [http://www.facsa.ulg.ac.be/cms/c\\_683975/en/fire-safety-engineering](http://www.facsa.ulg.ac.be/cms/c_683975/en/fire-safety-engineering).
26. **McGRATTAN, Kevin, a další.** *Fire Dynamics Simulator (Version 6) - User's Guide.* [PDF] Gaithersburg, Maryland, USA : National Institute for Standards and Technology, 2013. Sv. Special Publication 1019 - Sixth Edition.
27. **HOŠEK, Zdeněk.** *Zvýšení požární odolnosti stavebních konstrukcí zkrápěním vodou.* *Disertační práce.* Praha : České vysoké učení technické v Praze - Fakulta stavební, 2013.
28. ČSN 73 0804 - Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty, Změna Z1 (2013), Změna Z2 (2015). Praha : ÚNMZ, 2010.
29. ČSN 73 0845 - Požární bezpečnost staveb - Sklady. Praha : ÚNMZ, 2012.

## Příloha 1 – Určení stupně požární bezpečnosti a požárního rizika řešené skladovací haly

Řešený objekt je nadzemní skladovací hala o rozměrech 28 m x 72 m. Celková plocha skladu je  $S = 2016 \text{ m}^2$ . Prostor ke skladování je určen pro PE lahve. Jde o regálové skladování, s maximální skladovací výškou  $h_{sc} = 5 \text{ m}$ . Podle kap. 4.6 normy ČSN 73 0845 bude skupina provozu skladu IV - VII a musí být z nehořlavého konstrukčního systému, což objekt splňuje.

Skupina provozu skladu je určena podle přílohy A normy ČSN 73 0845. Průměrný tepelný výkon dosažený hořením skladovaného materiálu na  $1 \text{ m}^2$  odhořívající plochy a skupenství skladovaného materiálu.

$$q = \frac{\bar{m} * \bar{H}_p}{60}$$

Materiál je skladovaný na paletách v lepenkových krabicích. Průměrný tepelný výkon je tedy určen včetně obalového materiálu a včetně palet.

PE - 98% skladovaného materiálu

$$m_{PE} = 0,85 \text{ kg}/(\text{m}^2 * \text{min})$$

$$H_{PE} = 45 \text{ MJ/kg}$$

$$K_{PE} = 2,7$$

Paleta – 1,5% skladovaného materiálu

$$m_{Paleta} = 0,3 \text{ kg}/(\text{m}^2 * \text{min})$$

$$H_{Paleta} = 17 \text{ MJ/kg}$$

$$K_{Paleta} = 1$$

Krabice – 0,5% skladovaného materiálu

$$m_{\text{Krabice}} = 0,8 \text{ kg}/(\text{m}^2 * \text{min})$$

$$H_{\text{Krabice}} = 17 \text{ MJ/kg}$$

$$K_{\text{Krabice}} = 1$$

$$\bar{m} = 0,842 \text{ kg}/(\text{m}^2 * \text{min})$$

$$\bar{H} = 44,44 \text{ MJ/kg}$$

$$K = 2,666$$

$$q = \frac{\bar{m} * \bar{H}_p}{60} = \frac{0,842 * 44,44}{60} = 0,624 \text{ MW}/\text{m}^2$$

→ **V. SPB**

Požární zatížení:

$$M_i = 150 * \bar{m} * S_f = 150 * 0,872 * 6,84 = 894,67 \text{ kg}/\text{m}^2$$

$$S_f = 4 * h_{sc}^{\frac{1}{3}} = 4 * 5^{\frac{1}{3}} = 6,84 \text{ m}^2$$

$$p_n = 894,67 * 0,7 = 626,269 \text{ kg}/\text{m}^2 \text{ - hořlavý materiál je na 70 % skladovací plochy}$$

$$p_s = 0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\bar{p} = p_n * k_1 = 620,34 \text{ kg}/\text{m}^2$$

$$k_1 = 0,9 \quad (\text{uvažováno bez SHZ})$$

Tato příloha byla zpracována podle normy ČSN 73 0845 a ČSN 73 0804.

## Příloha 2 – Vstupy do programu FDS: Numerický model chlazení ocelového nosníku

V příloze jsou textové soubory, které slouží jako vstupy k výpočtu programem FDS pro vytvoření numerického modelu ke kapitole 7 této práce.

### Model bez sprinklerového zařízení

```
&HEAD CHID='DP_bez_sprinkleru'/
&TIME T_END=2700.0/
&DUMP RENDER_FILE='horak.ge1', DT_RESTART=100.0/

&MESH ID='Mesh01', IJK=36,20,15, XB=-0.4,14.0,-4.0,4.0,0.0,6.0/
&MESH ID='Mesh02', IJK=72,4,20, XB=-0.4,14.0,-0.4,0.4,6.0,10.0/
&MESH ID='Mesh03', IJK=36,18,10, XB=-0.4,14.0,0.4,4.0,6.0,10.0/
&MESH ID='Mesh04', IJK=36,18,10, XB=-0.4,14.0,-4.0,-0.4,6.0,10.0/

&REAC      ID='PE',
           FUEL='REAC_FUEL',
           FORMULA='C2H4',
           CO_YIELD=0.024,
           SOOT_YIELD=0.06,
           HEAT_OF_COMBUSTION=4.3E4/

&DEVC ID='SOLID', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=1.4,0.0,6.2, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID01', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=4.2,0.0,6.2, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID02', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=7.0,0.0,6.2, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID03', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=9.8,0.0,6.2, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID04', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=12.6,0.0,6.2, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID05', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=1.4,0.0,7.3, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID06', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=4.2,0.0,7.6, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID07', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=7.0,0.0,7.6, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID08', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=9.8,0.0,7.6, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID09', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=12.6,0.0,7.8, IOR=3/
&SURF      ID='STEEL',
           RGB=146,202,166,
           ADIABATIC=.TRUE./
&SURF      ID='horak',
           RGB=255,61,208,
           HRRPUA=699.0,
           RAMP_Q='cashorak'
&RAMP      ID='cashorak', T=0.0, F=0.01/
&RAMP      ID='cashorak', T=420.0, F=0.02/
&RAMP      ID='cashorak', T=840.0, F=0.08/
&RAMP      ID='cashorak', T=1260.0, F=0.18/
&RAMP      ID='cashorak', T=1680.0, F=0.32/
&RAMP      ID='cashorak', T=2100.0, F=0.51/
&RAMP      ID='cashorak', T=2520.0, F=0.73/
&RAMP      ID='cashorak', T=2700.0, F=1.0/

&OBST XB=11.15,11.25,-0.05,0.05,6.25,9.4784, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=8.35,8.45,-0.05,0.05,6.25,9.2268, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=5.55,5.65,-0.1,0.1,6.25,8.9752, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=13.95,14.05,-0.05,0.05,6.25,9.73, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,14.0,-0.2,0.2,6.2,6.35, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.75,2.85,-0.05,0.05,6.25,8.7236, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=-0.4,0.0,-0.2,0.2,-0.1,8.5, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,0.05,0.0,0.05,8.4,8.5, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.05,0.1,0.0,0.05,8.35,8.55, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.1,0.2,0.0,0.05,8.3,8.4, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.1,0.6,0.0,0.05,8.45,8.55, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
```

&OBST XB=0.2,0.25,0.0,0.05,8.25,8.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.25,0.3,0.0,0.05,8.2,8.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.3,0.35,0.0,0.05,8.15,8.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.35,0.45,0.0,0.05,8.1,8.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.45,0.5,0.0,0.05,8.05,8.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.5,0.55,0.0,0.05,8.0,8.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.55,0.65,0.0,0.05,7.95,8.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.6,1.15,0.0,0.05,8.5,8.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.65,0.7,0.0,0.05,7.9,8.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.7,0.75,0.0,0.05,7.85,7.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.75,0.8,0.0,0.05,7.8,7.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.8,0.9,0.0,0.05,7.75,7.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.9,0.95,0.0,0.05,7.7,7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=0.95,1.0,0.0,0.05,7.65,7.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.0,1.05,0.0,0.05,7.6,7.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.05,1.15,0.0,0.05,7.55,7.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.15,1.2,0.0,0.05,7.5,7.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.15,1.7,0.0,0.05,8.55,8.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.2,1.25,0.0,0.05,7.45,7.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.65,1.7,0.0,0.05,7.1,7.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.7,1.75,0.0,0.05,7.05,7.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.7,2.25,0.0,0.05,8.6,8.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.75,1.8,0.0,0.05,7.0,7.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.8,1.9,0.0,0.05,6.95,7.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.9,1.95,0.0,0.05,6.9,7.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.95,2.0,0.0,0.05,6.85,6.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.0,2.1,0.0,0.05,6.8,6.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.1,2.15,0.0,0.05,6.75,6.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.15,2.2,0.0,0.05,6.7,6.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.2,2.25,0.0,0.05,6.65,6.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.25,2.35,0.0,0.05,6.6,6.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.25,2.8,0.0,0.05,8.65,8.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.35,2.4,0.0,0.05,6.55,6.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.4,2.45,0.0,0.05,6.5,6.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.45,2.5,0.0,0.05,6.45,6.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.5,2.6,0.0,0.05,6.4,6.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.6,2.65,0.0,0.05,6.35,6.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.65,2.7,0.0,0.05,6.3,6.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.7,2.75,0.0,0.05,6.25,6.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.75,2.85,0.0,0.05,6.2,6.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.8,3.35,0.0,0.05,8.7,8.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.85,2.9,0.0,0.05,6.25,6.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.35,3.95,0.0,0.05,8.75,8.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.95,4.5,0.0,0.05,8.8,8.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.35,4.4,0.0,0.05,7.75,7.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.4,4.45,0.0,0.05,7.8,7.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.45,4.5,0.0,0.05,7.85,7.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.5,4.55,0.0,0.05,7.9,8.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.5,5.05,0.0,0.05,8.85,8.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.55,4.6,0.0,0.05,7.95,8.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.6,4.7,0.0,0.05,8.0,8.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.7,4.75,0.0,0.05,8.05,8.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.75,4.8,0.0,0.05,8.1,8.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.8,4.85,0.0,0.05,8.15,8.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.85,4.9,0.0,0.05,8.2,8.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.9,4.95,0.0,0.05,8.25,8.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.95,5.0,0.0,0.05,8.3,8.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.0,5.05,0.0,0.05,8.35,8.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.05,5.1,0.0,0.05,8.4,8.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.05,5.45,0.0,0.05,8.9,9.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.1,5.15,0.0,0.05,8.45,8.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.15,5.2,0.0,0.05,8.5,8.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.2,5.25,0.0,0.05,8.55,8.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.25,5.3,0.0,0.05,8.6,8.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.3,5.35,0.0,0.05,8.65,8.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.35,5.4,0.0,0.05,8.7,8.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.4,5.45,0.0,0.05,8.75,8.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.45,5.5,0.0,0.05,8.8,9.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.5,5.55,0.0,0.05,8.85,9.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.55,5.6,0.0,0.05,8.9,9.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.6,5.65,0.0,0.05,8.9,9.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.65,5.7,0.0,0.05,8.85,9.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.7,5.75,0.0,0.05,8.8,8.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.7,6.15,0.0,0.05,8.95,9.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.75,5.8,0.0,0.05,8.75,8.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction

&OBST XB=5.8,5.85,0.0,0.05,8.7,8.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.85,5.9,0.0,0.05,8.65,8.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.9,5.95,0.0,0.05,8.6,8.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.95,6.0,0.0,0.05,8.55,8.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.0,6.05,0.0,0.05,8.5,8.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.05,6.1,0.0,0.05,8.45,8.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.1,6.15,0.0,0.05,8.4,8.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.15,6.2,0.0,0.05,8.35,8.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.15,6.7,0.0,0.05,9.0,9.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.2,6.25,0.0,0.05,8.3,8.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.25,6.3,0.0,0.05,8.25,8.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.3,6.35,0.0,0.05,8.2,8.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.35,6.4,0.0,0.05,8.15,8.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.4,6.45,0.0,0.05,8.1,8.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.45,6.5,0.0,0.05,8.05,8.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.5,6.6,0.0,0.05,8.0,8.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.6,6.65,0.0,0.05,7.95,8.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.65,6.7,0.0,0.05,7.9,8.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.7,6.75,0.0,0.05,7.85,7.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.7,7.25,0.0,0.05,9.05,9.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.75,6.8,0.0,0.05,7.8,7.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.8,6.85,0.0,0.05,7.75,7.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.85,6.9,0.0,0.05,7.7,7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.9,3.95,0.0,0.05,7.4,7.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.85,3.9,0.0,0.05,7.35,7.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.8,3.85,0.0,0.05,7.3,7.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.25,7.8,0.0,0.05,9.1,9.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.75,3.8,0.0,0.05,7.25,7.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.7,3.75,0.0,0.05,7.2,7.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.65,3.7,0.0,0.05,7.15,7.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.6,3.65,0.0,0.05,7.1,7.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.55,3.6,0.0,0.05,7.05,7.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.5,3.55,0.0,0.05,7.0,7.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.45,3.5,0.0,0.05,6.95,7.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.4,3.45,0.0,0.05,6.9,7.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.35,3.4,0.0,0.05,6.85,6.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.3,3.35,0.0,0.05,6.8,6.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.25,3.3,0.0,0.05,6.75,6.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.8,8.4,0.0,0.05,9.15,9.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.2,3.25,0.0,0.05,6.7,6.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.15,3.2,0.0,0.05,6.65,6.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.1,3.15,0.0,0.05,6.6,6.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.05,3.1,0.0,0.05,6.55,6.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.0,3.05,0.0,0.05,6.5,6.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.95,3.0,0.0,0.05,6.45,6.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.9,2.95,0.0,0.05,6.4,6.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.85,2.9,0.0,0.05,6.35,6.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.3,8.35,0.0,0.05,6.25,6.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.35,8.4,0.0,0.05,6.2,6.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.4,8.45,0.0,0.05,6.25,6.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.4,8.95,0.0,0.05,9.2,9.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.45,8.5,0.0,0.05,6.3,6.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.4,8.45,0.0,0.05,6.35,6.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.45,8.5,0.0,0.05,6.4,6.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.5,8.55,0.0,0.05,6.45,6.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.55,8.6,0.0,0.05,6.5,6.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.6,8.65,0.0,0.05,6.55,6.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.65,8.7,0.0,0.05,6.65,6.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.7,8.75,0.0,0.05,6.7,6.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.75,8.8,0.0,0.05,6.75,6.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.8,8.85,0.0,0.05,6.8,6.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.85,8.9,0.0,0.05,6.85,6.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.95,9.5,0.0,0.05,9.25,9.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.9,8.95,0.0,0.05,6.9,7.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.95,9.0,0.0,0.05,7.0,7.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.0,9.05,0.0,0.05,7.05,7.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.05,9.1,0.0,0.05,7.1,7.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.1,9.15,0.0,0.05,7.15,7.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.15,9.2,0.0,0.05,7.2,7.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.2,9.25,0.0,0.05,7.25,7.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.25,9.3,0.0,0.05,7.3,7.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.3,9.35,0.0,0.05,7.4,7.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.35,9.4,0.0,0.05,7.45,7.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.4,9.45,0.0,0.05,7.5,7.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.5,10.05,0.0,0.05,9.3,9.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction

&OBST XB=9.45,9.5,0.0,0.05,7.55,7.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.5,9.55,0.0,0.05,7.6,7.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.55,9.6,0.0,0.05,7.65,7.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.85,9.9,0.0,0.05,7.95,8.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.9,9.95,0.0,0.05,7.95,8.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.95,10.0,0.0,0.05,8.0,8.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.0,10.05,0.0,0.05,8.05,8.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.05,10.1,0.0,0.05,8.15,8.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.05,10.6,0.0,0.05,9.35,9.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.1,10.15,0.0,0.05,8.2,8.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.15,10.2,0.0,0.05,8.25,8.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.2,10.25,0.0,0.05,8.3,8.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.25,10.3,0.0,0.05,8.35,8.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.3,10.35,0.0,0.05,8.4,8.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.35,10.4,0.0,0.05,8.5,8.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.4,10.45,0.0,0.05,8.55,8.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.45,10.5,0.0,0.05,8.6,8.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.5,10.55,0.0,0.05,8.65,8.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.55,10.6,0.0,0.05,8.7,8.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.6,10.65,0.0,0.05,8.75,8.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.6,11.05,0.0,0.05,9.4,9.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.65,10.7,0.0,0.05,8.8,8.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.7,10.75,0.0,0.05,8.9,9.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.75,10.8,0.0,0.05,8.95,9.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.8,10.85,0.0,0.05,9.0,9.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.85,10.9,0.0,0.05,9.05,9.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.9,10.95,0.0,0.05,9.1,9.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.95,11.0,0.0,0.05,9.15,9.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.0,11.05,0.0,0.05,9.25,9.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.05,11.1,0.0,0.05,9.3,9.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.1,11.15,0.0,0.05,9.35,9.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.15,11.25,0.0,0.05,9.4,9.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.25,11.3,0.0,0.05,9.35,9.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.3,11.35,0.0,0.05,9.3,9.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.3,11.7,0.0,0.05,9.45,9.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.35,11.4,0.0,0.05,9.25,9.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.4,11.45,0.0,0.05,9.15,9.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.45,11.5,0.0,0.05,9.1,9.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.5,11.55,0.0,0.05,9.05,9.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.55,11.6,0.0,0.05,9.0,9.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.6,11.65,0.0,0.05,8.95,9.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.65,11.7,0.0,0.05,8.9,9.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.7,11.75,0.0,0.05,8.8,8.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.7,12.3,0.0,0.05,9.5,9.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.75,11.8,0.0,0.05,8.75,8.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.8,11.85,0.0,0.05,8.7,8.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.85,11.9,0.0,0.05,8.65,8.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.9,11.95,0.0,0.05,8.6,8.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.95,12.0,0.0,0.05,8.55,8.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.0,12.05,0.0,0.05,8.5,8.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.05,12.1,0.0,0.05,8.4,8.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.1,12.15,0.0,0.05,8.35,8.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.15,12.2,0.0,0.05,8.3,8.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.2,12.25,0.0,0.05,8.25,8.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.25,12.3,0.0,0.05,8.2,8.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.3,12.35,0.0,0.05,8.15,8.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.3,12.85,0.0,0.05,9.55,9.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.35,12.4,0.0,0.05,8.05,8.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.4,12.8,-0.2,0.2,7.8,8.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.85,13.4,0.0,0.05,9.6,9.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.4,13.95,0.0,0.05,9.65,9.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.95,14.0,0.0,0.05,6.25,6.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.95,14.0,0.0,0.05,9.7,9.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=14.0,14.0,0.0,0.05,6.2,6.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.95,14.0,0.0,0.2,9.9,9.9, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=0.6,0.8,0.0,7.0,8.6,8.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=2.8,3.0,0.0,7.0,8.8,9.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=5.2,5.4,0.0,7.0,9.0,9.2, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=7.4,7.6,0.0,7.0,9.2,9.4, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=9.6,9.8,0.0,7.0,9.4,9.6, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=11.8,12.0,0.0,7.0,9.6,9.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-0.4,0.6,0.0,7.0,8.6,8.6, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=0.8,2.8,0.0,7.0,8.8,8.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=3.0,5.2,0.0,7.0,9.0,9.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=5.4,7.4,0.0,7.0,9.2,9.2, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=7.6,9.6,0.0,7.0,9.4,9.4, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=9.8,11.8,0.0,7.0,9.6,9.6, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=12.0,14.0,0.0,7.0,9.8,9.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=12.8,12.85,0.0,0.05,7.65,7.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.45,13.5,0.0,0.05,6.9,7.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.4,13.45,0.0,0.05,7.0,7.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.35,13.4,0.0,0.05,7.05,7.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.3,13.35,0.0,0.05,7.1,7.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.25,13.3,0.0,0.05,7.15,7.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.2,13.25,0.0,0.05,7.2,7.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.15,13.2,0.0,0.05,7.25,7.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.1,13.15,0.0,0.05,7.3,7.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.05,13.1,0.0,0.05,7.4,7.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.0,13.05,0.0,0.05,7.45,7.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.95,13.0,0.0,0.05,7.5,7.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.9,12.95,0.0,0.05,7.55,7.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.85,12.9,0.0,0.05,7.6,7.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.95,14.0,0.0,0.05,6.35,6.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.9,13.95,0.0,0.05,6.4,6.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.85,13.9,0.0,0.05,6.45,6.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.8,13.85,0.0,0.05,6.5,6.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.75,13.8,0.0,0.05,6.55,6.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.7,13.75,0.0,0.05,6.65,6.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.65,13.7,0.0,0.05,6.7,6.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.6,13.65,0.0,0.05,6.75,6.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.55,13.6,0.0,0.05,6.8,6.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.5,13.55,0.0,0.05,6.85,6.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.75,12.8,0.0,0.05,7.7,7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.4,12.45,0.0,0.05,8.0,8.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.6,10.0,-0.2,0.2,7.8,8.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.6,9.65,0.0,0.05,7.7,7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.8,7.2,-0.2,0.2,7.6,7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.95,4.0,0.0,0.05,7.45,7.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.0,4.05,0.0,0.05,7.5,7.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.0,4.4,-0.2,0.2,7.6,7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.05,4.1,0.0,0.05,7.7,7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.35,7.4,0.0,0.05,7.3,7.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.65,7.7,0.0,0.05,7.0,7.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.7,7.75,0.0,0.05,6.95,7.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.75,7.8,0.0,0.05,6.9,7.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.8,7.85,0.0,0.05,6.85,6.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.85,7.9,0.0,0.05,6.8,6.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.4,7.45,0.0,0.05,7.25,7.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.45,7.5,0.0,0.05,7.2,7.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.5,7.55,0.0,0.05,7.15,7.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.55,7.6,0.0,0.05,7.1,7.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.6,7.65,0.0,0.05,7.05,7.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.9,7.95,0.0,0.05,6.75,6.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.25,8.3,0.0,0.05,6.4,6.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.2,8.25,0.0,0.05,6.45,6.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.15,8.2,0.0,0.05,6.5,6.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.1,8.15,0.0,0.05,6.55,6.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.05,8.1,0.0,0.05,6.6,6.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.0,8.05,0.0,0.05,6.65,6.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.95,8.0,0.0,0.05,6.7,6.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.3,8.35,0.0,0.05,6.35,6.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.3,7.35,0.0,0.05,7.35,7.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.25,7.3,0.0,0.05,7.4,7.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.2,7.25,0.0,0.05,7.45,7.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.15,7.2,0.0,0.05,7.5,7.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.2,1.6,-0.2,0.2,7.3,7.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.25,1.3,0.0,0.05,7.4,7.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.6,1.65,0.0,0.05,7.15,7.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.55,1.6,0.0,0.05,7.2,7.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.5,1.55,0.0,0.05,7.25,7.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=-0.4,0.6,-7.0,0.0,8.6,8.6, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=0.6,0.8,-7.0,0.0,8.6,8.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=0.8,2.8,-7.0,0.0,8.8,8.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=2.8,3.0,-7.0,0.0,8.8,9.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=3.0,5.2,-7.0,0.0,9.0,9.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=5.2,5.4,-7.0,0.0,9.0,9.2, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=5.4,7.4,-7.0,0.0,9.2,9.2, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=7.6,9.6,-7.0,0.0,9.4,9.4, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=7.4,7.6,-7.0,0.0,9.2,9.4, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=9.8,11.8,-7.0,0.0,9.6,9.6, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction



```
&OBST XB=12.0,14.0,-7.0,0.0,9.8,9.8, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=11.8,12.0,-7.0,0.0,9.6,9.8, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=9.6,9.8,-7.0,0.0,9.4,9.6, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-0.04,14.0,-4.0,4.0,0.0,0.4, SURF_IDS='horak','INERT','INERT'/ Obstruction
```

```
&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.36,28.36,-7.2,7.2,0.0,0.0/ Vent
&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.4,-0.4,-7.2,7.2,0.0,8.609/ Vent01
&VENT SURF_ID='MIRROR', XB=14.0,14.0,-7.2,7.2,0.0,10.0/ Vent02
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.36,14.0,-4.0,-4.0,0.0,10.0/ Vent03
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.36,14.0,4.0,4.0,0.0,10.0/ Vent04
```

```
&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=6.4/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=0.0/
```

```
&TAIL /
```

## Model se sprinklerovým zařízením

```
&HEAD CHID='DP_sprinklery'/
&TIME T_END=2700.0/
&DUMP RENDER_FILE='horak.ge1', DT_RESTART=100.0/
```

```
&MESH ID='Mesh09', IJK=36,20,15, XB=-0.4,14.0,-4.0,4.0,0.0,6.0/
&MESH ID='Mesh13', IJK=72,4,20, XB=-0.4,14.0,-0.4,0.4,6.0,10.0/
&MESH ID='Mesh14', IJK=36,18,10, XB=-0.4,14.0,0.4,4.0,6.0,10.0/
&MESH ID='Mesh01', IJK=36,18,10, XB=-0.4,14.0,-4.0,-0.4,6.0,10.0/
```

```
&SPEC ID='WATER VAPOR'/
```

```
&PART ID='Water',
SPEC_ID='WATER VAPOR',
DIAMETER=2000.0,
MONODISPERSE=.TRUE.,
AGE=60.0,
SAMPLING_FACTOR=1/
```

```
&REAC ID='PE',
FUEL='REAC_FUEL',
FORMULA='C2H4',
CO_YIELD=0.024,
SOOT_YIELD=0.06,
HEAT_OF_COMBUSTION=4.3E4/
```

```
&PROP ID='Default_Water_Spray_Default_Water_Spray',
QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE',
ACTIVATION_TEMPERATURE=79.0,
PART_ID='Water',
K_FACTOR=115.0,
OPERATING_PRESSURE=1.25,
PARTICLE_VELOCITY=8.75,
SPRAY_ANGLE=60.0,75.0/
```

```
&DEVC ID='SOLID', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=1.4,0.0,6.2, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID01', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=4.2,0.0,6.2, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID02', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=7.0,0.0,6.2, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID03', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=9.8,0.0,6.2, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID04', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=12.6,0.0,6.2, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID05', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=1.4,0.0,7.3, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID06', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=4.2,0.0,7.6, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID07', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=7.0,0.0,7.6, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID08', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=9.8,0.0,7.6, IOR=3/
&DEVC ID='SOLID09', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=12.6,0.0,7.8, IOR=3/
&DEVC ID='SPRK', PROP_ID='Default_Water_Spray_Default_Water_Spray', XYZ=1.6,1.4,8.6/
&DEVC ID='SPRK01', PROP_ID='Default_Water_Spray_Default_Water_Spray', XYZ=4.7,1.4,8.8/
&DEVC ID='SPRK02', PROP_ID='Default_Water_Spray_Default_Water_Spray', XYZ=7.8,1.4,9.2/
&DEVC ID='SPRK03', PROP_ID='Default_Water_Spray_Default_Water_Spray', XYZ=10.9,1.4,9.4/
&DEVC ID='SPRK04', PROP_ID='Default_Water_Spray_Default_Water_Spray', XYZ=13.8,1.4,9.6/
&DEVC ID='SPRK', PROP_ID='Default_Water_Spray_Default_Water_Spray', XYZ=1.6,-1.4,8.6/
&DEVC ID='SPRK01', PROP_ID='Default_Water_Spray_Default_Water_Spray', XYZ=4.7,-1.4,8.8/
```

```

&DEVC ID='SPRK02', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=7.8,-1.4,9.2/
&DEVC ID='SPRK03', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=10.9,-1.4,9.4/
&DEVC ID='SPRK04', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=13.8,-1.4,9.6/
&SURF      ID='STEEL',
            RGB=146,202,166,
            ADIABATIC=.TRUE./
&SURF      ID='horak',
            RGB=255,61,208,
            HRRPUA=699.0,
            RAMP_Q='cashorak'
&RAMP      ID='cashorak', T=0.0, F=0.01/
&RAMP      ID='cashorak', T=420.0, F=0.02/
&RAMP      ID='cashorak', T=840.0, F=0.08/
&RAMP      ID='cashorak', T=1260.0, F=0.18/
&RAMP      ID='cashorak', T=1680.0, F=0.32/
&RAMP      ID='cashorak', T=2100.0, F=0.51/
&RAMP      ID='cashorak', T=2520.0, F=0.73/
&RAMP      ID='cashorak', T=2700.0, F=1.0/

```

```

&OBST XB=11.15,11.25,-0.05,0.05,6.25,9.4784, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=8.35,8.45,-0.05,0.05,6.25,9.2268, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=5.55,5.65,-0.1,0.1,6.25,8.9752, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=13.95,14.05,-0.05,0.05,6.25,9.73, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,14.0,-0.2,0.2,6.2,6.35, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.75,2.85,-0.05,0.05,6.25,8.7236, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=-0.4,0.0,-0.2,0.2,-0.1,8.5, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,0.05,0.0,0.05,8.4,8.5, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.05,0.1,0.0,0.05,8.35,8.55, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.1,0.2,0.0,0.05,8.3,8.4, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.1,0.6,0.0,0.05,8.45,8.55, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.2,0.25,0.0,0.05,8.25,8.35, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.25,0.3,0.0,0.05,8.2,8.3, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.3,0.35,0.0,0.05,8.15,8.25, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.35,0.45,0.0,0.05,8.1,8.2, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.45,0.5,0.0,0.05,8.05,8.15, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.5,0.55,0.0,0.05,8.0,8.1, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.55,0.65,0.0,0.05,7.95,8.05, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.6,1.15,0.0,0.05,8.5,8.6, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.65,0.7,0.0,0.05,7.9,8.0, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.7,0.75,0.0,0.05,7.85,7.95, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.75,0.8,0.0,0.05,7.8,7.9, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.8,0.9,0.0,0.05,7.75,7.85, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.9,0.95,0.0,0.05,7.7,7.8, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=0.95,1.0,0.0,0.05,7.65,7.75, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.0,1.05,0.0,0.05,7.6,7.7, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.05,1.15,0.0,0.05,7.55,7.65, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.15,1.2,0.0,0.05,7.5,7.6, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.15,1.7,0.0,0.05,8.55,8.65, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.2,1.25,0.0,0.05,7.45,7.55, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.65,1.7,0.0,0.05,7.1,7.2, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.7,1.75,0.0,0.05,7.05,7.15, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.7,2.25,0.0,0.05,8.6,8.7, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.75,1.8,0.0,0.05,7.0,7.1, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.8,1.9,0.0,0.05,6.95,7.05, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.9,1.95,0.0,0.05,6.9,7.0, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.95,2.0,0.0,0.05,6.85,6.95, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.0,2.1,0.0,0.05,6.8,6.9, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.1,2.15,0.0,0.05,6.75,6.85, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.15,2.2,0.0,0.05,6.7,6.8, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.2,2.25,0.0,0.05,6.65,6.75, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.25,2.35,0.0,0.05,6.6,6.7, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.25,2.8,0.0,0.05,8.65,8.75, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.35,2.4,0.0,0.05,6.55,6.65, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.4,2.45,0.0,0.05,6.5,6.6, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.45,2.5,0.0,0.05,6.45,6.55, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.5,2.6,0.0,0.05,6.4,6.5, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.6,2.65,0.0,0.05,6.35,6.45, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.65,2.7,0.0,0.05,6.3,6.4, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.7,2.75,0.0,0.05,6.25,6.35, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.75,2.85,0.0,0.05,6.2,6.3, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.8,3.35,0.0,0.05,8.7,8.8, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=2.85,2.9,0.0,0.05,6.25,6.35, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=3.35,3.95,0.0,0.05,8.75,8.85, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=3.95,4.5,0.0,0.05,8.8,8.9, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=4.35,4.4,0.0,0.05,7.75,7.85, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction

```

&OBST XB=4.4.4.45.0.0.0.05.7.8.7.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.45.4.5.0.0.0.05.7.85.7.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.5.4.55.0.0.0.05.7.9.8.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.5.5.05.0.0.0.05.8.85.8.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.55.4.6.0.0.0.05.7.95.8.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.6.4.7.0.0.0.05.8.0.8.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.7.4.75.0.0.0.05.8.05.8.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.75.4.8.0.0.0.05.8.1.8.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.8.4.85.0.0.0.05.8.15.8.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.85.4.9.0.0.0.05.8.2.8.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.9.4.95.0.0.0.05.8.25.8.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.95.5.0.0.0.0.05.8.3.8.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.0.5.05.0.0.0.05.8.35.8.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.05.5.1.0.0.0.05.8.4.8.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.05.5.45.0.0.0.05.8.9.9.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.1.5.15.0.0.0.05.8.45.8.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.15.5.2.0.0.0.05.8.5.8.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.2.5.25.0.0.0.05.8.55.8.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.25.5.3.0.0.0.05.8.6.8.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.3.5.35.0.0.0.05.8.65.8.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.35.5.4.0.0.0.05.8.7.8.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.4.5.45.0.0.0.05.8.75.8.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.45.5.5.0.0.0.05.8.8.9.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.5.5.55.0.0.0.05.8.85.9.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.55.5.6.0.0.0.05.8.9.9.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.6.5.65.0.0.0.05.8.9.9.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.65.5.7.0.0.0.05.8.85.9.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.7.5.75.0.0.0.05.8.8.8.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.7.6.15.0.0.0.05.8.95.9.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.75.5.8.0.0.0.05.8.75.8.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.8.5.85.0.0.0.05.8.7.8.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.85.5.9.0.0.0.05.8.65.8.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.9.5.95.0.0.0.05.8.6.8.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=5.95.6.0.0.0.0.05.8.55.8.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.0.6.05.0.0.0.05.8.5.8.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.05.6.1.0.0.0.05.8.45.8.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.1.6.15.0.0.0.05.8.4.8.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.15.6.2.0.0.0.05.8.35.8.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.15.6.7.0.0.0.05.9.0.9.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.2.6.25.0.0.0.05.8.3.8.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.25.6.3.0.0.0.05.8.25.8.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.3.6.35.0.0.0.05.8.2.8.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.35.6.4.0.0.0.05.8.15.8.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.4.6.45.0.0.0.05.8.1.8.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.45.6.5.0.0.0.05.8.05.8.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.5.6.6.0.0.0.05.8.0.8.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.6.6.65.0.0.0.05.7.95.8.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.65.6.7.0.0.0.05.7.9.8.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.7.6.75.0.0.0.05.7.85.7.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.7.7.25.0.0.0.05.9.05.9.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.75.6.8.0.0.0.05.7.8.7.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.8.6.85.0.0.0.05.7.75.7.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.85.6.9.0.0.0.05.7.7.7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.9.3.95.0.0.0.05.7.4.7.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.85.3.9.0.0.0.05.7.35.7.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.8.3.85.0.0.0.05.7.3.7.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.25.7.8.0.0.0.05.9.1.9.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.75.3.8.0.0.0.05.7.25.7.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.7.3.75.0.0.0.05.7.2.7.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.65.3.7.0.0.0.05.7.15.7.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.6.3.65.0.0.0.05.7.1.7.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.55.3.6.0.0.0.05.7.05.7.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.5.3.55.0.0.0.05.7.0.7.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.45.3.5.0.0.0.05.6.95.7.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.4.3.45.0.0.0.05.6.9.7.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.35.3.4.0.0.0.05.6.85.6.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.3.3.35.0.0.0.05.6.8.6.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.25.3.3.0.0.0.05.6.75.6.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.8.8.4.0.0.0.05.9.15.9.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.2.3.25.0.0.0.05.6.7.6.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.15.3.2.0.0.0.05.6.65.6.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.1.3.15.0.0.0.05.6.6.6.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.05.3.1.0.0.0.05.6.55.6.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.0.3.05.0.0.0.05.6.5.6.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.95.3.0.0.0.0.05.6.45.6.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction

&OBST XB=2.9,2.95,0.0,0.05,6.4,6.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=2.85,2.9,0.0,0.05,6.35,6.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.3,8.35,0.0,0.05,6.25,6.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.35,8.4,0.0,0.05,6.2,6.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.4,8.45,0.0,0.05,6.25,6.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.4,8.95,0.0,0.05,9.2,9.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.45,8.5,0.0,0.05,6.3,6.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.4,8.45,0.0,0.05,6.35,6.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.45,8.5,0.0,0.05,6.4,6.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.5,8.55,0.0,0.05,6.45,6.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.55,8.6,0.0,0.05,6.5,6.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.6,8.65,0.0,0.05,6.55,6.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.65,8.7,0.0,0.05,6.65,6.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.7,8.75,0.0,0.05,6.7,6.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.75,8.8,0.0,0.05,6.75,6.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.8,8.85,0.0,0.05,6.8,6.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.85,8.9,0.0,0.05,6.85,6.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.95,9.5,0.0,0.05,9.25,9.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.9,8.95,0.0,0.05,6.9,7.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.95,9.0,0.0,0.05,7.0,7.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.0,9.05,0.0,0.05,7.05,7.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.05,9.1,0.0,0.05,7.1,7.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.1,9.15,0.0,0.05,7.15,7.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.15,9.2,0.0,0.05,7.2,7.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.2,9.25,0.0,0.05,7.25,7.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.25,9.3,0.0,0.05,7.3,7.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.3,9.35,0.0,0.05,7.4,7.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.35,9.4,0.0,0.05,7.45,7.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.4,9.45,0.0,0.05,7.5,7.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.5,10.05,0.0,0.05,9.3,9.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.45,9.5,0.0,0.05,7.55,7.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.5,9.55,0.0,0.05,7.6,7.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.55,9.6,0.0,0.05,7.65,7.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.85,9.9,0.0,0.05,7.95,8.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.9,9.95,0.0,0.05,7.95,8.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.95,10.0,0.0,0.05,8.0,8.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.0,10.05,0.0,0.05,8.05,8.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.05,10.1,0.0,0.05,8.15,8.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.05,10.6,0.0,0.05,9.35,9.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.1,10.15,0.0,0.05,8.2,8.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.15,10.2,0.0,0.05,8.25,8.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.2,10.25,0.0,0.05,8.3,8.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.25,10.3,0.0,0.05,8.35,8.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.3,10.35,0.0,0.05,8.4,8.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.35,10.4,0.0,0.05,8.5,8.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.4,10.45,0.0,0.05,8.55,8.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.45,10.5,0.0,0.05,8.6,8.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.5,10.55,0.0,0.05,8.65,8.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.55,10.6,0.0,0.05,8.7,8.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.6,10.65,0.0,0.05,8.75,8.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.6,11.05,0.0,0.05,9.4,9.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.65,10.7,0.0,0.05,8.8,8.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.7,10.75,0.0,0.05,8.9,9.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.75,10.8,0.0,0.05,8.95,9.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.8,10.85,0.0,0.05,9.0,9.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.85,10.9,0.0,0.05,9.05,9.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.9,10.95,0.0,0.05,9.1,9.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=10.95,11.0,0.0,0.05,9.15,9.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.0,11.05,0.0,0.05,9.25,9.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.05,11.1,0.0,0.05,9.3,9.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.1,11.15,0.0,0.05,9.35,9.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.15,11.25,0.0,0.05,9.4,9.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.25,11.3,0.0,0.05,9.35,9.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.3,11.35,0.0,0.05,9.3,9.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.3,11.7,0.0,0.05,9.45,9.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.35,11.4,0.0,0.05,9.25,9.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.4,11.45,0.0,0.05,9.15,9.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.45,11.5,0.0,0.05,9.1,9.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.5,11.55,0.0,0.05,9.05,9.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.55,11.6,0.0,0.05,9.0,9.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.6,11.65,0.0,0.05,8.95,9.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.65,11.7,0.0,0.05,8.9,9.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.7,11.75,0.0,0.05,8.8,8.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.7,12.3,0.0,0.05,9.5,9.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.75,11.8,0.0,0.05,8.75,8.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction

&OBST XB=11.8,11.85,0.0,0.05,8.7,8.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.85,11.9,0.0,0.05,8.65,8.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.9,11.95,0.0,0.05,8.6,8.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=11.95,12.0,0.0,0.05,8.55,8.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.0,12.05,0.0,0.05,8.5,8.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.05,12.1,0.0,0.05,8.4,8.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.1,12.15,0.0,0.05,8.35,8.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.15,12.2,0.0,0.05,8.3,8.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.2,12.25,0.0,0.05,8.25,8.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.25,12.3,0.0,0.05,8.2,8.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.3,12.35,0.0,0.05,8.15,8.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.3,12.85,0.0,0.05,9.55,9.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.35,12.4,0.0,0.05,8.05,8.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.4,12.8,-0.2,0.2,7.8,8.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.85,13.4,0.0,0.05,9.6,9.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.4,13.95,0.0,0.05,9.65,9.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.95,14.0,0.0,0.05,6.25,6.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.95,14.0,0.0,0.05,9.7,9.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=14.0,14.0,0.0,0.05,6.2,6.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.95,14.0,0.0,0.2,9.9,9.9, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=0.6,0.8,0.0,7.0,8.6,8.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=2.8,3.0,0.0,7.0,8.8,9.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=5.2,5.4,0.0,7.0,9.0,9.2, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=7.4,7.6,0.0,7.0,9.2,9.4, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=9.6,9.8,0.0,7.0,9.4,9.6, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=11.8,12.0,0.0,7.0,9.6,9.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-0.4,0.6,0.0,7.0,8.6,8.6, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=0.8,2.8,0.0,7.0,8.8,8.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=3.0,5.2,0.0,7.0,9.0,9.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=5.4,7.4,0.0,7.0,9.2,9.2, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=7.6,9.6,0.0,7.0,9.4,9.4, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=9.8,11.8,0.0,7.0,9.6,9.6, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=12.0,14.0,0.0,7.0,9.8,9.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=12.8,12.85,0.0,0.05,7.65,7.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.45,13.5,0.0,0.05,6.9,7.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.4,13.45,0.0,0.05,7.0,7.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.35,13.4,0.0,0.05,7.05,7.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.3,13.35,0.0,0.05,7.1,7.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.25,13.3,0.0,0.05,7.15,7.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.2,13.25,0.0,0.05,7.2,7.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.15,13.2,0.0,0.05,7.25,7.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.1,13.15,0.0,0.05,7.3,7.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.05,13.1,0.0,0.05,7.4,7.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.0,13.05,0.0,0.05,7.45,7.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.95,13.0,0.0,0.05,7.5,7.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.9,12.95,0.0,0.05,7.55,7.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.85,12.9,0.0,0.05,7.6,7.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.95,14.0,0.0,0.05,6.35,6.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.9,13.95,0.0,0.05,6.4,6.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.85,13.9,0.0,0.05,6.45,6.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.8,13.85,0.0,0.05,6.5,6.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.75,13.8,0.0,0.05,6.55,6.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.7,13.75,0.0,0.05,6.65,6.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.65,13.7,0.0,0.05,6.7,6.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.6,13.65,0.0,0.05,6.75,6.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.55,13.6,0.0,0.05,6.8,6.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=13.5,13.55,0.0,0.05,6.85,6.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.75,12.8,0.0,0.05,7.7,7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=12.4,12.45,0.0,0.05,8.0,8.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.6,10.0,-0.2,0.2,7.8,8.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=9.6,9.65,0.0,0.05,7.7,7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=6.8,7.2,-0.2,0.2,7.6,7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=3.95,4.0,0.0,0.05,7.45,7.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.0,4.05,0.0,0.05,7.5,7.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.0,4.4,-0.2,0.2,7.6,7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=4.05,4.1,0.0,0.05,7.7,7.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.35,7.4,0.0,0.05,7.3,7.4, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.65,7.7,0.0,0.05,7.0,7.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.7,7.75,0.0,0.05,6.95,7.05, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.75,7.8,0.0,0.05,6.9,7.0, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.8,7.85,0.0,0.05,6.85,6.95, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.85,7.9,0.0,0.05,6.8,6.9, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.4,7.45,0.0,0.05,7.25,7.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.45,7.5,0.0,0.05,7.2,7.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.5,7.55,0.0,0.05,7.15,7.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction

&OBST XB=7.55,7.6,0.0,0.05,7.1,7.2, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.6,7.65,0.0,0.05,7.05,7.15, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.9,7.95,0.0,0.05,6.75,6.85, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.25,8.3,0.0,0.05,6.4,6.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.2,8.25,0.0,0.05,6.45,6.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.15,8.2,0.0,0.05,6.5,6.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.1,8.15,0.0,0.05,6.55,6.65, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.05,8.1,0.0,0.05,6.6,6.7, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.0,8.05,0.0,0.05,6.65,6.75, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.95,8.0,0.0,0.05,6.7,6.8, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=8.3,8.35,0.0,0.05,6.35,6.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.3,7.35,0.0,0.05,7.35,7.45, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.25,7.3,0.0,0.05,7.4,7.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.2,7.25,0.0,0.05,7.45,7.55, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=7.15,7.2,0.0,0.05,7.5,7.6, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.2,1.6,-0.2,0.2,7.3,7.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.25,1.3,0.0,0.05,7.4,7.5, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.6,1.65,0.0,0.05,7.15,7.25, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.55,1.6,0.0,0.05,7.2,7.3, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=1.5,1.55,0.0,0.05,7.25,7.35, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
&OBST XB=-0.4,0.6,-7.0,0.0,8.6,8.6, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-0.6,0.8,-7.0,0.0,8.6,8.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-0.8,2.8,-7.0,0.0,8.8,8.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-2.8,3.0,-7.0,0.0,8.8,9.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-3.0,5.2,-7.0,0.0,9.0,9.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-5.2,5.4,-7.0,0.0,9.0,9.2, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-5.4,7.4,-7.0,0.0,9.2,9.2, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-7.6,9.6,-7.0,0.0,9.4,9.4, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-7.4,7.6,-7.0,0.0,9.2,9.4, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-9.8,11.8,-7.0,0.0,9.6,9.6, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-12.0,14.0,-7.0,0.0,9.8,9.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-11.8,12.0,-7.0,0.0,9.6,9.8, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-9.6,9.8,-7.0,0.0,9.4,9.6, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
&OBST XB=-0.04,14.0,-4.0,4.0,0.0,0.4, SURF\_IDS='horak','INERT','INERT'/ Obstruction

&VENT SURF\_ID='INERT', XB=-0.36,28.36,-7.2,7.2,0.0,0.0/ Vent  
&VENT SURF\_ID='INERT', XB=-0.4,-0.4,-7.2,7.2,0.0,8.609/ Vent01  
&VENT SURF\_ID='MIRROR', XB=14.0,14.0,-7.2,7.2,0.0,10.0/ Vent02  
&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=-0.36,14.0,-4.0,-4.0,0.0,10.0/ Vent03  
&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=-0.36,14.0,4.0,4.0,0.0,10.0/ Vent04

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/  
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=6.4/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=0.0/

&TAIL /

## Příloha 3 – Vstupy do programu FDS: Studie chlazení ocelové konstrukce pomocí CFD modelu

V příloze jsou textové soubory, které slouží jako vstupy k výpočtu programem FDS pro vytvoření numerického modelu ke kapitole 7 této práce.

### Jmenovitá otevírací teplota 68 °C, K faktor 57, velikost kapek 1 mm

```
&HEAD CHID='68_1000_57'/
&TIME T_END=900.0/
&DUMP RENDER_FILE='zkus_mist2.ge1', DT_RESTART=30.0/

&MESH ID='Mesh01', IJK=56,46,40, XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0/

&SPEC ID='WATER VAPOR'/

&PART      ID='Water',
           SPEC_ID='WATER VAPOR',
           DIAMETER=1000.0,
           MONODISPERSE=.TRUE.,
           AGE=60.0,
           SAMPLING_FACTOR=1/

&REAC      ID='PE',
           FUEL='REAC_FUEL',
           FORMULA='C2H4',
           CO_YIELD=0.024,
           SOOT_YIELD=0.06,
           HEAT_OF_COMBUSTION=4.3E4/

&PROP      ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray',
           QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE',
           ACTIVATION_TEMPERATURE=68.0,
           PART_ID='Water',
           K_FACTOR=57.0,
           OPERATING_PRESSURE=1.0,
           PARTICLE_VELOCITY=8.75,
           SPRAY_ANGLE=60.0,75.0/

&DEVC ID='SOLID', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,2.0,2.9, IOR=3/
&DEVC ID='SPRK01', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=2.5,0.5,3.8/
&DEVC ID='SPRK02', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=2.5,3.5,3.8/

&SURF      ID='STEEL',
           RGB=146,202,166,
           ADIABATIC=.TRUE./

&SURF      ID='horak',
           RGB=255,61,208,
           HRRPUA=500.0,
           RAMP_Q='horak_RAMP_Q',
           &RAMP ID='horak_RAMP_Q', T=0.0, F=0.1/

&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=3.0, F=0.2/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=6.0, F=0.3/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=9.0, F=0.4/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=12.0, F=0.5/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=15.0, F=0.6/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=18.0, F=0.7/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=21.0, F=0.8/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=24.0, F=0.9/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=27.0, F=1.0/

&OBST XB=0.0,5.0,-0.3,0.0,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
```

&OBST XB=0.0,5.0,4.0,4.3,0.0,4.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
 &OBST XB=-0.3,0.0,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
 &OBST XB=5.0,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction  
 &OBST XB=0.0,5.0,1.9,2.1,2.9,3.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction  
 &OBST XB=1.9,3.1,1.6,2.4,0.0,0.2, SURF\_IDS='horak','INERT','INERT'/ Obstruction

&HOLE XB=0.0,5.0,3.95,4.35,-0.01,0.5/ Hole  
 &HOLE XB=0.0,5.0,-0.35,0.05,-0.01,0.5/ Hole

&VENT SURF\_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,0.0/ Vent  
 &VENT SURF\_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,4.0,4.0/ Vent01  
 &VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,4.3,4.3,0.0,0.5/ Vent02  
 &VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,-0.3,-0.3,0.0,0.5/ Vent03

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/  
 &BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.0/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.9/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.5/

&TAIL /

## **Jmenovitá otevírací teplota 68 °C, K faktor 80, velikost kapek 1 mm**

&HEAD CHID='68\_1000\_80'/  
 &TIME T\_END=900.0/  
 &DUMP RENDER\_FILE='zkus\_mist2.ge1', DT\_RESTART=30.0/

&MESH ID='Mesh01', IJK=56,46,40, XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0/

&SPEC ID='WATER VAPOR'/

&PART ID='Water',  
 SPEC\_ID='WATER VAPOR',  
 DIAMETER=1000.0,  
 MONODISPERSE=.TRUE.,  
 AGE=60.0,  
 SAMPLING\_FACTOR=1/

&REAC ID='PE',  
 FUEL='REAC\_FUEL',  
 FORMULA='C2H4',  
 CO\_YIELD=0.024,  
 SOOT\_YIELD=0.06,  
 HEAT\_OF\_COMBUSTION=4.3E4/

&PROP ID='Default\_Water Spray\_Default\_Water Spray',  
 QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE',  
 ACTIVATION\_TEMPERATURE=68.0,  
 PART\_ID='Water',  
 K\_FACTOR=80.0,  
 OPERATING\_PRESSURE=1.0,  
 PARTICLE\_VELOCITY=8.75,  
 SPRAY\_ANGLE=60.0,75.0/

&DEVC ID='SOLID', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,2.0,2.9, IOR=3/  
 &DEVC ID='SPRK01', PROP\_ID='Default\_Water Spray\_Default\_Water Spray', XYZ=2.5,0.5,3.8/  
 &DEVC ID='SPRK02', PROP\_ID='Default\_Water Spray\_Default\_Water Spray', XYZ=2.5,3.5,3.8/

&SURF ID='STEEL',  
 RGB=146,202,166,  
 ADIABATIC=.TRUE./

&SURF ID='horak',  
 RGB=255,61,208,  
 HRRPUA=500.0,  
 RAMP\_Q='horak\_RAMP\_Q',  
 &RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=0.0, F=0.1/

&RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=3.0, F=0.2/  
 &RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=6.0, F=0.3/



```

&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=9.0, F=0.4/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=12.0, F=0.5/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=15.0, F=0.6/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=18.0, F=0.7/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=21.0, F=0.8/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=24.0, F=0.9/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=27.0, F=1.0/

&OBST XB=0.0,5.0,-0.3,0.0,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,5.0,4.0,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-0.3,0.0,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=5.0,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,5.0,1.9,2.1,2.9,3.1, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.9,3.1,1.6,2.4,0.0,0.2, SURF_IDS='horak','INERT','INERT'/ Obstruction

&HOLE XB=0.0,5.0,3.95,4.35,-0.01,0.5/ Hole
&HOLE XB=0.0,5.0,-0.35,0.05,-0.01,0.5/ Hole

&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,0.0/ Vent
&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,4.0,4.0/ Vent01
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,4.3,4.3,0.0,0.5/ Vent02
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,-0.3,-0.3,0.0,0.5/ Vent03

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.9/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.5/

&TAIL /

```

## **Jmenovitá otevírací teplota 68 °C, K faktor 115, velikost kapek 1 mm**

```

&HEAD CHID='68_1000_115'/
&TIME T_END=900.0/
&DUMP RENDER_FILE='zkus_mist2.gel', DT_RESTART=30.0/

&MESH ID='Mesh01', IJK=56,46,40, XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0/

&SPEC ID='WATER VAPOR'/

&PART      ID='Water',
            SPEC_ID='WATER VAPOR',
            DIAMETER=1000.0,
            MONODISPERSE=.TRUE.,
            AGE=60.0,
            SAMPLING_FACTOR=1/

&REAC      ID='PE',
            FUEL='REAC_FUEL',
            FORMULA='C2H4',
            CO_YIELD=0.024,
            SOOT_YIELD=0.06,
            HEAT_OF_COMBUSTION=4.3E4/

&PROP      ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray',
            QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE',
            ACTIVATION_TEMPERATURE=68.0,
            PART_ID='Water',
            K_FACTOR=115.0,
            OPERATING_PRESSURE=1.0,
            PARTICLE_VELOCITY=8.75,
            SPRAY_ANGLE=60.0,75.0/

&DEVC ID='SOLID', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,2.0,2.9, IOR=3/
&DEVC ID='SPRK01', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=2.5,0.5,3.8/
&DEVC ID='SPRK02', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=2.5,3.5,3.8/

&SURF      ID='STEEL',
            RGB=146,202,166,

```

```

ADIABATIC=.TRUE./

&SURF      ID='horak',
           RGB=255,61,208,
           HRRPUA=500.0,
           RAMP_Q='horak_RAMP_Q',
           &RAMP ID='horak_RAMP_Q', T=0.0, F=0.1/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=3.0, F=0.2/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=6.0, F=0.3/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=9.0, F=0.4/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=12.0, F=0.5/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=15.0, F=0.6/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=18.0, F=0.7/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=21.0, F=0.8/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=24.0, F=0.9/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=27.0, F=1.0/

&OBST XB=0.0,5.0,-0.3,0.0,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,5.0,4.0,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-0.3,0.0,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=5.0,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,5.0,1.9,2.1,2.9,3.1, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.9,3.1,1.6,2.4,0.0,0.2, SURF_IDS='horak','INERT','INERT'/ Obstruction

&HOLE XB=0.0,5.0,3.95,4.35,-0.01,0.5/ Hole
&HOLE XB=0.0,5.0,-0.35,0.05,-0.01,0.5/ Hole

&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,0.0/ Vent
&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,4.0,4.0/ Vent01
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,4.3,4.3,0.0,0.5/ Vent02
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,-0.3,-0.3,0.0,0.5/ Vent03

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.9/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.5/

&TAIL /

```

## **Jmenovitá otevírací teplota 68 °C, K faktor 57, velikost kapek 3 mm**

```

&HEAD CHID='68_3000_57'/
&TIME T_END=900.0/
&DUMP RENDER_FILE='zkus_mist2.ge1', DT_RESTART=30.0/

&MESH ID='Mesh01', IJK=56,46,40, XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0/

&SPEC ID='WATER VAPOR'/

&PART      ID='Water',
           SPEC_ID='WATER VAPOR',
           DIAMETER=3000.0,
           MONODISPERSE=.TRUE.,
           AGE=60.0,
           SAMPLING_FACTOR=1/

&REAC      ID='PE',
           FUEL='REAC_FUEL',
           FORMULA='C2H4',
           CO_YIELD=0.024,
           SOOT_YIELD=0.06,
           HEAT_OF_COMBUSTION=4.3E4/

&PROP      ID='Default_Water_Spray_Default_Water_Spray',
           QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE',
           ACTIVATION_TEMPERATURE=68.0,
           PART_ID='Water',
           K_FACTOR=57.0,

```

```

OPERATING_PRESSURE=1.0,
PARTICLE_VELOCITY=8.75,
SPRAY_ANGLE=60.0,75.0/
&DEVC ID='SOLID', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,2.0,2.9, IOR=3/
&DEVC ID='SPRK01', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=2.5,0.5,3.8/
&DEVC ID='SPRK02', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=2.5,3.5,3.8/

&SURF      ID='STEEL',
           RGB=146,202,166,
           ADIABATIC=.TRUE./

&SURF      ID='horak',
           RGB=255,61,208,
           HRRPUA=500.0,
           RAMP_Q='horak_RAMP_Q',
           &RAMP ID='horak_RAMP_Q', T=0.0, F=0.1/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=3.0, F=0.2/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=6.0, F=0.3/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=9.0, F=0.4/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=12.0, F=0.5/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=15.0, F=0.6/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=18.0, F=0.7/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=21.0, F=0.8/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=24.0, F=0.9/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=27.0, F=1.0/

&OBST XB=0.0,5.0,-0.3,0.0,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,5.0,4.0,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-0.3,0.0,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=5.0,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,5.0,1.9,2.1,2.9,3.1, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.9,3.1,1.6,2.4,0.0,0.2, SURF_IDS='horak','INERT','INERT'/ Obstruction

&HOLE XB=0.0,5.0,3.95,4.35,-0.01,0.5/ Hole
&HOLE XB=0.0,5.0,-0.35,0.05,-0.01,0.5/ Hole

&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,0.0/ Vent
&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,4.0,4.0/ Vent01
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,4.3,4.3,0.0,0.5/ Vent02
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,-0.3,-0.3,0.0,0.5/ Vent03

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=2.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.9/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.5/

&TAIL /

```

## **Jmenovitá otevírací teplota 68 °C, K faktor 80, velikost kapek 3 mm**

```

&HEAD CHID='68_3000_80'/
&TIME T_END=900.0/
&DUMP RENDER_FILE='zkus_mist2.ge1', DT_RESTART=30.0/

&MESH ID='Mesh01', IJK=56,46,40, XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0/

&SPEC ID='WATER VAPOR'/

&PART      ID='Water',
           SPEC_ID='WATER VAPOR',
           DIAMETER=3000.0,
           MONODISPERSE=.TRUE.,
           AGE=60.0,
           SAMPLING_FACTOR=1/

&REAC      ID='PE',
           FUEL='REAC_FUEL',
           FORMULA='C2H4',

```

```

CO_YIELD=0.024,
SOOT_YIELD=0.06,
HEAT_OF_COMBUSTION=4.3E4/

&PROP      ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray',
           QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE',
           ACTIVATION_TEMPERATURE=68.0,
           PART_ID='Water',
           K_FACTOR=80.0,
           OPERATING_PRESSURE=1.0,
           PARTICLE_VELOCITY=8.75,
           SPRAY_ANGLE=60.0,75.0/
&DEVC ID='SOLID', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,2.0,2.9, IOR=3/
&DEVC ID='SPRK01', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=2.5,0.5,3.8/
&DEVC ID='SPRK02', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=2.5,3.5,3.8/

&SURF      ID='STEEL',
           RGB=146,202,166,
           ADIABATIC=.TRUE./

&SURF      ID='horak',
           RGB=255,61,208,
           HRRPUA=500.0,
           RAMP_Q='horak_RAMP_Q',
           &RAMP ID='horak_RAMP_Q', T=0.0, F=0.1/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=3.0, F=0.2/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=6.0, F=0.3/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=9.0, F=0.4/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=12.0, F=0.5/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=15.0, F=0.6/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=18.0, F=0.7/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=21.0, F=0.8/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=24.0, F=0.9/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=27.0, F=1.0/

&OBST XB=0.0,5.0,-0.3,0.0,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,5.0,4.0,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-0.3,0.0,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=5.0,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,5.0,1.9,2.1,2.9,3.1, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.9,3.1,1.6,2.4,0.0,0.2, SURF_IDS='horak','INERT','INERT'/ Obstruction

&HOLE XB=0.0,5.0,3.95,4.35,-0.01,0.5/ Hole
&HOLE XB=0.0,5.0,-0.35,0.05,-0.01,0.5/ Hole

&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,0.0/ Vent
&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,4.0,4.0/ Vent01
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,4.3,4.3,0.0,0.5/ Vent02
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,-0.3,-0.3,0.0,0.5/ Vent03

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=2.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.9/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.5/

&TAIL /

Jmenovitá otevírací teplota 68 °C, K faktor 115, velikost kapek 3 mm

&HEAD CHID='68_3000_115'/
&TIME T_END=900.0/
&DUMP RENDER_FILE='zkus_mist2.ge1', DT_RESTART=30.0/

&MESH ID='Mesh01', IJK=56,46,40, XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0/

&SPEC ID='WATER VAPOR'/

&PART      ID='Water',

```

```

SPEC_ID='WATER VAPOR',
DIAMETER=3000.0,
MONODISPERSE=.TRUE.,
AGE=60.0,
SAMPLING_FACTOR=1/

&REAC      ID='PE',
           FUEL='REAC_FUEL',
           FORMULA='C2H4',
           CO_YIELD=0.024,
           SOOT_YIELD=0.06,
           HEAT_OF_COMBUSTION=4.3E4/

&PROP      ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray',
           QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE',
           ACTIVATION_TEMPERATURE=68.0,
           PART_ID='Water',
           K_FACTOR=115.0,
           OPERATING_PRESSURE=1.0,
           PARTICLE_VELOCITY=8.75,
           SPRAY_ANGLE=60.0,75.0/

&DEVC ID='SOLID', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,2.0,2.9, IOR=3/
&DEVC ID='SPRK01', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=2.5,0.5,3.8/
&DEVC ID='SPRK02', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=2.5,3.5,3.8/

&SURF      ID='STEEL',
           RGB=146,202,166,
           ADIABATIC=.TRUE./

&SURF      ID='horak',
           RGB=255,61,208,
           HRRPUA=500.0,
           RAMP_Q='horak_RAMP_Q',
           &RAMP ID='horak_RAMP_Q', T=0.0, F=0.1/

&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=3.0, F=0.2/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=6.0, F=0.3/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=9.0, F=0.4/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=12.0, F=0.5/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=15.0, F=0.6/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=18.0, F=0.7/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=21.0, F=0.8/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=24.0, F=0.9/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=27.0, F=1.0/

&OBST XB=0.0,5.0,-0.3,0.0,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,5.0,4.0,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-0.3,0.0,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=5.0,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,5.0,1.9,2.1,2.9,3.1, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.9,3.1,1.6,2.4,0.0,0.2, SURF_IDS='horak','INERT','INERT'/ Obstruction

&HOLE XB=0.0,5.0,3.95,4.35,-0.01,0.5/ Hole
&HOLE XB=0.0,5.0,-0.35,0.05,-0.01,0.5/ Hole

&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,0.0/ Vent
&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,4.0,4.0/ Vent01
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,4.3,4.3,0.0,0.5/ Vent02
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,-0.3,-0.3,0.0,0.5/ Vent03

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.9/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.5/

&TAIL /

```

## Jmenovitá otevírací teplota 57 °C, K faktor 80, velikost kapek 1 mm

```

&HEAD CHID='57_1000_80'/
&TIME T_END=900.0/
&DUMP RENDER_FILE='zkus_mist2.ge1', DT_RESTART=30.0/

&MESH ID='Mesh01', IJK=56,46,40, XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0/

&SPEC ID='WATER VAPOR'/

&PART      ID='Water',
            SPEC_ID='WATER VAPOR',
            DIAMETER=1000.0,
            MONODISPERSE=.TRUE.,
            AGE=60.0,
            SAMPLING_FACTOR=1/

&REAC      ID='PE',
            FUEL='REAC_FUEL',
            FORMULA='C2H4',
            CO_YIELD=0.024,
            SOOT_YIELD=0.06,
            HEAT_OF_COMBUSTION=4.3E4/

&PROP      ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray',
            QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE',
            ACTIVATION_TEMPERATURE=57.0,
            PART_ID='Water',
            K_FACTOR=80.0,
            OPERATING_PRESSURE=1.0,
            PARTICLE_VELOCITY=8.75,
            SPRAY_ANGLE=60.0,75.0/

&DEVC ID='SOLID', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,2.0,2.9, IOR=3/
&DEVC ID='SPRK01', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=2.5,0.5,3.8/
&DEVC ID='SPRK02', PROP_ID='Default_Water Spray_Default_Water Spray', XYZ=2.5,3.5,3.8/

&SURF      ID='STEEL',
            RGB=146,202,166,
            ADIABATIC=.TRUE./

&SURF      ID='horak',
            RGB=255,61,208,
            HRRPUA=500.0,
            RAMP_Q='horak_RAMP_Q',
            &RAMP ID='horak_RAMP_Q', T=0.0, F=0.1/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=3.0, F=0.2/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=6.0, F=0.3/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=9.0, F=0.4/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=12.0, F=0.5/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=15.0, F=0.6/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=18.0, F=0.7/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=21.0, F=0.8/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=24.0, F=0.9/
&RAMP      ID='horak_RAMP_Q', T=27.0, F=1.0/

&OBST XB=0.0,5.0,-0.3,0.0,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,5.0,4.0,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-0.3,0.0,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=5.0,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,5.0,1.9,2.1,2.9,3.1, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
&OBST XB=1.9,3.1,1.6,2.4,0.0,0.2, SURF_IDS='horak','INERT','INERT'/ Obstruction

&HOLE XB=0.0,5.0,3.95,4.35,-0.01,0.5/ Hole
&HOLE XB=0.0,5.0,-0.35,0.05,-0.01,0.5/ Hole

&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,0.0/ Vent
&VENT SURF_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,4.0,4.0/ Vent01
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,4.3,4.3,0.0,0.5/ Vent02
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,-0.3,-0.3,0.0,0.5/ Vent03

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

```

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.0/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.9/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.5/

&TAIL /

## **Jmenovitá otevírací teplota 79 °C, K faktor 80, velikost kapek 1 mm**

&HEAD CHID='79\_1000\_80/  
 &TIME T\_END=900.0/  
 &DUMP RENDER\_FILE='zkus\_mist2.ge1', DT\_RESTART=30.0/

&MESH ID='Mesh01', IJK=56,46,40, XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0/

&SPEC ID='WATER VAPOR'/

&PART ID='Water',  
 SPEC\_ID='WATER VAPOR',  
 DIAMETER=1000.0,  
 MONODISPERSE=.TRUE.,  
 AGE=60.0,  
 SAMPLING\_FACTOR=1/

&REAC ID='PE',  
 FUEL='REAC\_FUEL',  
 FORMULA='C2H4',  
 CO\_YIELD=0.024,  
 SOOT\_YIELD=0.06,  
 HEAT\_OF\_COMBUSTION=4.3E4/

&PROP ID='Default\_Water Spray\_Default\_Water Spray',  
 QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE',  
 ACTIVATION\_TEMPERATURE=79.0,  
 PART\_ID='Water',  
 K\_FACTOR=80.0,  
 OPERATING\_PRESSURE=1.0,  
 PARTICLE\_VELOCITY=8.75,  
 SPRAY\_ANGLE=60.0,75.0/

&DEVC ID='SOLID', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,2.0,2.9, IOR=3/

&DEVC ID='SPRK01', PROP\_ID='Default\_Water Spray\_Default\_Water Spray', XYZ=2.5,0.5,3.8/

&DEVC ID='SPRK02', PROP\_ID='Default\_Water Spray\_Default\_Water Spray', XYZ=2.5,3.5,3.8/

&SURF ID='STEEL',  
 RGB=146,202,166,  
 ADIABATIC=.TRUE./

&SURF ID='horak',  
 RGB=255,61,208,  
 HRRPUA=500.0,  
 RAMP\_Q='horak\_RAMP\_Q',  
 &RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=0.0, F=0.1/

&RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=3.0, F=0.2/

&RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=6.0, F=0.3/

&RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=9.0, F=0.4/

&RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=12.0, F=0.5/

&RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=15.0, F=0.6/

&RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=18.0, F=0.7/

&RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=21.0, F=0.8/

&RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=24.0, F=0.9/

&RAMP ID='horak\_RAMP\_Q', T=27.0, F=1.0/

&OBST XB=0.0,5.0,-0.3,0.0,0.0,4.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=0.0,5.0,4.0,4.3,0.0,4.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=-0.3,0.0,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=5.0,5.3,-0.3,4.3,0.0,4.0, SURF\_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=0.0,5.0,1.9,2.1,2.9,3.1, SURF\_ID='STEEL'/ Obstruction

---

&OBST XB=1.9,3.1,1.6,2.4,0.0,0.2, SURF\_IDS='horak','INERT','INERT'/ Obstruction

&HOLE XB=0.0,5.0,3.95,4.35,-0.01,0.5/ Hole

&HOLE XB=0.0,5.0,-0.35,0.05,-0.01,0.5/ Hole

&VENT SURF\_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,0.0,0.0/ Vent

&VENT SURF\_ID='INERT', XB=-0.3,5.3,-0.3,4.3,4.0,4.0/ Vent01

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,4.3,4.3,0.0,0.5/ Vent02

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.0,5.0,-0.3,-0.3,0.0,0.5/ Vent03

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.9/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.5/

&TAIL /