

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta stavební

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Nikola Šťastná

### Řešení systému odvodu kouře a tepla průmyslové haly

Vedoucí práce: Ing. Daniel Adamovský, PhD.

Studijní obor: Architektura a stavitelství

Praha 2018



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šťastná Jméno: Nikola Osobní číslo: 438995  
Zadávající katedra: katedra technických zařízení budov  
Studijní program: Architektura a stavitelství  
Studijní obor: Architektura a stavitelství

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Řešení systému odvodu kouře a tepla průmyslové haly  
Název bakalářské práce anglicky: Solution for fire and smoke ventilation of an industrial hall

Pokyny pro vypracování:  
Zpracujte přehled základních požadavků na požární větrání halových objektů. Pro zvolený objekt připravte koncepční řešení 3 variant požárního větrání. Varianty posuďte prostřednictvím modelu ve výpočetním programu FDS. Proveďte analýzu výsledků a porovnání chování těchto variant při požáru. Formulujte závěry. Zpracujte projekční řešení pro vybrané varianty ZOKT.

Seznam doporučené literatury:

ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty, ČNI, 2009.

ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty, ČNI, 2010.

Karlsson, B., Quintiere, J.G. Enclosure fire dynamics, CRC Press, 2000.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018  
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.*

20.2.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod 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 .....

.....

Nikola Šťastná

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat panu Ing. Danielovi Adamovskému, PhD. za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Dále bych chtěla poděkovat svému šefovi Jakobovi Švecovi, za poskytnutí potřebného času pro vykonání této práce. Za věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích bych chtěla poděkovat kolegyni paní Ing. Tereze Klokanové a kolegovi Ing. Josefovi Královi. Mé poděkování patří panu Ing. arch. Petrovi Hejtmánkovi za ochotu a trpělivost, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

*Název práce:*

**Řešení systému odvodu kouře a tepla průmyslové haly**

*Autor:* Nikola Šťastná

*Obor:* Architektura a stavitelství

*Druh práce:* Bakalářská práce

*Vedoucí práce:* Ing. Daniel Adamovský, PhD.

*Konzultant:* –

*Abstrakt:* Cílem této práce je seznámení se s postupy navrhování požárního odvětrání výrobní haly dle příslušné normy. Pro vybranou výrobní halu budou navrženy tři stavy požárního odvětrání. Budou určeny vstupní hodnoty pro výpočty samočinného odvětrávacího zařízení a výsledné hodnoty budou zapsány v tabulkách. Podrobné výpočty budou vypsány v příloze této práce. Ke všem těmto stavům budou přiloženy výkresy s jednotlivými návrhy. Pro ilustraci bude provedena simulace pro přirozený systém odvětrání a neodvětrávaný systém ve výpočetním programu a jejich grafické výstupy budou porovnány.

*Klíčová slova:* požární odvětrání, samočinné odvětrávací zařízení, simulační model, výrobní hala

*Title:*

**Solution for fire and smoke ventilation of an industrial hall**

*Author:* Nikola Šťastná

*Abstract:* The aim of this work is to get acquainted with the procedures for designing the fire ventilation of the production hall according to the relevant standard. Three fire ventilation systems are designed for the selected production hall. Input values for calculation of the automatic venting system will be determined and the resulting values will be written in the tables. Detailed calculations will be listed in the appendix to this paper. All layouts will be attached to each of these designs. For the illustration the natural ventilation system and unventilated system will be created in the simulation program and their graphical outputs will be compared.

*Keywords:* fire ventilation, automatic venting system, simulation model, production hall

# Obsah

Úvod	3
<b>1 Požární odvětrání staveb</b>	<b>4</b>
1.1 Požární úseky	5
1.2 Požární zatížení	6
1.3 Ekvivalentní doba trvání požáru	6
1.4 Ekonomické riziko	7
1.5 Stupeň požární bezpečnosti pro výrobní objekty	7
1.6 Návrhový požár	8
1.7 Kouřová sekce	8
1.8 Způsoby požárního odvětrání	8
1.8.1 Neutrální rovina	9
1.8.2 Akumulační vrstva	10
1.9 Elektrická požární signalizace	11
1.9.1 Hlásiče požáru EPS	11
1.9.2 Ústředna EPS	11
1.9.3 Přídavná zařízení	11
1.10 Možnosti provedení požárního odvětrání	12
1.10.1 Požární odvětrání střešními klapkami	12
1.10.2 Požární odvětrání ventilátory	12
1.10.3 Požární odvětrání šachtami či potrubím	12
1.11 Vzduchotechnika a požární odvětrání	13
1.12 Stablní hasicí zařízení a požární odvětrání	13
1.13 Shrnutí závislostí a podmínek	15
<b>2 Metodika navrhování požárního odvětrání posledních nadzemních podlaží stavebních objektů</b>	<b>17</b>
2.1 Vstupní údaje	17
2.2 Výpočet SOZ	18
2.3 Systém ovládání požárního odvětrání	21
2.4 Umístění prvků SOZ ve stavbě	22
<b>3 Praktická část</b>	<b>23</b>
3.1 Simulační model v programu FDS	23
3.2 Vstupní parametry výpočtu SOZ	25
3.2.1 Popis výrobní haly	25
<b>4 Varianty návrhu SOZ</b>	<b>27</b>
4.1 Návrh přirozeného SOZ	30
4.1.1 Simulační model	33
4.2 Návrh nuceného SOZ	40
4.3 Návrh přirozeného SOZ v kombinaci s SHZ	43
4.4 Vyhodnocení variant	45
<b>Závěr</b>	<b>46</b>

Seznam použité literatury	47
Symboly	49
Zkratky	50
Seznam příloh	51



# Úvod

Požární odvětrání výrobních hal je jedním z řešených témat ve firmách zabývajících se požární bezpečností staveb průmyslové výstavby. Některé haly mohou být velmi rozlehlé nebo mohou mít více výškových úrovní a je zapotřebí, aby požární odvětrání bylo navrženo správně a efektivně.

Návrh požárního odvětrání vychází z požárně bezpečnostního řešení zpracovaného požárním specialistou. Z něj se pak do návrhu požárního odvětrání přenesou hodnota požárního zatížení a stanovený typ požárního odvětrávacího zařízení a dalších spolupůsobících požárně bezpečnostních zařízení.

Na počátku návrhu je nutné rozhodnout jaký způsob odvětrání je pro daný objekt vhodný a poté pomocí výpočtů stanovit konkrétní dimenze a návaznosti zařízení dle příslušných norem a vyhlášek pro konkrétní typ objektu. V případě, kdy v hale dojde k požáru je nutné, aby požárně bezpečnostní prvky reagovaly co nejrychleji, případně, aby včas přivolaly požární jednotky nacházející se v blízkosti objektu. Ve většině případů se ve výrobních halách navrhuje přirozené odvětrání pomocí odvětrávacích klapek. Haly nebo části haly, pod úrovní terénu nebo jinak umístěných s obtížným přívodem vzduchu, je možno odvětrávat nuceně pomocí ventilátorů. Haly se skladovacími prostory sahajícími až ke stropu mají vysoké požární zatížení a je třeba samočinné odvětrávací zařízení doplnit aktivním požárně bezpečnostním zařízením, například sprinklery.

V této práci bude navrženo požární odvětrání pro jednopodlažní výrobní halu obdélníkového půdorysu. V rámci této práce budou zpracovány tři stavy požárního odvětrání. Prvním stavem bude přirozené odvětrání požárními klapkami. Druhým stavem bude nucené odvětrání ventilátory. Třetím navrhovaným stavem bude přirozené odvětrání požárními klapkami v součinnosti se sprinklery.

V simulačním programu bude vymodelován systém přirozeně odvětrávané haly a systém neodvětrávané haly. Výstupy programu poslouží pro grafické znázornění pohybu kouře, modelu hoření a dalších submodelů simulačního programu a pro porovnání dvou provedených simulací.

# 1. Požární odvětrání staveb

Oheň je spjat s lidstvem již od pravěku. Dávno víme, že oheň můžeme využít k našemu prospěchu, ale také, že jeho působení může být devastující. Zkušenosti s ohněm jsme získávali zprvu neúmyslně, mnohdy i s rozsáhlými škodami a ztrátami na životech. V dobách výprav a dobývání jsme uzpůsobovali stavby, tak aby odolaly nejlépe všem živlům. Dodnes se oheň snažíme ovládnout, ale jelikož je to jev nepředvídatelný, je potřeba se proti jeho působení chránit, případně mu předejít. Když se oheň stává nekontrolovatelným, nazýváme ho požárem. Požár může vzniknout na základě různých příčin technického, přírodního, nedbalostního nebo úmyslného charakteru. Zejména kvůli rozpoznání těchto příčin požáru se snažíme rozvíjet znalosti vzniku, průběhu a likvidaci požáru. Průběh požáru dosud nebylo možné matematicky popsat. Můžeme se jen domnívat, jak se bude požár rozvíjet na základě zkušeností z praxe anebo s pomocí simulačních programů, které ovšem vykazují určité odchylky od skutečnosti.

Současná koncepce řešení požární bezpečnosti stavebních objektů je v ČR zakotvena především ve dvou kmenových normách a to ČSN 73 0802 a ČSN 73 0804. Požární bezpečnost stavebních objektů řeší velké množství publikací např. vyhláška MMR 137/1998 Sb aj. Ve své podstatě se požární bezpečnost zaměřuje na omezení ztrát na majetku. Proto také řada pojišťoven požární zajištění objektu hodnotí dle požární odolnosti konstrukcí (30-60-90 minut) zpravidla bez vztahu na pravděpodobnou intenzitu a trvání požáru. Dále se navrhuje stavební konstrukce s požárně dělicí funkcí (požární stěny, požární stropy, požární uzávěry atd.) a jejich dimenze jsou odvozeny z pravděpodobné intenzity požáru, která je vyjádřena ekvivalentní dobou trvání požáru podle normové teplotní křivky (viz ČSN 73 0810), resp. výpočtovým požárním zatížením. Pravděpodobná intenzita požáru je sledována při plně rozvinutém požáru. Požár se rozšíří na značnou část půdorysné plochy požárního úseku popř. po určitých zónách, kdy v hořící části požárního úseku přesahují teploty plynů uvnitř prostoru 500 °C či 600 °C. [1]

Stavbu můžeme chránit před požárem pasivně či aktivně. Pasivní bezpečnost staveb zahrnuje dělení objektů do požárních úseků ohraničených požárně odolnými konstrukcemi tak, aby se zabránilo rozšíření požáru mimo tento prostor. Pasivní opatření navrhujeme především pro bezpečný únik osob a rychlý a přehledný zásah požárních jednotek.

Aktivní bezpečnost staveb využívá zařízení, která se podílejí na snižování pravděpodobnosti vzniku a rozvoje požáru či jeho intenzity. Požárně bezpečnostní zařízení (PBZ) navrhujeme především tam, kde je prioritou ochránit majetek a stavbu. Do PBZ spadá např. elektrická požární signalizace (EPS), stabilní hasicí zařízení (SHZ), samočinné odvětrávací zařízení (SOZ) a další. EPS může urychlit zahájení evakuace osob a uvádí do činnosti jiná požární zařízení. SHZ existuje mnoho druhů v závislosti na použitém hasivu (viz kapitola 1.13), mezi nejpoužívanější patří sprinklery. Sprinklerová hasicí zařízení jsou nejúčinnějším aktivním opatřením (účinnost až 93 %) [2]. Nevýhodou vodních sprinklerových zařízení je nutné zabudování velké nádrže na vodu. Princip SHZ spočívá v okamžitém samočinném hašení v momentě, kdy požár ještě nedosáhl svého plného tepelného výkonu. Návrh pasivních a aktivních opatření stavby zpracovává požární

specialista v projektu požárně bezpečnostního řešení (PBR).

Stavby se dle dvou kmenových požárních norem dělí na výrobní a nevýrobní objekty. České normy z hlediska požární bezpečnosti rozlišují i další skupiny objektů např. objekty pro bydlení, sklady nebo shromažďovací prostory. Pro každý typ stavby navrhuje požární specialista vhodná pasivní i aktivní opatření a způsob odvětrání. Tato práce se dále zabývá tématem požárního odvětrání jednopodlažních výrobních objektů.

## 1.1 Požární úseky

Stavební objekt je potřeba rozčlenit na menší požárně ohraničené celky za účelem zabránění šíření požáru mimo tento prostor. Dále pak zajištění snadného a bezpečného úniku osob, umožnění rychlého a účinného zásahu požárními jednotkami atd. Stavební objekt může tvořit jeden požární úsek nebo může být rozdělen na více požárních úseků a to tehdy, pokud jeho plocha překročí mezní rozměry, dle stanoveného ekonomického rizika, nebo pokud stavební objekt obsahuje provozy, které musí být samostatnými požárními úseky dle normy ČSN 73 0802.

Samostatnými požárními úseky musí být chráněné únikové cesty, evakuační a požární výtahy (pokud nejsou součástí chráněné únikové cesty), výtahové a instalační šachty, strojovny výtahů a vzduchotechniky, kotelny, elektrorozvodny a jiná technická zařízení s půdorysnou plochou nad 100 m<sup>2</sup>. Dále strojovny samočinného stabilního hasicího zařízení, velíny či řídicí a výpočetní centra různých provozů. Samostatnou kapitolou požárních úseků tvoří garážové prostory v ČSN 73 0804. Pro uskutečnění návrhu požárních úseků je zapotřebí, aby:

- a) půdorysná plocha požárních úseků byla poměrně malá, např. do 200 až 300 m<sup>2</sup>, přičemž ve stavebním objektu existuje větší počet úseků, takže požár bude pravděpodobně působit nejvýše na zlomku celkové půdorysné plochy objektu.
- b) Počet osob v požárním úseku byl poměrně malý, cca do 30 až 50 osob, takže evakuace osob z úseku, kde vznikl požár, může proběhnout v krátkém časovém intervalu i bez mimořádných opatření (např. během 1 až 2 minut).
- c) Ohraničení požárního úseku bylo tak dokonalé, že zplodiny hoření a kouř se netěsnostmi (tj. otvory a infiltrací) nešíří mimo požární úsek v němž působí požár (např. pravděpodobnost zavřených požárních dveří nebo těsnost vstupů je cca 70 %; netěsnosti, kterými infiltrují plyny, činí 0,0001 až 0,15 m<sup>3</sup> · s<sup>-1</sup> na 1 m<sup>2</sup> konstrukce)[1].

Dispozice objektů v počáteční fázi návrhu většinou nevyhoví požadavkům požární bezpečnosti. Mnohdy jsou navrženy prostory objektů rozlehlé a pro návrh jediného požárního úseku dle požárních norem nevyhoví. Proto je potřeba od začátku projektu PBR spolupracovat s architekty resp. projektanty a umisťovat požárně odolné nosné a dělící konstrukce na základě společné domluvy.

V požárním úseku má požár zónový průběh, což znamená, že se v tomto úseku mohou na různých místech vyskytovat řádově odlišné teploty. Největším nebezpečím, pro unikající osoby a požární jednotky, jsou zplodiny hoření-kouř. Platí, čím vyšší počet osob v úseku, tím složitější je evakuace v krátkém časovém intervalu. Evakuace osob a zásah požárními jednotkami může zkomplikovat i infiltrace

zplodin hoření a kouře netěsnostmi v konstrukcích, které oddělují požární úseky. Nejzávažnější je infiltrace kouře netěsnostmi konstrukce především ve vícepodlažních a výškových budovách, jelikož horké plyny a kouř se začnou šířit vzhůru do horních podlaží. Rozdílné hmotnosti plynů uvnitř a vně budovy společně s narážejícím větrem, vytváří vztlak plynů a tedy i jejich pohyb v objektu navzdory pasivním opatřením (rozdělení do sekcí). Tato skutečnost poukazuje na to, že ve většině případů nestačí pouze navrhnout pasivní opatření, ale je třeba je doplnit o opatření aktivní.

## 1.2 Požární zatížení

Obecně je požární zatížení definováno jako pomyslná hmotnost dřeva na jednotce půdorysné plochy požárního úseku, jehož normová výhřevnost je stejná jako normová výhřevnost všech hořlavých látek vyskytujících se na téže ploše. Sestává ze stálého a nahodilého požárního zatížení a vyjadřuje se v  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  [3]. Celkové požární zatížení se stanoví součtem stálého požárního zatížení (požární zatížení hořlavých výrobků nosných a požárně dělících stavebních konstrukcí) a nahodilého požárního zatížení (požární zatížení všech ostatních hořlavých látek a hmot v PÚ). Hodnoty pro stálé požární zatížení se dělí dle plochy místnosti a nalezneme je v ČSN 73 0804 v Tabulce 1. Pro vybrané prostory nalezneme hodnoty pro nahodilé požární zatížení v ČSN 73 0802 Příloha A.

$$p = p_s + p_n, \quad (1.1)$$

kde  $p_s$  je stálé požární zatížení pro které platí rovnice 1.2<sup>1</sup> a  $p_n$  je nahodilé požární zatížení.<sup>2</sup>

$$p_s = p_{\text{podlaha}} + p_{\text{okna}} + p_{\text{dveře}}, \quad (1.2)$$

Požární zatížení pro výrobní objekty má podobu tzv. ekvivalentní doby požáru viz následující kapitola.

## 1.3 Ekvivalentní doba trvání požáru

Ekvivalentní doba trvání požáru vyjadřuje pomyslnou dobu trvání požáru, během které by požár v posuzovaném PÚ probíhal podle normové teplotní křivky a vyvolal by v reprezentativní konstrukci (betonové desce) stejné (ekvivalentní) účinky jako skutečný plně rozvinutý požár.

$$\tau_e = \frac{2 \cdot p \cdot \Delta c}{k_3 \cdot F_0^{1/6}},$$

kde  $p$  je požární zatížení stanovené dle vzorce 1.2, hodnoty součinitele  $k_3$  pro PÚ obdélníkového půdorysu uvádí ČSN 73 0804, Kapitola 6.4.5 Tabulka 2,  $\Delta c$  je redukující součinitel, charakterizující vliv aktivních požárně bezpečnostních zařízení. Aktivní požárně bezpečnostní zařízení a opatření zahrnují:

<sup>1</sup> Hodnoty pro zatížení podlahy, oken a dveří jsou uvedeny v ČSN 73 0804 Tab. 1.

<sup>2</sup> Hodnoty pro nahodilé požární zatížení jsou uvedeny v ČSN 73 0802 Příloha A.

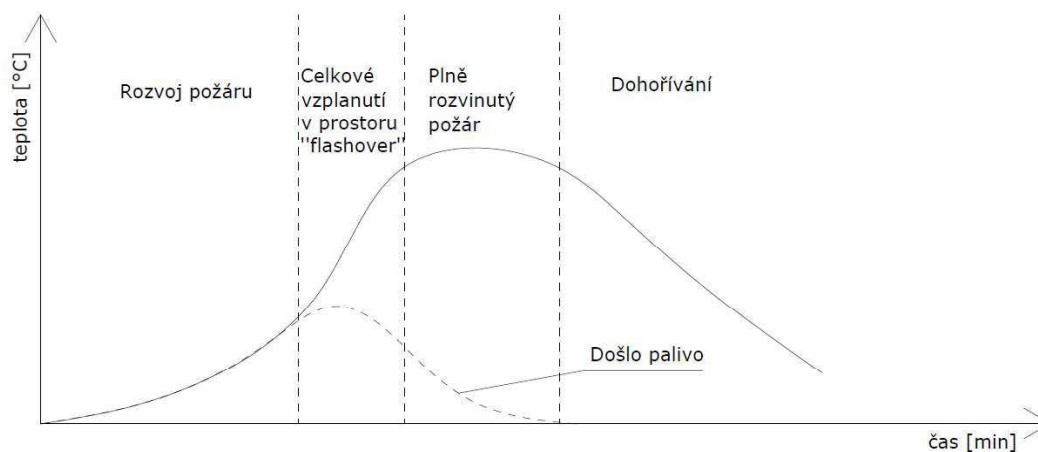
- a) Možnost rychlého zásahu <sup>3 4</sup> jednotkami požární ochrany - součinitel  $\Delta c_1 = 0, 2$ .
- b) Samočinné stabilní hasicí zařízení - součinitel  $\Delta c_2 = 0, 3$ .
- c) Samočinné odvětrávací zařízení - součinitel  $\Delta c_3 = 0, 15$ . [4]

Dle použitých aktivních PBZ se dosadí příslušné hodnoty do následujícího vzorce a tím se stanoví celkový redukující součinitel daného PÚ  $\Delta c = 1 - \sum_i^j \Delta c_i$ .

Parametr odvětrání požárního úseku  $F_0$  se pro přirozené větrání stanoví dle  $F_0 = \frac{S_0 h_0^{1/2}}{S_k}$  a pro nucené větrání  $F_0 = 0, 005$ .

## 1.4 Ekonomické riziko

Ekonomické riziko se z požárního hlediska hodnotí u výrobních objektů, kde pravděpodobnost vzniku, rozšíření a následných škod od požáru trvale ohrožuje jak vlastní výrobu, výrobní technologie (např. stroje), tak uskladněné materiály. V této práci ekonomické riziko nebude stanoveno. V případech, kdy se nestanovuje ekonomické riziko se předpokládá, že vlivem nainstalovaných požárně bezpečnostních zařízení nedojde k vzplanutí neboli k tzv. flashover efektu a požár příliš neohrozí objekt ani vlastní výrobu objektu.



Obrázek 1.1: Normová křivka [autor]

## 1.5 Stupeň požární bezpečnosti pro výrobní objekty

Stupeň požární bezpečnosti (dále jen SPB) se pro PÚ výrobních objektů stanoví dle ČSN 73 0804, Přílohy E pomocí diagramu, v závislosti na požárním riziku  $\tau_e$ , celkovému počtu podlaží objektu a konstrukčním systémem objektu.

<sup>3</sup>Tj. zásah jednotkou požární ochrany v časovém pásmu  $H_1$  tedy do 7 minut.

<sup>4</sup>Pokud je možné počítat se zásahem jednotky požární ochrany v časovém pásmu  $H_2$  tedy do 15 minut, zvýší se hodnota  $\Delta c_2$  nebo  $\Delta c_3$  o 0,05. Tohoto zvýšení se v posuzovaném požárním úseku užije pouze jednou, i když jsou instalována obě zařízení podle položky b) a c). Pokud se užije položky a) pak u položek b) a c) se hodnota  $\Delta c$  nezvyšuje.

## 1.6 Návrhový požár

Návrhový požár pro výpočet požárního odvětrání je předpokládaný rozvoj a průběh požáru v požárním úseku. Pro požární odvětrání je rozhodující zpravidla etapa rozvoje požáru začínající okamžikem tepelného výkonu 1 kW, přičemž podíl sdílený prouděním plynů  $Q_1$  [kW] je až 80 % z celkového uvolněného tepla  $Q_c$  [kW].

Množství uvolněného tepla závisí na požárním zatížení, charakteru hořlavých látek, součiniteli odhořívání, návrhové době požáru a součinnost s požárně bezpečnostními zařízeními jako jsou např. elektrická požární signalizace nebo stabilní hasicí zařízení.<sup>5</sup>

## 1.7 Kouřová sekce

Kouřová sekce je základní prostorovou jednotkou požárního úseku, pro kterou se požární odvětrání navrhuje. Požární úsek může být o jedné či více kouřových sekcích. Odvětrávaná kouřová sekce je vymezená stavebními konstrukcemi, tak aby zabránila šíření tepla a kouře do další odvětrávané kouřové sekce. Při požáru vznikají pod stropem nebo střechou zplodiny hoření, které vytvářejí akumulární vrstvu s přirozeným vztlakem (negativní účinek na přirozený vztlak vytváří působení větru). Ohraničení sekce tvoří buď stěny na celou výšku prostoru, nebo jen zavěšené kouřové přepážky spuštěné do takové výšky, aby zabránily šíření zplodin hoření a kouře mimo tuto kouřovou sekci. Požadavky na kouřové přepážky je buď požární odolnost EI 15 DP1 nebo teplotní odolnost D600, 30. [5]

Půdorysná plocha kouřové sekce  $A_k$  se doporučuje zvolit v rozmezí  $(2h_v)^2$  až  $(6h_v)^2$ , přičemž v konkrétním řešení mohou být i odchylky od těchto doporučených hodnot [1]. Pokud je  $h_v$  větší než 8 m, doporučuje se volit půdorysnou plochu kouřové sekce mezi  $(4h_v^2)$  a  $(5h_v^2)$  tak, aby kouřová sekce nepřekročila půdorysnou plochu větší než 2000 m<sup>2</sup>, výjimečně 2200 m<sup>2</sup> a její délka nepřesahovala 70 m.<sup>6</sup>

## 1.8 Způsoby požárního odvětrání

Cílem požárního odvětrání je usměrnit šíření zplodin hoření a kouře tak, aby byla zajištěna bezpečná evakuace osob a rychlý zásah požárních jednotek. Požárním odvětráním lze odvést vně objektu až 80 % tepla uvolněného při požáru a omezit tak ztráty na majetku. Stavební konstrukce v požárně odvětrávaném prostoru jsou vystaveny menšímu teplotnímu namáhání. Požární odvětrání se uskutečňuje prostřednictvím samočinného odvětrávacího zařízení (dále SOZ). Dimenze SOZ jsou určeny dle návrhového požáru (pravděpodobný rozvoj a průběh požáru). Kouřovou sekci lze odvětrávat pomocí střešních odvětrávacích klapek nebo nuceně pomocí odtahových ventilátorů.

---

<sup>5</sup>Pokud je v posuzovaném prostoru instalováno stabilní hasicí zařízení, může se jeho aktivací v případě požáru omezit rozsah požáru a tím i množství uvolněného tepla, popř. limituje maximální množství uvolněného tepla bez ohledu na časový interval.

<sup>6</sup>Plochy  $A_k$  mohou být u nuceného požárního odvětrání větší. Jiné návrhové případy, než ty z ČSN, stanovují hodnoty odlišné např. německá norma DIN, povoluje plochu kouřové sekce pouze 1600 m<sup>2</sup> a její délku maximálně 60 m.

U přirozeného systému odvětrání lze předpokládat polohu neutrální roviny ve spodní úrovni akumulací vrstvy. Přirozený systém odvětrání funguje na principu rozdílu hmotnosti plynů a rychlosti proudění plynů závisí na vztlaku.

U nuceného odvětrání pomocí elektrických sacích ventilátorů je poloha neutrální roviny nezávislá na akumulací vrstvě.[6] Spodní úroveň kouřových přepážek musí dosahovat minimálně po spodní líc akumulací vrstvy a níže. Kouřová přepážka musí být kouřotěsná a dotěsněná až ke stropní konstrukci či střešnímu plášti. Jako kouřové přepážky mohou posloužit celistvé konstrukce, které jsou součástí stavby jako jsou průvlaky, vazníky apod. Kouřové stěny mohou být i mobilní (svinovací).

U obou systémů požárního odvětrání musí být rovnováha mezi přítokem vzduchu do odvětrávané sekce a odtokem zplodin hoření a kouře. Při výpočtu se tedy posuzují přítokové i odtokové plochy v odvětrané sekci a jejich vzájemný poměr určuje tlakové poměry a tedy i polohu neutrální roviny. Přívod vzduchu do sekce je vhodné umístit co nejnižší k podlaze (do úrovně 2 m nad podlahou). Pokud se otvor pro přívod nachází výše, je třeba tuto skutečnost podrobně posoudit, aby přívod vzduchu nezpůsobil nestabilitu toku zplodin hoření a kouře.

### 1.8.1 Neutrální rovina

V průběhu požáru dochází k vyhořívání materiálů a částí hořlavých konstrukcí, což má za následek tvorbu kouře, který vlivem rozdílných teplot stoupá vzhůru. Tam se šíří pod stropní konstrukcí po celé ploše prostoru. Když kouř narazí na svislé konstrukce, nemá se kam dále rozpínat a začne se hromadit pod stropem. Výsledný efekt je takový, že za určitou dobu stálého hoření, klesne spodní hranice horkých plynů až k podlaze a celý prostor je vyplněn kouřem.

Jestliže existují otvory ve střeše nebo v obvodových stěnách místnosti, dochází k výměně plynů. Do spodní části přitéká chladnější vzduch z okolí, přináší kyslík potřebný k hoření, ohřívá se a stoupá ke stropu ve formě zplodin hoření. Pokud je otvorů odváděno dostatečně velké množství kouře, nedojde k celkovému vyplnění místnosti kouřem, ale v určité výšce se zastaví pokles spodní hranice horkých plynů a zplodin hoření.

V obou částech prostoru je jiný tlak. Pod stropem se hromadí horké zplodiny hoření mající vyšší teplotu a tlak zde stoupá. Naopak ve spodní části místnosti je nedostatek plynů, které se ohřívají a stoupají, a proto je zde nižší tlak, jehož vlivem dochází k přisávání okolního vzduchu do místnosti.

Hranici mezi těmito prostory s rozdílnými tlaky tvoří neutrální rovina, ve které je tlak atmosférický. Neutrální rovina tvoří zároveň hranici mezi horkými zplodinami hoření a čistým ovzduším důležitým pro evakuaci osob.

### Poloha neutrální roviny

Jestliže chceme docílit účinné výměny plynů, musíme zajistit zejména dostatečně velké otvory pro únik zplodin hoření mimo hořící objekt a otvory pro přísun čerstvého vzduchu. Obecně můžeme říci, že na výměnu plynů má největší význam velikost a umístění otvorů v obvodové konstrukci objektu. Kromě těchto faktorů se na výměně plynů podílejí ještě jiné okolnosti, kterými jsou například směr a síla větru, atmosférický tlak aj.

Z hlediska umístění větracích otvorů může nastat několik situací:

- a) Otvory umístěné ve stejné výšce:  
V této situaci všemi otvory protékají jak přitékající vzduch, tak i odváděné zplodiny hoření. Neutrální rovina prochází rozhraním mezi těmito pásmy a pod její úrovní přitéká čerstvý vzduch a nad ní odtékají zplodiny hoření. Intenzita výměny plynů v tomto případě je nižší než v případě, kdy jsou otvory umístěné v rozdílné výšce.
- b) Otvory umístěné v různé výšce:  
Otvory umístěné v různé výšce nad sebou vytvářejí předpoklad pro různé proudění plynů. Dochází k tomu, že spodními otvory (zcela nebo částečně) přitéká vzduch a horními otvory jsou odváděny zplodiny hoření. To urychluje výměnu plynů, která je intenzivnější než v předchozím případě.

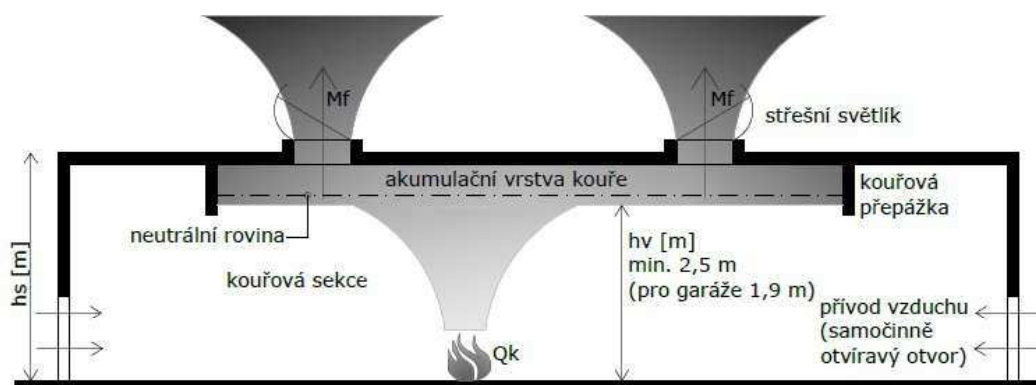
Z hlediska umístění neutrální roviny mohou nastat dva případy:

- a) Neutrální rovina leží nad nadpražím dolních otvorů. V tomto případě dolními otvory plyny (vzduch) pouze přitékají.
- b) Neutrální rovina leží pod nadpražím dolních otvorů. V tomto případě slouží dolní otvory jak pro přívod čerstvého vzduchu, tak pro odvod zplodin hoření.[7]

## 1.8.2 Akumulační vrstva

V akumulaciční vrstvě se hromadí vyhořelé plyny. Spodní líc akumulaciční vrstvy kouřové sekce musí být nejméně ve výšce 2,5 m nad podlahou, aby byla zajištěna bezpečná evakuace osob. Tento požadavek je pro prostory se světlou výškou 3,5 m až 4,0 m. Je-li světlá výška prostoru vyšší, doporučuje se spodní plocha ve výšce 3 m nad podlahou, dále pak jen v úrovni do  $0,5h_v$  [8].

Výška akumulaciční vrstvy  $h_k$  s přirozeným systémem odvětrání je nejméně  $0,2h_v$  a zpravidla nebývá volena větší než  $0,5h_v$ .



Obrázek 1.2: Dvouzónový model požáru a schéma zařízení pro přirozený odvod kouře a tepla (ZOTK=SOZ) - členění podstropního prostoru kouřovými přepážkami do kouřových sekcí pro zachování nezakouřené vrstvy nad podlahou [autor]



## 1.9 Elektrická požární signalizace

Jedná se o základní typ konkrétního PBZ, které se v praxi využívá nejčastěji. Systém elektrické požární signalizace slouží především k včasné detekci a opticky-akustické elektrické požární signalizaci požáru v daném střeženém prostoru. Případně uvádí do činnosti zařízení sloužící k omezení šíření či hašení požáru. Vzhledem ke včasné detekci požáru, a tím i zahájení včasného protipožárního zásahu, omezuje systém EPS škody v případě požáru. [9]

Systém elektrické požární signalizace se skládá ze tří základních prvků, kterými jsou:

- a) samočinné a tlačítkové hlásiče požáru
- b) ústředna
- c) přídatná zařízení

### 1.9.1 Hlásiče požáru EPS

Jedná se o část systému EPS, která přímo zajišťuje detekci požáru v daném střeženém prostoru. Detekci požáru je možno provést automaticky pomocí samočinných hlásičů <sup>7</sup> nebo manuálně pomocí tlačítkových hlásičů umístěných ve střeženém prostoru (zpravidla u východu a po celé ploše).

### 1.9.2 Ústředna EPS

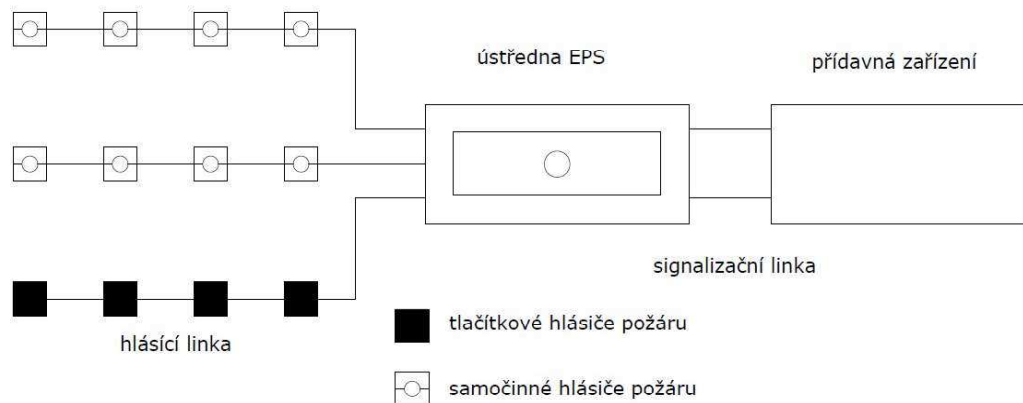
Ústředna EPS slouží jako záložní zdroj napájení jednotlivých systémů EPS. Dále vyhodnocuje signalizaci přijatých z hlásičů a provádí kontroly provozuschopnosti celého systému EPS. Hlavní využití EPS je především v ovládní přídatných zařízení, která slouží k potlačení požáru, odvedení zplodin hoření či usnadnění požárního zásahu (např. otevírání odvětrávacích klapek).

### 1.9.3 Přídatná zařízení

Přídatná zařízení systému EPS se připojují pomocí potenciálových i bezpotenciálových kontaktů na ústřednu EPS. Tato zařízení slouží buď přímo k potlačení požáru nebo k rychlejšímu požárnímu zásahu.[10]

---

<sup>7</sup>Samočinné hlásiče reagují na výskyt nebo změnu fyzikálních parametrů požáru. Můžeme je dělit dle místa detekce požáru tj. bodové nebo liniové.



Obrázek 1.3: Blokové schéma EPS [autor]

## 1.10 Možnosti provedení požárního odvětrání

Požární odvětrání je samočinné odvětrávací zařízení sloužící pro odvod tepla a kouře vznikajících při požáru ve stavebních objektech.

Požární odvětrání lze navrhnout několika způsoby, výběr záleží na podmínkách stavebního řešení. Lze varianty i kombinovat, přičemž se musí posoudit možné pohyby plynů v odvětrávané sekci. Níže jsou uvedeny hlavní způsoby požárního odvětrání.

### 1.10.1 Požární odvětrání střešními klapkami

Nejběžnější varianta požárního odvětrání, která vychází z přirozeného vztlaku plynů a je použitelná v posledních nadzemních podlažích, v případě, že plyny mohou unikat střešní konstrukcí na volné prostranství.

### 1.10.2 Požární odvětrání ventilátory

Při nuceném odvětrání posledních podlaží lze snížit tloušťku akumulací vrstvy a tím i kráti kouřové clony. Akumulací vrstva může být tenčí, čím větší počet ventilátorů se použije. Tento stav je omezen podmínkou, aby ventilátor neodsával vzduch pod akumulací vrstvou místo kouře. Z toho důvodu je vhodnější navrhovat větší počet menších ventilátorů (o výkonu do  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), než malý počet velkých ventilátorů (o výkonu přes  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) [6].

### 1.10.3 Požární odvětrání šachtami či potrubím

Tato varianta odvětrání se navrhuje tam, kde je zapotřebí odvětrat sekci v jednom podlaží či kouřové sekce v několika podlažích nad sebou. Nejčastěji tomu tak je u vícepodlažních budov. Šachtou či potrubím je tedy možné odvětrat jednu či více sekcí vedle sebe i nad sebou. Pak se nabízí další varianty, jak odvětrání zajistit. Buďto přirozeně vztlakem plynů nebo nuceně elektrickými ventilátory pro požární odvětrání v nejvyšším místě šachty či potrubí nad střechou. Šachta resp. potrubí musí začínat pod stropem nejnižší umístěné odvětrávané sekce.

Šachta či potrubí, které odvětrává více kouřových sekcí musí mít otvor pro přívod plynů v každé odvětrávané sekci. Každý otvor musí být kouřotěsný a při požáru se uzavěr otevírá pouze tam, kde vypukl požár.

Aby se nemuselo navrhovat mnoho šachet pro požární odvětrání sekcí v podlaží, lze rozšířit počet otvorů pro odvod kouře pomocí potrubí s výstykami, které slouží pouze pro požární odvětrání. Potrubí vede horizontálně pod stropem, musí být z nehořlavých hmot a nemusí mít požární izolaci pokud se nachází v jednom požárním úseku. Šachty, které procházejí požárními úseky jsou posuzovány jako instalační šachty z konstrukcí požárně odolných (DP1). Instalace horizontálního potrubí vyžaduje použití ventilátorů pro odtah z důvodu tlakových ztrát v délce potrubí.

Průřezová plocha šachty, která slouží pro odvětrání více sekcí, se určuje pro jednotlivé sekce, přičemž výsledná plocha šachty vychází z té největší požadované průřezové plochy. Počet šachet (bez horizontálního potrubí) závisí na množství plynů, výšce akumulační vrstvy apod. K zabránění podsávání se šachty posuzují obdobně jako elektrické ventilátory. Při světlé výšce kouřové sekce do 4 m lze počítat s jednou šachtou na 200 až 300 m<sup>2</sup> půdorysné plochy, nicméně z odvětrávané kouřové sekce by zpravidla měly být navrženy nejméně dvě šachty.[6]

## 1.11 Vzduchotechnika a požární odvětrání

Vzduchotechnické zařízení pro běžný provoz funguje odděleně od požárního odvětrání. Aby nedošlo k šíření zplodin hoření a kouře v případě požáru, musí se vzduchotechnika vyřadit z provozu. Vzduchotechnické zařízení většinou nevyužíváme k požárnímu odvětrání, kvůli malé dimenzi vzduchotechnického potrubí, které tudíž není schopno odvést velké množství zplodin z navržené sekce. V praxi výjimečně existují případy (typicky pro odvětrání garáží), kde lze vzduchotechnické zařízení částečně využít pro přívod či odvod plynů, ale je zapotřebí použít ventilátory o vyšších výkonech.[6] Tyto ventilátory musí být také odolné vůči působící teplotě plynů a odtok z nich musí vést přímo vně objektu. Ostatní rozvody, které by mohly šířit požár, musí být uzavřeny. Vzduchotechnické zařízení musí být synchronizováno s požárním odvětráním a musí být zajištěna dodávka elektrické energie při požáru.

Vzduchotechnické zařízení pro požární odvětrání se často využívá u chráněných únikových cest (dále jen CHÚC), kde je potřeba vytvořit přetlak, aby kouř unikal přímo odvětrávacím otvorem vně objektu a nemísil se se vzduchem v CHÚC. Pro účely této práce není větrání CHÚC dále popisováno.

## 1.12 Stabilní hasicí zařízení a požární odvětrání

Existuje několik druhů systémů SHZ v závislosti na použitém hasivu:

- a) vodní SHZ - sprinklerové, drenčerové (sprejové), vysokotlaké mlhové
- b) pěnové SHZ
- c) plynové SHZ
- d) aerosolové (práškové) SHZ

Tato práce popisuje pouze vodní sprinklerové SHZ. Jedná se totiž o nejpoužívanější typ SHZ, které zaručuje rychlou a samočinnou reakci v případě požáru. SHZ musí být napojeno na nádrž s hasicí vodou. Toto řešení vyžaduje velké prostory pro nádrž a také vysoké finanční náklady. Ve většině případů je nádrž na vodu umístěna uvnitř objektu. Je však i možnost umístit nádrž vně objektu. Tento způsob je ale finančně nákladný. V případě, kdy se nádrž nachází vně objektu, se používá tzv. suchá soustava. Potrubí suché soustavy je od sprinklerové hlavice po ventilové stanice přetlakováno vzduchem. Po aktivaci sprinklerové hlavice nejprve dojde k vyrovnání tlakových poměrů mezi hašeným prostorem a potrubím a tím tedy k poklesu tlaku v potrubí. To aktivuje ventil ve ventilové stanici, který pouští vodu dále do potrubí. Místnost ventilových stanic musí být vždy ve vytápěných prostorách objektu. Volně stojící nádrž ve venkovním prostředí je potřeba zaizolovat, aby voda v ní nezamrzla. Další možností umístění nádrže vně objektu je umístit ji pod úroveň terénu. Tato varianta nevyžaduje izolaci nádrže, avšak je třeba nádrž pravidelně kontrolovat, zda se v ní voda stále nachází. Je tedy nutné zřídit revizní šachtu pro přístup k nádrži a také navrhnout dostatečně výkonné čerpadlo, aby se voda spolehlivě dostala celou délkou potrubní sprinklerové sítě až ke sprinklerové hlavici.

Sprinklery vedou pod stropem a dalšími sníženými úrovněmi stropu objektu tak, aby hasicí schopnost sprinklerových hlavice nebyla omezena vedenými technologiemi jako je VZT, kabely atd. Sprinklerové hlavice jsou navzájem spojeny potrubním systémem, který je napojen na ventilové stanice. Ventilové stanice jsou přívodním potrubím napojeny na strojovnu SHZ, ve které se nachází nádrže s vodou, tlakové nádrže, čerpadla a kompresory. Potrubí je trvale napuštěno vodou po celé své délce a je také udržována pod určitým tlakem - tzv. mokrá soustava.

Přesné rozmístění sprinklerových hlavice, dimenze potrubí, počet ventilových stanic, počet a objem nádrží a tlakových nádrží, výkony čerpadel a také přesný postup návrhu vodního sprinklerového SHZ je uveden v normě ČSN EN 12845+A2.

Aktivace sprinklerových hlavice probíhá pouze v místě kde vypukl, požár. Pouze v místě požáru bude dosaženo aktivační teploty sprinklerové hlavice. Při aktivační teplotě pojistky, dojde k otevření hlavice a výstřiku proudu vody, která naráží na tříštic hlavice. Tímto se dosáhne efektivního tvaru rozstřiku kapek vody. Při výstřiku vody ze sprinklerových hlavice dojde k poklesu tlaku uvnitř potrubí. Pokud tlak poklesne pod nastavenou hodnotu, tak se otevře řídicí ventil, který spustí čerpadla a ty začnou doplňovat vodu do potrubí pod tlakem. Tímto dochází k zajištění stálého množství navržené protékající vody aktivovanou hlavici, která hasí požár. [11]

## **Popis součinnosti přirozeného SOZ s SHZ**

Problematika interakce SOZ s SHZ při požáru je poměrně rozsáhlá. Při procesu hoření a jeho následného hašení vždy vzniká spousta fyzikálních jevů. K těmto jevům patří zejména ochlazování kouřové vrstvy, unášení částic vody, zvýšená intenzita hoření, vliv větru aj. Všechny možné vlivy musí být popsány již před samotným požárem, aby byly v návrhu interakce PBZ zvažovány. Tyto fyzikální procesy jsou proměnné v závislosti na dispozici chráněného prostoru, vlastnostech požáru, fyzikálních vlastnostech hasicí látky, typu SHZ a SOZ a primárně spouštěném PBZ. Interakci SOZ s SHZ řeší norma ČSN 73 0810 v Příloze B.

Při instalaci více než jednoho PBZ v objektu je jejich správná funkce podmíněna:

- a) stanovením priority uvedení zvoleného zařízení do činnosti,
- b) návrhem koordinace činnosti zařízení,
- c) posouzením vzájemných interakcí mezi zařízeními.

Koordinace činností zahrnuje specifikaci navazujících procesů a určení časových posloupností aktivace instalovaných PBZ. Správná koordinace SOZ s SHZ je obvykle podmíněna nejen správným návrhem, ale i napojením na EPS, která při požáru spouští daná PBZ na základě předem zvoleného nastavení. Detekce požáru může být vyhodnocena i na základě jiných zařízení, ale z důvodů koordinace je vhodná instalace právě systému EPS. Cíle správného návrhu koordinace SOZ s SHZ jsou nejčastěji nepřekročení limitních teplot plynů a konstrukcí, dodržení úrovně nezakouřené vrstvy a dodržení minimální viditelnosti.[12] Součinností SOZ s SHZ se podrobněji zabývá např. ČSN 73 0810, Příloha B.

Pro běžné provozy shromažďovacích prostorů (mimo prodejní provozy posuzované jako sklady) zpravidla postačuje dodávka vody  $2,5 \text{ mm}^3$  až  $5 \text{ mm}^3$  za minutu [2], přičemž požár dosáhne určitého tepelného výkonu, který se dobou  $t_v$  dále nezvyšuje. Někdy se předpokládá teplota zplodin hoření a kouře shodná s otevírací teplotou <sup>8</sup>

### 1.13 Shrnutí závislostí a podmínek

- a) Intenzita požáru a množství tepla  $Q_1$  sdíleného prouděním roste s dobou  $t_v$ , požárním zatížením  $p$  a součinitelem  $a$ .
- b) S klesajícím rozdílem výšek ( $h_v - h_k$ ) se zvyšuje objem plynů, které je potřeba odvést vně objektu, mezitím jejich teplota  $T_g$  [°C] klesá a kvůli tomu roste i požadovaná plocha odvětrávacích klapek.
- c) Vztlak plynů roste se zvětšující se výškou akumulární vrstvy  $h_k$  a teplotou plynů v akumulární vrstvě  $T_g$  a tím se zmenšuje požadovaná aerodynamická plocha klapek.
- d) Účinnost klapek je dána poměrem aerodynamické a geometrické plochy a je vždy stanovena zkouškou.
- e) SHZ snižuje množství uvolněného tepla i teplotu plynů, tím klesá vztlak a rychlost proudění plynů k odvětrávacím otvorům, proto SHZ ne vždy umožňuje menší plochu odvětrávacích otvorů.
- f) Působením větru na stavbu, dochází ke snížení vztlaku uvnitř objektu, v tomto případě je tedy nucené požární odvětrání spolehlivější, než-li přirozené požární odvětrání.

---

<sup>8</sup>Součástí sprinklerové hlavice je skleněná baňka s různě zabarvenou kapalinou dle otevírací teploty. Běžně se používá otevírací teplota  $68 \text{ °C}$  (baňka s červenou kapalinou),  $93 \text{ °C}$  (zelená kapalina) a  $141 \text{ °C}$  (modrá kapalina).

- g) Při evakuaci je ideální únik osob proti přívodu vzduchu (přívod vzduchu o maximální rychlosti  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).
- h) Je vhodnější použít větší počet menších odvětrávacích otvorů (resp. ventilátorů) než malý počet velkých otvorů (resp. ventilátorů).

## 2. Metodika navrhování požárního odvětrání posledních nadzemních podlaží stavebních objektů

Tato kapitola shrnuje postupy dle ČSN 73 0802 a ČSN 73 0804 o navrhování požárního odvětrání posledních nadzemních podlaží stavebních objektů, se zaměřením na halové objekty se střešními odvětrávacími klapkami. Požární odvětrání v halových objektech funguje na principu vztlaku plynů v případě požáru tj. na přirozeném požárním odvětrání.

### 2.1 Vstupní údaje

Odvod kouře a tepla se zpravidla navrhuje pro celý PÚ. PÚ však může obsahovat více odvětrávaných kouřových sekcí a každá z nich se pak posuzuje zvlášť.

Pro návrh odvětrávacích klapek je nutné stanovit:

- a) Půdorysnou plochu kouřové sekce  $A_k$ . Kouřová sekce s plochou  $A_k$  je rovna nejvýše ploše požárního úseku  $S$ . Všechny kouřové sekce musí být v oblasti návrhové kouřové vrstvy stavebně odděleny konstrukcemi s požární nebo teplotní odolností a musí být kouřotěsné.
- b) Výšku  $h_v$  mezi podlahou posuzovaného prostoru a osou odvětrávacích otvorů.
- c) Výšku mezi odvětrávacími otvory a spodní úrovní akumulární vrstvy. Pokud není tato výška určena, přebírá se hodnota úrovně spodní hrany kouřové přepážky. Kouřová přepážka musí být dotažena ke spodní úrovni akumulární vrstvy, doporučuje se 100 mm pod spodní úroveň akumulární vrstvy.
- d) Časový interval požadované doby odvětrání  $t_v$ . Tento interval se stanoví z předpokládané doby zásahu požárních jednotek  $t_{v1}$  a doby trvání evakuace  $t_{v2}$ . Do doby zásahu požárních jednotek se započítává doba od vzniku požáru do jeho ohlášení hasičům  $t_1$ , pokud požár nahlašuje EPS je nejkratší možná doba  $t_1 = 90$  s. Dále doba výjezdu až příjezdu hasičů k danému objektu  $t_2$ , kde se doba jízdy určí z dráhy mezi požární stanicí a objektem a rychlosti jízdy ( $45 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). A konečně interval od doby příjezdu až po zahájení zásahu  $t_3$  v dané sekci, kde požár vznikl, min. 60 s.

$$t_{v1} = t_1 + t_2 + t_3 \quad (2.1)$$

Doba evakuace osob  $t_{v2}$  počítá s dobou mezi vznikem požáru a začátkem evakuace  $t'_1$ , v případě instalované EPS a řízené evakuace je nejkratší doba  $t'_1 = 90$  s. Dále zahrnuje dobu evakuace po nechráněných únikových cestách z požárního úseku  $t_u$ .

$$t_{v2} = t'_1 + t_u \quad (2.2)$$

Výsledná doba  $t_v$  je součtem obou výše uvedených a platí interval  $t_{v1} < t_v > t_{v2}$ .

## 2.2 Výpočet SOZ

Množství uvolněného tepla závisí na:

- a) Požárním zatížením  $p$  a charakteru hořlavých látek nebo skupině výrob a provozů či skupině výrob a skladů (I. až VII. sk.).
- b) Době  $t_v$ , pro kterou je návrhový požár určován (minimálně podle doby evakuace a zásahu požárních jednotek), což je časový interval alespoň 300 sekund. Do časového intervalu evakuace se započítává i doba mezi vznikem požáru a začátkem evakuace<sup>1</sup>. Pro výpočet odváděného kouře a tepla jakož i dimenzování požárního odvětrání je časový interval nejméně 5 minut a zpravidla nejvýše 15 minut, v závislosti na velikosti návrhového požáru.
- c) Součinnosti SHZ popřípadě DHZ, pokud v posuzovaném prostoru je navrženo. Tímto zařízením se sníží rozsah požáru, množství uvolněného tepla nebo se limituje množství uvolněného tepla maximální hodnotou bez ohledu na časový interval.

### Stanovení množství uvolněného tepla pro výrobní objekty

$$Q_1 = (t_v/k_v)^2 k_c \cdot 10^3 \quad (2.3)$$

kde  $k_v$  je parametr vyjadřující dynamiku rozvoje požáru  $k_v = 500$  (I.sk.); 380 (II.sk.); 290 (III.sk.); 230 (IV.sk.); 190 (V.sk.); 160 (VI.sk.); 130 (VII.sk.) [13]

Při návrhu přirozeného požárního odvětrání jsou hlavní tři veličiny a to aerodynamická plocha odvětrávacích otvorů, aerodynamická plocha přívodních otvorů a poloha neutrální roviny.

U nuceného SOZ jsou rovněž tři rozhodující veličiny a to výkon a celkový tlak ventilátorů, průřezová plocha odtokových šachet či potrubí a průřezová plocha přívodních otvorů.

U požárního odvětrání musí být stanovena předpokládaná teplota odváděných zplodin hoření (z požárního rizika resp. z návrhového požáru) a podle této teploty se musí stanovit požární klasifikace prvků a komponentů odvětrávacího systému.

<sup>1</sup>Nejméně 90 sekund, zpravidla 180 sekund a to v případě instalace EPS.



## Výpočet požárního odvětrání posledních nadzemních podlaží

Výpočet požárního odvětrání posledních podlaží se provede dle ČSN 73 0802, Přílohy H.

Výška mezi ložiskem požáru a akumulací vrstvou kouře

$$Y = h_v - h_k,$$

kde  $h_v$  je světlá výška objektu a  $h_k$  je zvolená výška akumulací vrstvy ( $0,2h_v$  až  $0,5h_v$ ).

Jestliže hlavní část povrchu hořícího paliva je v určité výšce nad podlahou  $\Delta h_v$  pak:

$$Y = h_v - h_k - \Delta h_v$$

Je-li  $h_v > 1,5$  m je třeba volit alespoň dvě výškové úrovně povrchu hořícího paliva, z nichž jedna je co nejbližší k podlaze, kde může být povrch hořícího paliva. Takto se posoudí největší objem odváděných plynů a současně jejich nejvyšší teplota.

Aerodynamická plocha odvětrávacích klapek  $A_{av}$

Stanoví se v závislosti na kritické hodnotě tepla sdíleného prouděním z hlediska flashover:

$$Q_{1max} = 900Y^{5/2}$$

je-li  $Q_1 < 0,2Q_{1max}$  tak  $A_{av} = 0,027Q_1^{1/3}(Y^{5/2} + 0,026Q_1^{2/3})h_k^{-1/2}$

je-li  $Q_1 \geq 0,2Q_{1max}$  tak  $A_{av} = 0,0122Q_1^{3/5}Yh_k^{-1/2}$

Geometrická plocha odvětrávacích klapek

$$A_{gv} = \frac{A_{av}}{c_v}$$

Priváděné množství plynů do akumulací vrstvy  $M_f$

$$Q_1 < 0,2 \cdot Q_{1max}$$

$$M_f = 0,071Q_1^{1/3}(Y^{5/3} + 0,026Q_1^{2/3})$$

$$Q_1 \geq 0,2Q_{1max}$$

$$M_f = 0,034YQ_1^{3/5}.$$

Teplota plynů v akumulací vrstvě  $T_g$

$$T_g = \frac{Q_1}{(Mf'c_p)} + T_0,$$

kde  $T_0$  je teplota okolního prostředí [ $^{\circ}\text{C}$ ]; měrné teplo plynů lze předpokládat hodnotou  $c_p=1,0$  až  $1,05$   $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Teplota plynů v akumulací vrstvě nemá přesáhnout  $550$   $^{\circ}\text{C}$  z důvodu zabránění šíření požáru - flashover.

Objemové množství odváděných plynů  $V_v$

$$V_v = \frac{Mf'}{\rho_g},$$

kde  $\rho_g = 353/(T_g + 273)$

Rychlost odváděných plynů

$$v_v = \frac{V_v}{A_{av}}$$

Vztlak u výtoků plynů

$$\Delta p_v = \frac{v_v^2 \cdot \rho_g}{2}$$

Objemové množství přiváděného vzduchu  $V_n$

$$V_n = V_v \cdot \frac{\theta_0}{\theta_g},$$

kde  $\theta_0$  je absolutní teplota v prostoru přítoku vzduchu (zpravidla 290 až 295 K),  $\theta_g$  je absolutní teplota v akumulární vrstvě, resp. teplota vytékajících plynů ( $T_g + 293$ ) K.

Plocha otvorů pro přiváděný vzduch

$$A_{gn} = \frac{V_n}{(v_n \cdot c_n)},$$

kde  $c_n$  je vtokový součinitel přívodních otvorů vzduchu od 0,5 do 0,55.

Plocha navrhovaných přívodních otvorů většinou není přesně předurčena a proto se pro jejich výpočet vychází z tlakových poměrů v posuzované kouřové sekci. Stanoví se tlakový rozdíl dle rovnice

$$\Delta p = 3460(\theta_0^{-1} - \theta_g^{-1}) \cdot h'_v$$

$$h'_v = h_v - \frac{h_0}{2},$$

kde  $\theta_0$  je absolutní teplota v prostoru pod neutrální rovinou v prostoru přítoku vzduchu (zpravidla 290 až 295 K),  $\theta_g$  je absolutní teplota v akumulární vrstvě, resp. teplota vytékajících plynů ( $T_g + 293$ ) K. Vzdálenost  $h_0$  je určena mezi podlahou kouřové sekce a osou předpokládaných přívodních otvorů vzduchu.

Dále se určí tlakový poměr v přívodním otvoru vzduchu podle rovnice

$$\Delta p_n = \Delta p - \Delta p_v$$

a rychlost přítoku vzduchu je v tomto případě  $v'_n$  je

$$v'_n = \sqrt{2 \frac{\Delta p_n}{\rho_0}},$$

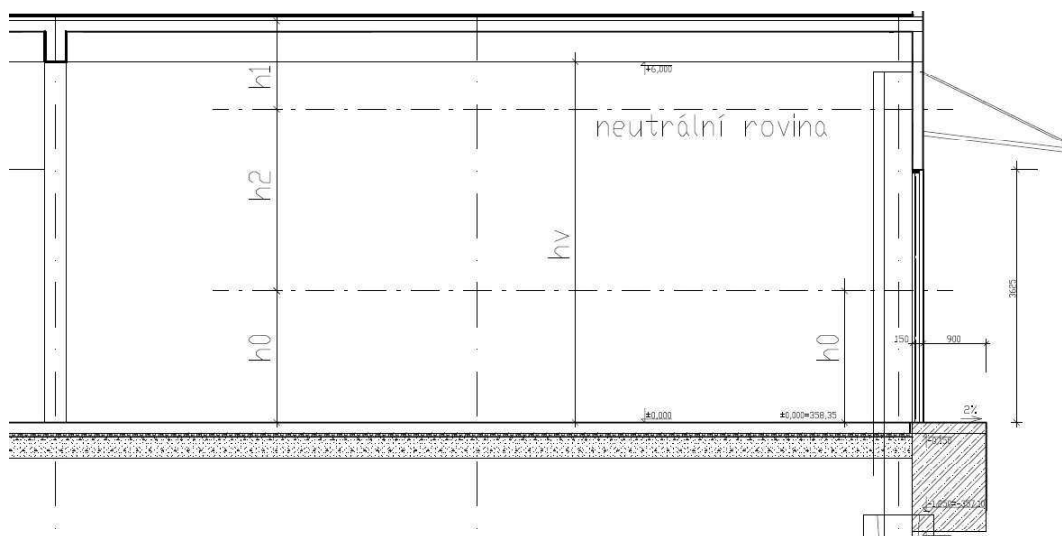
takže geometrická plocha přivodních otvorů vzduchu bude

$$A_{gn} = \frac{V_n}{v'_n \cdot c_n}$$

Polohu neutrální roviny lze určit takto

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{A_{av}^2}{A_{gn}^2} \cdot \frac{\theta_0}{\theta_g}$$

$$h_1 + h_2 = h'_v$$



Obrázek 2.1: Poloha neutrální roviny [autor]

## 2.3 Systém ovládání požárního odvětrání

Samočinné zařízení požárního odvětrání se již dle názvu aktivuje samočinně po vzniku požáru a signalizuje uvedení v činnost do ohlašovny požáru se stálou službou, odkud lze vznik požáru ohlásit přímo na požární útvar. SOZ musí být možné ovládat i manuálně. Dálkové manuální ovládání slouží požárním jednotkám při zásahu, k periodickým kontrolám funkčnosti zařízení. Pokud je SOZ realizováno pomocí střešních klapek, může sloužit k běžnému dennímu odvětrání mimo případ požáru.

Požární odvětrání se samočinně uvádí v činnost iniciačním zařízením, které je buď v přímé vazbě na odvětrávací klapky nebo ve vazbě na ústřednu EPS. Druh čidel a jejich rozmístění se volí dle konkrétních podmínek tak, aby časový interval mezi vznikem požáru a reakcí čidel byl co nejkratší, maximálně 120 sekund.[14]

V objektu by měla být instalována čidla reagující na kouř. Odvětrávací klapky v kombinaci se sprinklerovým zařízením interagují tak, že EPS udá při požáru klapkám pokyn k uzavření, aby plyny v akumulární vrstvě dosáhly dostatečné teploty pro aktivování sprinklerových hlavic. Teprve po jejich aktivaci se klapky přesunou do polohy otevřeno. Otevření klapek musí proběhnout do 60 sekund.

## 2.4 Umístění prvků SOZ ve stavbě

Aby se odvětrávací klapky ve střeše rozmístily rovnoměrně v půdorysu sekce, uvádí [15] optimální světlou vzdálenost mezi klapkami 1,  $5h_v$ . Odvětrávací klapka musí být schopna odvětrat i kouty sekce a nesmí být vzdálena od místa možného požáru víc jak 2,  $8h_v$ . Ideální je navrhnout větší počet menších klapek.

Čím výše jsou nainstalovány odvětrávací klapky od úrovně podlahy, tím se jejich účinnost vlivem vyššího vztlaku plynů zvyšuje. V půdorysném průmětu pod klapkou nesmí vést žádné jiné instalace či překážky, aby byla využita celá odvětrávací plocha klapky. Odvětrávací klapky se umísťují více jak 2,5 m od kraje odvětrávané kouřové sekce a více jak 5 m od sebe (světlá vzdálenost) dle [4].<sup>2</sup> Ve stísněných případech mohou být vzdáleny na součet délek dvou sousedních klapek. Místo odvětrávacího otvoru, resp. nasávacího otvoru musí být půdorysně vzdálené od přívodu vzduchu min  $8h_v$ . Odvětrávací klapky je ideální umísťovat tak, aby vítr podporoval sání odváděných plynů. SOZ musí zajistit odvětrání v celém PÚ, kromě ploch bez požárního rizika jako je WC, zázemí, umývárny apod.

Ventilátory se rozmísťují s ohledem na to, aby nedocházelo k podsátí kouřové vrstvy tj. aby nedocházelo k nasávání čerstvého vzduchu namísto spalin z akumulací vrstvy. Výpočtem se stanoví maximální objemový průtok jednoho ventilátoru resp. výustky a jejich vzdálenost mezi sebou.

Pokud se požární klapka nebo výdech ventilátoru nachází v blízkosti požárně otevřených ploch jiných PÚ (nad úrovní klapek), musí být vzdálena min 3,5 m (5 m) měřeno horizontálně, nebo 5 m (7 m) měřeno prostorově od nejbližší hrany odvětrávací klapky k hraně požárně otevřené plochy.<sup>3</sup>

V PÚ s SOZ musí být osoby informovány značkami o tomto zařízení. Požární odvětrání musí mít zajištěnou vlastní dodávku elektrické energie, aby v případě požáru mohlo plnit svoji funkci.[17] Požární odvětrání je nezbytnou součástí požární bezpečnosti objektu. Návrh požárního větrání je součástí projektu PBŘ, kde jsou pro něj stanoveny vstupní údaje a může zpětně ovlivňovat dimenze únikových cest, velikosti PÚ, podmínky zásahu, požární odolnost konstrukcí apod. Návrh požárního odvětrání musí respektovat činnosti ostatních požárně bezpečnostních zařízení jako je např. vzduchotechnické zařízení.

---

<sup>2</sup>DIN 18232-2:2007 uvádí minimální vzdálenost hrany klapky od přepážky 4 m a vzdálenost mezi jednotlivými klapkami od 5 do 20 metrů. [16]

<sup>3</sup>Údaje v závorkách platí pro teploty plynů vyšší než 300 °C.

## 3. Praktická část

Praktická část bakalářské práce bude věnována především výpočtům požárního odvětrání dle přílohy H, ČSN 73 0802 a poté samotným simulačním modelům vybraného požárního stavu ve výrobní hale. Hlavním výstupem bude posouzení požárního odvětrání pro všechny tři požární stavy. Popis výrobní haly, výpočty a podmínky, za kterých budou simulace probíhat, budou uvedeny v následujícím textu.

Vlastní simulace budou v této práci provedeny následovně:

- a) Přirozeně odvětrávaný prostor - modelový příklad přirozeného systému odvětrání
- b) Neodvětrávaný prostor - modelový příklad neodvětrávaného systému

Pro nucený stav odvětrání a přirozené odvětrání v kombinaci s SHZ budou provedeny pouze výpočty dle Přílohy H. Simulace těchto dvou požárních stavů nebudou provedeny.

### 3.1 Simulační model v programu FDS

Program Fire Dynamics Simulator (FDS) <sup>1</sup> se řadí mezi deterministické matematické modely predikující rozvoj požáru a dále patří do podskupiny CFD modelů. <sup>2</sup> Program byl veřejnosti zpřístupněn v roce 2000 a je zprostředkováván Národním institutem pro normalizaci a technologii v USA (NIST). Uplatnění nachází při simulacích přenosu tepla a zplodin hoření, pyrolýzy, šíření plamenů po povrchu, aktivaci sprinklerů, teplotních a kouřových detektorů či sledování účinnosti sprinklerů. [18]

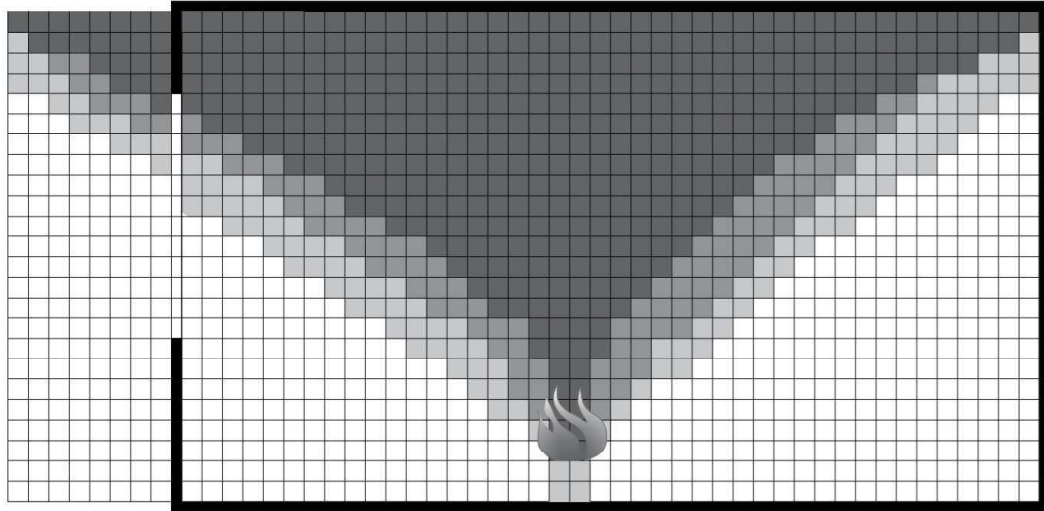
FDS řeší rovnice popisující vývoj požáru čtením vstupních dat z textového souboru, tzv. zdrojového kódu. Výsledky výpočtu jsou pak zaznamenávány v podobě textových souborů. Na FDS navazuje výpočetní program, který pomáhá interpretovat data získaná výpočtem v FDS a usnadňuje práci při editaci a formulaci zadání pro simulační výpočet a tím je program Smokeview (SMW). Simulace v FDS probíhá pomocí výpočtu Navier-Stokesových rovnic pomalého proudění tekutin, jehož příčinou nemusí být jen požár. Pomalé proudění je definováno Machovým číslem <sup>3</sup> menším než 0,3. [19]

---

<sup>1</sup>Tento nekomerční model typu pole, pracuje na principu pravoúhlých kontrolních objemů ve zvolené výpočetní oblasti.

<sup>2</sup>CFD modely jsou postaveny na algoritmech výpočtového proudění tekutin (Computational Fluid Dynamics).

<sup>3</sup>Machovo číslo je bezrozměrná fyzikální veličina, udávající poměr rychlosti pohybu daného tělesa v určitém prostředí k rychlosti šíření zvuku. Proudění vyvolané požárem dosahuje rychlosti v rozmezí 10 - 20 m·s<sup>-1</sup>



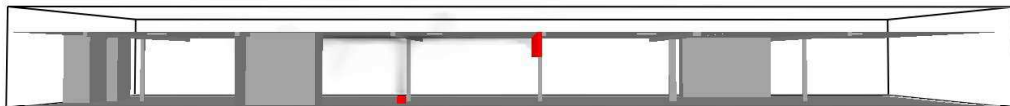
Obrázek 3.1: CFD model s kontrolními objemy - buňkami, mezi nimiž probíhá vzájemná výpočetní interakce. Pro každou buňku jsou stanoveny stavové rovnice a rovnice zachování energie, hmoty a chemických látek. Dále jsou pro každou buňku řešeny rovnice zachování hybnosti. [autor]

Hoření komodit je definováno buďto množstvím uvolněného tepla z jednotkové plochy v průběhu času Heat Release Rate Per Unit Area - HRRPUA nebo pomocí členů kinetické Arrheniovy rovnice.[20]

V programu lze pozorovat i další submodely hoření a to:

- a) turbulentní proudění - LES/DNS <sup>4</sup>
- b) přenos tepla sáláním
- c) proces spalování (hoření)

Grafické znázornění výsledků simulace lze zobrazit v jednoduchém softwarovém nástroji Smokeview (SMV). Postup zadávání simulace do programu FDS je dále popsán na vybrané průmyslové hale v praktické části této práce.



Obrázek 3.2: Zobrazení modelu výrobní haly v programu SMV [autor]

Program je bezplatný, volně dostupný na webu a autorská instituce NIST pravidelně vydává nové aktualizované verze. Pro tuto práci byla použita verze FDS 6.6.0.

<sup>4</sup>Turbulence tekutin, která je řešena v rámci hydrodynamického modelu, je v základním nastavení zpracována pomocí Smagorinskyho formy simulace velkých vírů LES - Large Eddy Simulation. Pokud je výpočetní síť modelu dostatečně jemná, je možné problematiku řešit výrazně podrobnější, ale také náročnější metodou přímé numerické simulace DNS - Direct Numerical Simulation.[21]

## 3.2 Vstupní parametry výpočtu SOZ

Pro zpracovávání výpočet, po požadovanou dobu funkce odvětrávacího zařízení, je třeba nejprve stanovit požární zatížení a stupeň skupiny výrob a provozů pro požární úsek výrobní haly. Toto zahrnuje zpráva PBR a výsledné hodnoty budou sloužit jako vstupní parametry pro výpočet požárního odvětrání.

V dalším kroku se postupuje dle ČSN 73 0802 dle přílohy H. Požární úsek se rozdělí na vyhovující počet kouřových úseků, pro které se dále bude zjišťovat plocha a počet přírodních a odvodních otvorů.

### 3.2.1 Popis výrobní haly

Objekt je posuzován ve smyslu ČSN 73 0804. Jednopodlažní hala slouží jako výrobní drobných elektrosoučástí a elektrosoučástek. Pracovní režim funguje na pracovních linkách. K halovému objektu je ze západní strany přistavena dvoupodlažní budova s kanceláři, zázemími a dalšími prostory sloužící provozu objektu. Prostor výrobní haly zahrnuje výrobní provoz, zázemí zaměstnanců a výměník tepla.

Řešená výrobní hala má z požárního hlediska nehořlavý konstrukční systém a konstrukční části zajišťující stabilitu objektu splňují požární odolnost konstrukcí DP1 (svislé i vodorovné). Požární výška objektu je stanovena  $h = 0$  m (jednopodlažní hala).

Nosný systém haly tvoří železobetonový skelet tj. sloupy a vazníky. Nosné sloupy jsou rozmístěny po obvodu a uprostřed haly v modulu 12 x 16 metrů. Sloupy jsou železobetonové o čtvercovém průřezu 300 x 300 mm a výšky 5,6 metrů. Střešní vazníky, které vynášejí stropní konstrukci, jsou rovněž železobetonové o obdélníkovém průřezu s rozměry 300 x 400 mm. Podlaha v hale je ze železobetonu.

Obvodový plášť tvoří sendvičové panely systému Kingspan o tloušťce 120 mm. Střešní plášť tvoří ocelový trapézový plech, na kterém je umístěna parozábrana, tepelná izolace z minerální vaty a vrchní vrstva hydroizolace. Celková vrstva střešního pláště je 300 mm.

Na třech fasádách po obvodu je umístěno několik vstupních a vjezdových otvorů. Na jižní a severní fasádě jsou umístěny 3 vstupní dveře pro personál o rozměrech 1,97 x 0,9 metrů. Na jižní a východní fasádě je navíc rozmístěných 8ks vrat pro zásobování o rozměrech od 3 x 3 metrů až po 3,6 x 4,25 metry.

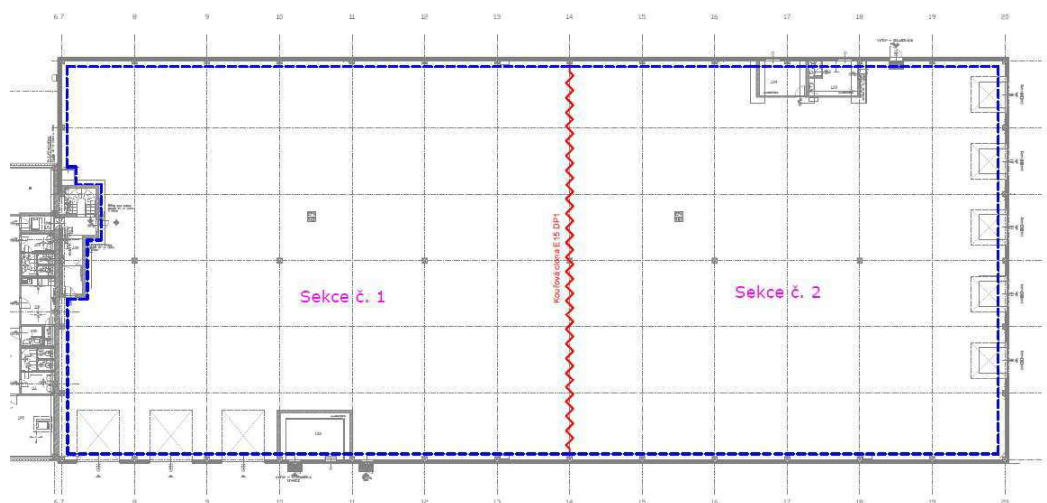
Výrobní halu bylo třeba rozdělit na 2 kouřové sekce, tak aby splnily všechny podmínky dané normy, jak již bylo uvedeno v teoretické části této práce. V závislosti na světlé výšce haly 6 metrů byla sekce č.1 navržena o půdorysné ploše 1300 m<sup>2</sup> a sekce č.2 o půdorysné ploše 1200 m<sup>2</sup>. Ve výpočtu se zabýváme pouze jednou sekcí s největší půdorysnou plochou a menší sekce je tímto na straně bezpečnosti. Tyto dvě kouřové sekce bude oddělovat mobilní kouřová přepážka, která se v případě požáru spustí do navržené výšky nad podlahu. V závislosti na světlé výšce haly a maximální půdorysné ploše kouřové sekce byla tato kouřová přepážka navržena do 4 metrů nad podlahu. Výška kouřové přepážky tedy činí dva metry. Je důležité podotknout, že při výpočtu požárního odvětrání se obecně uvažuje vypuknutí požáru pouze v jedné sekci.

Pro první stav a třetí stav (tj. přirozené odvětrání a přirozené odvětrání v kombinaci SHZ) je uvažována instalace střešních odvětrávacích klapků na pod-

sadu do střešní konstrukce. Jejich dimenze jsou určeny výpočty dle Přílohy H, ČSN 73 0802.

Pro druhý stav - nucené odvětrání jsou do střešní konstrukce instalovány ventilátory speciálně pro účely požárního odvětrání o vypočteném potřebném výkonu.

Vzhledem k obecnému nastínění problematiky požárního větrání, bude výrobní hala zjednodušeným modelem bez vlastní navržené technologie (výrobní linky aj.). V následující části se seznámíme s potřebným obecným postupem výpočtu pro všechny tři stavy odvětrání a to dle Přílohy H, ČSN 73 0802.



Obrázek 3.3: Rozdělení haly do kouřových sekcí (modrá čárkovaná čára) [autor]



## 4. Varianty návrhu SOZ

Navrhované varianty řeší odvětrání kouře a tepla z výrobní haly v Plzni – Borškých polích, Teslova ul.

### Stanovení potřeby SOZ

Doba zakouření  $t_e$  musí být nižší než doba  $t_u$  evakuace osob. Pokud je tedy splněna podmínka  $t_e \leq t_u$ , není potřeba instalovat SOZ do řešeného prostoru, pokud to nevyžadují jiné normativní požadavky. Pro dobu zakouření platí vztah:

$$t_e = 1,25 \frac{\sqrt{h_s}}{a},$$

kde  $h_s$  je světlá výška prostoru a  $a$  je součinitel odhořívání, jenž je pro výrobní objekty stanoven na hodnotu 1,0.

$$t_u = \frac{0,75l_u}{v_u} + \frac{E \cdot s}{K_u \cdot u},$$

kde  $l_u$  je délka únikové cesty,  $v_u$  rychlost úniku osob,  $E$  počet evakuovaných osob,  $s$  součinitel podmínek evakuace,  $K_u$  jednotková kapacita únikového pruhu a  $u$  šířka únikové cesty.

Po dosazení hodnot z tabulky 4 do předešlých dvou vzorců obdržíme výsledky pro dobu zakouření a dobu evakuace osob pro danou halu.

$$t_e = 3,06 \text{ min} > 2,67 \text{ min} = t_u,$$

Požadovaná nerovnost  $t_e \leq t_u$  není splněna a tudíž je pro danou výrobní halu nutná instalace SOZ.

$h_s$ [m]	$a$ [-]	$l_u$ [m]	$E$ [-]	$s$ [-]	$v_u$ [m·s <sup>-1</sup> ]	$K_u$ [min <sup>-1</sup> ]	$u$ [m]
6	1	50	120	1	35	50	1,5

Tabulka 4.1: Hodnoty použité při výpočtu doby zakouření a doby evakuace osob. Tyto hodnoty byly převzaty z Tabulek 10.12, 10.9.4, 10.9.5, 10.9.6, 10.10.2, 10.10.1. v ČSN 73 0804.

### Popis objektu

Skladová hala má železobetonovou nosnou konstrukci (sloupy, průvlaky). Obvodový plášť je ze sendvičových panelů, s ohledem na sousední pozemky s požadovanou požární odolností. Střešní plášť tvoří ocelový trapézový plech, na kterém je umístěna parozábrana, tepelná izolace z minerální vaty a vrchní vrstva hydroizolace.

Výrobní hala se stávajícím zázemím pro zaměstnance a výměníkem tvoří jeden požární úsek PÚ N01.01. Objekt je jednopodlažní, nepodsklepený.

Dle PBR musí být hlavní prostor PÚ N01.01 vybaven samočinným odvětrávacím zařízením (SOZ).

Celý objekt je vybaven systémem elektrické požární signalizace (EPS).

Celková plocha výrobní haly je 2500 m<sup>2</sup>, z toho jsou dvě vestavby

2 x 25 m<sup>2</sup>. Šířka haly činí 33,6 m a délka 74,4 m. Proto, že hala překračuje limitní délku 70 m, musí být rozdělena na dvě kouřové sekce. Sekce č.1 o celkové ploše 1300 m<sup>2</sup> a sekce č.2 o celkové ploše 1200 m<sup>2</sup>. Hala má světlou výšku 6 m. Posouzení variant SOZ bude provedeno pouze pro plošně větší sekci č.1. Dle ČSN jsou výstupní hodnoty výpočtů sekcí do plochy 1600 m<sup>2</sup> pro výrobní objekty shodné.

V prostoru celé haly nejsou instalovány podhledy. Případně realizované podhledy musí být perforovány. Perforace podhledů musí činit 25% plochy podhledu dle doporučení prCEN/TR 12101-5 (čl. 6.10.2.2 a 4), poté není vliv podhledu ve výpočtu klapek resp. ventilátorů zohledňován.

### **Podklady použité pro zpracování**

Půdorysy a řezy předmětné stavby  
Požárně bezpečnostní řešení stavby (PBR)

### **Použité normy a předpisy**

ČSN 73 0804  
ČSN 73 0802, vč. Přílohy H

### **Popis zařízení pro odvod kouře a tepla**

Zařízení pro odvod kouře a tepla je součástí požárně bezpečnostních zařízení ve stavebním objektu, jehož cílem je snížit riziko vzniku a šíření požáru v objektu, jakož i minimalizovat ohrožení osob a majetku účinky požáru.

Cílem požárního odvětrání je odvod zplodin hoření a tepla vně objektů a tím:

- a) Vytvoření optimálních podmínek pro evakuaci osob.
- b) Umožnění úspěšného zásahu jednotek požární ochrany, především z důvodu přijatelné viditelnosti a nižší rizikovosti zásahu.
- c) Snížení rozsahu ztrát vlivem negativního působení zplodin hoření na zařízení a vybavení stavebních objektů.
- d) Snížení tepelného namáhání stavebních konstrukcí v určitém rozsahu.
- e) Princip požárního odvětrání spočívá v usměrnění toku zplodin hoření a jejich odvedení vně objektu při současném zajištění přítoku vzduchu do odvětrávané části objektu.

### **Návrhový časový interval**

Výška vrstvy s nízkým výskytem kouře je ve výpočtu uvažována v úrovni + 4,0 m od podlahy, čímž je zajištěno, že unikající osoby nebudou po dobu evakuace ohroženy kouřem.

Minimálně požadovaná výška vrstvy s nízkým výskytem kouře je uvažována tak, aby byla udržena do doby zásahu požárních jednotek. Je předpokládáno, že jako první bude k požáru vyjíždět požární jednotka stanice Plzeň – Slovany, U seřadiště 196, Plzeň, která je vzdálena 3 kilometry od řešeného objektu. Doba zahájení zásahu jednotky:

Doba zpozorování požáru  $t_{ZP} = 2$  minuty (reakce EPS)

Doba ohlášení požáru  $t_{OH} = 0$  minut (EPS je vybavena zařízením dálkového přenosu na HZS)

Doba výjezdu  $t_v = 2$  minuty

Doba jízdy  $t_j = \frac{(60 \cdot 3)}{45} = 4$  minuty

Doba příjezdu první jednotky  $t_{DOPr} = 6$  minut

Doba bojového rozvinutí první jednotky  $t_{BRPr} = 4$  minuty

Doba volného rozvoje požáru  $t_{VR} = t_{ZP} + t_{OH} + t_{DOPr} + t_{BRPr} = 2 + 0 + 6 + 4 = 12$  minut = 720 s

Řešený prostor nebude dělen žádnými příčkami, stav. konstrukcemi a instalacemi, které by mohly bránit volnému proudění kouře a přívodu vzduchu.

### Požární zatížení

Dle zpracovatele PBŘ je dána hodnota požárního zatížení  $p = 25,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $a = 1,0$  viz Příloha 1. Pro návrh SOZ je pro výrobní objekty stěžejní hodnota parametru vyjadřující dynamiku požáru. V tomto případě  $k_v = 190$  pro V. skupinu výrob a provozů stanovena z ČSN 73 0804 z Přílohy E, Tabulka E.1, Položka 5.9. Tato hodnota se použije ve výpočtu.

V. skupina výrob a provozů, dle ČSN 73 0804

Položka 5.9 - Výroba přístrojů, měřidel a jiných elektrotechnických a elektronických zařízení (výrobky pro telekomunikaci, rozhlasové a televizní přístroje, měřicí a regulační zařízení, výrobky výpočetní techniky a zpracování dat, časoměrné, vědecké, laboratorní a zabezpečovací zařízení apod.)

## 4.1 Návrh přirozeného SOZ

Požární odvětrání je v PÚ N01.01 řešeno pomocí samočinného odvětrávacího zařízení – klapkami instalovaných do střechy nad odvětrávaným prostorem. Samočinné odvětrávací zařízení patří ve smyslu vyhlášky č. 246/2001 Sb., o požární prevenci § 4 odst. 3 písm. f) mezi vyhrazené druhy požárně bezpečnostních zařízení. Zařízení pro odvod kouře a tepla musí odpovídat požadavkům ČSN EN 12101-2.

Prívod vzduchu do sekce č.1 je prostřednictvím 2ks vrat v jižní fasádě s označením A, B sloužící pro zásobování. Vrata mají rozměr 4,25 x 3,6 m.

Prívod vzduchu do sekce č. 2 je prostřednictvím 2ks vrat v západní fasádě s označením C, D sloužící pro zásobování. Vrata mají rozměr 3,0 x 3,0 m.

Všechna vrata musí být napojena na EPS a v případě detekce požáru v sekci č.1 nebo v sekci č.2 se otevírat.

### Posouzení přirozeného SOZ

Vstupní hodnoty:			
Půdorysná plocha odvětrané sekce	$A_k$	1300	[m <sup>2</sup> ]
Výška od podlahy po osu klapek	$h_v$	6,0	[m]
Výška mezi ložiskem požáru a akumulací vrstvou kouře	$Y$	4,0	[m]
Návrhový časový interval	$t_v$	720	[s]
Parametr vyjadřující dynamiku požáru	$k_v$	190	[-]
Rychlost na přítoku	$v_n$	5,0	[m·s <sup>-1</sup> ]
EPS	ano/ne	ANO	[-]
SHZ	ano/ne	NE	[-]
Shromažďovací prostor	ano/ne	NE	[-]
Součinitel navržených odtokových otvorů	$c_v$	0,6	[-]
Součinitel přítokových otvorů	$c_n$	0,5	[-]
Výsledky výpočtu:			
Kritická hodnota tepla sdíleného prouděním	$Q_{1max}$	28800	[kW]
Množství uvolněného tepla sdíleného prouděním	$Q_1$	9742	[kW]
Aerodynamická plocha odvětrávacích otvorů	$A_{av}$	8,55	[m <sup>2</sup> ]
Geometrická plocha odvětrávacích otvorů	$A_{gv}$	14,25	[m <sup>2</sup> ]
Tok plynů do akumulací vrstvy	$M_f$	33,63	[kg·s <sup>-1</sup> ]
Teplota plynů v akumulací vrstvě	$T_g$	309,94	[°C]
Objemové množství odváděných plynů	$V_v$	55,13	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
Objemové množství přiváděného vzduchu	$V_n$	27,43	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
Rychlost na výtoku	$v_v$	6,51	[m·s <sup>-1</sup> ]
Vztlak na výtoku	$\Delta p_v$	12,65	[Pa]
Geometrická plocha přívodních otvorů	$A_{gn}$	10,97	[m <sup>2</sup> ]

Tabulka 4.2: Sekce č.1

Pro odvětranou sekci č.1 i č.2 je navrženo:

Sekce č.1 i č.2 bude požárně odvětrávána klapkami instalovanými ve střeše v

celkovém počtu 6 ks zařízení pro odvod kouře a tepla jmenovitého rozměru 1600 x 2000 mm. Teplotní odolnost klapek je klasifikována B600.

Celková geometrická plocha odvětrávacích klapek:

$A_{gv} = 6 \times 1,6 \times 2,0 = 19,2 \text{ m}^2 > 14,25 \text{ m}^2 \implies$  plocha počtu navržených odvětrávacích klapek VYHOVUJE.

Přívod vzduchu do sekce č.1 bude prostřednictvím vrat A, B. Celková geometrická plocha přívodních otvorů  $(4,25 \times 3,6) \times 2 \text{ ks} = 30,6 \text{ m}^2 > 10,97 \text{ m}^2 \implies$  plocha přívodních otvorů VYHOVUJE.

Vrata A, B musí být napojené na systém EPS a v případě detekce požáru se musí automaticky otevřít současně s klapkami SOZ instalovaných ve střeše.

Přívod vzduchu do sekce č.2 bude prostřednictvím vrat C, D. Celková geometrická plocha přívodů vzduchu  $(3,0 \times 3,0) \times 2 \text{ ks} = 18 \text{ m}^2 > 10,97 \text{ m}^2 \implies$  plocha VYHOVUJE.

Vrata C, D musí být napojené na systém EPS a v případě detekce požáru se musí automaticky otevřít současně s klapkami SOZ instalovaných ve střeše.

Je nutné zajistit oddělení dvou kouřových sekcí výrobní haly pomocí kouřové přepážky. Kouřová přepážka je umístěna na ose K-F/14 a musí sahát do úrovně 4,0 m nad podlahou a musí být dotěsněna po střešní plášť a musí vykazovat teplotní odolnost D600, 30 dle EN 12101-1.

Odvětrávací klapky musí splňovat parametry dle výrobní normy EN 12 101-1. Ovládání pro sekci č.1 i č.2 je umístěné v sekci v 1NP na ose K/18.

### **Způsob aktivace SOZ**

EPS aktivuje odvětrávací klapky v sekci č.1 i č.2 a současně aktivuje příslušné otvory pro přívod vzduchu. (Potřebná plocha pro přívod vzduchu pro SOZ je realizována automatickým zálohovaným otevřením vrat do haly).

Automatická aktivace od EPS: po obdržení napěťového impulzu 24V DC, 0,16A z ústředny EPS dojde k aktivaci ventilu v ovládací skříni SOZ, ve které dojde k proražení lahve s  $CO_2$ . Plyn proudí tlakovým rozvodem do zvedacího válce zařízení a otevře odvětrávací klapky v sekci.

EPS bude aktivovat odvětrávací klapky v kouřové sekci č.1 a současně aktivuje příslušné otvory pro přívod vzduchu A, B. V kouřové sekci č.2 bude EPS aktivovat odvětrávací klapky a současně aktivuje příslušné otvory pro přívod vzduchu C, D.

Při spuštění SOZ bude automaticky vyřazeno z činnosti případné zařízení VZT v dotčeném požárním úseku.

Konečné logické vazby a návaznosti požárně bezpečnostních zařízení jsou prioritně upraveny požárně bezpečnostním řešením stavby.

### **Požadavky na profese**

EPS:

Otevírání vrat A, B současně s SOZ v sekci č.1, automatická aktivace SOZ v kouřové sekci č.1.

Otevírání vrat C, D současně s SOZ v sekci č.2, automatická aktivace SOZ v kouřové sekci č.2.

Elektro: Zajistit napájení vrat A, B, C, D do výrobní haly pro přívod vzduchu ze dvou nezávislých zdrojů elektrické energie kabelou trasou s funkční integritou

dle PBŘ.

Stavba: Pokud bude navržena jakákoliv instalace podhledů v celém prostoru kouřových sekcí č.1 i č.2, je nutné, aby měly min. 25% perforaci své plochy. Dále zajistit hydroizolaci prvků SOZ.

Statika: Zajistit nosné ocelové výměny pro prvky SOZ.

### 4.1.1 Simulační model

#### Přirozený systém odvětrání

Výpočet simulace v programu byl z důvodu časové náročnosti samotného výpočtu stanoven na 120 sekund místo výše spočítaných  $t_v = 720$  sekund. Při návrhovém výpočtovém čase  $t_v = 120$  s budeme předpokládat již plně rozvinutý požár. Výpočet v programu FDS v této práci poslouží spíše pro představu zadávání dat, chování kouře a jeho nárůst pod stropem haly, otevírání odvodních, přívodních otvorů, nárůst teploty a množství tepla uvolněného konvekcí pro daný výpočetní čas. Vytvořený zdrojový soubor, který posloužil pro výpočet, bude přiložen k této práci.

Na následujícím obrázku 4.1 můžeme vidět šest snímků postupného nárůstu teplot v návrhovém čase do 120 s, zobrazených v prostorovém řezu 2 m nad podlahou. Tento řez sledujeme proto, abychom se informovali o teplotách, které zde vzniknou. Úroveň 2 m nad podlahou je limitní z hlediska bezpečné evakuace osob. Lze tedy z teplotní škály vysledovat, že nejvyšší teploty v této úrovni, dosahují až  $35^\circ\text{C}$ , což je pro bezpečnou evakuaci vyhovující.

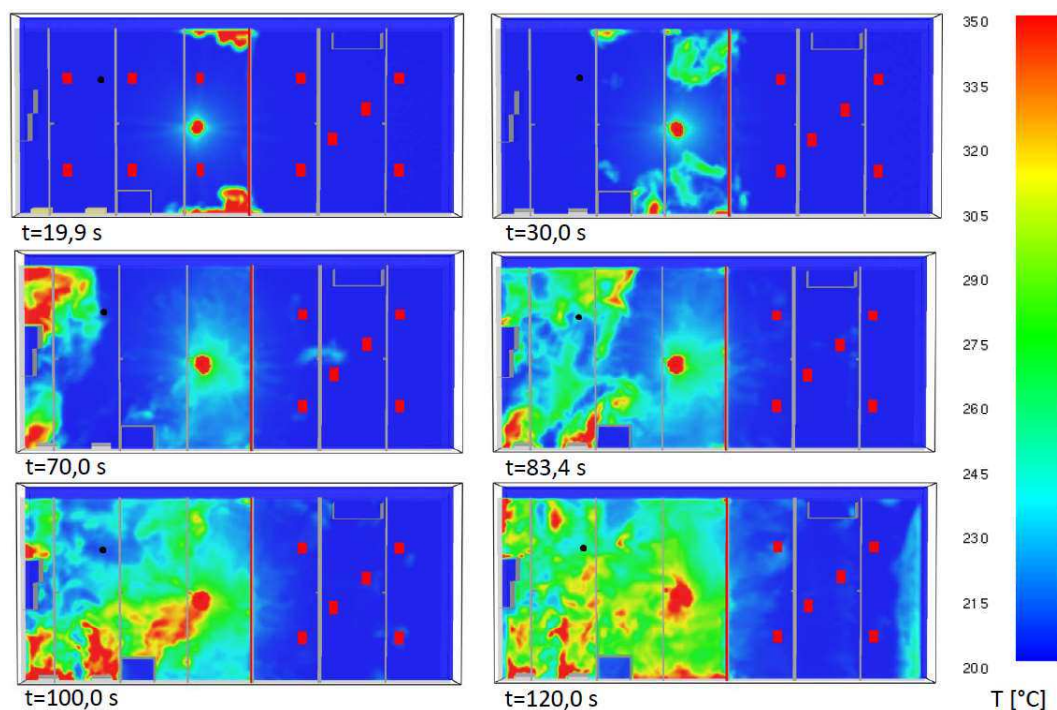
Čas  $t = 19,9$  s zobrazuje teploty těsně před otevřením odvětrávacích klapek ve střeše simultánně s přívodními otvory pouze v sekci č.1. Při výpočtech požárního odvětrání se totiž vždy předpokládá vypuknutí požáru pouze v jedné sekci.

V čase  $t = 19,9$  s sledujeme pouze ložisko požáru a zahřívání okolních konstrukcí.

V čase  $t = 30,0$  s, tedy již 10 s od otevření střešních klapek, můžeme vidět postupné ochlazování konstrukce.

Časy  $t = 70,0$  s,  $t = 83,4$  s zobrazují proudění horkých plynů prostorem vlivem postupného vyrovnávání tlaků v sekci a postupné zvyšování výkonu požáru.

Snímky v časech  $t = 100,0$  s,  $t = 120,0$  s ukazují postupné zahřívání vzduchu uvnitř kouřové sekce ke konci simulace tohoto požárního stavu. Požár již dosahuje svého plného nastaveného výkonu 15000 kW. Pozorujeme i přesun horkých plynů do sousední sekce.



Obrázek 4.1: Zobrazení průběhu teplot v prostorovém řezu ve výšce 2 m nad podlahou ve SMW. Černý bod značí bod měření teploty.[autor]

Na následujícím obrázku 4.2 můžeme vidět šest snímků postupného nárůstu teplot v návrhovém čase do 120 s, zobrazených v prostorovém řezu 6 m nad podlahou. Tento řez sledujeme proto, abychom se informovali o teplotách, které vzniknou těsně pod střešní konstrukcí. Z této simulace můžeme z teplotní škály odečíst, že nejvyšší teploty v této úrovni, dosahují až 170 ° C pro nastavený výkon požáru.

Čas  $t = 19,9$  s zobrazuje teploty těsně před otevřením odvětrávacích klapek ve střeše simultánně s přírodnými otvory pouze v sekci č.1. Při výpočtech požárního odvětrání se totiž vždy předpokládá vypuknutí požáru pouze v jedné sekci.

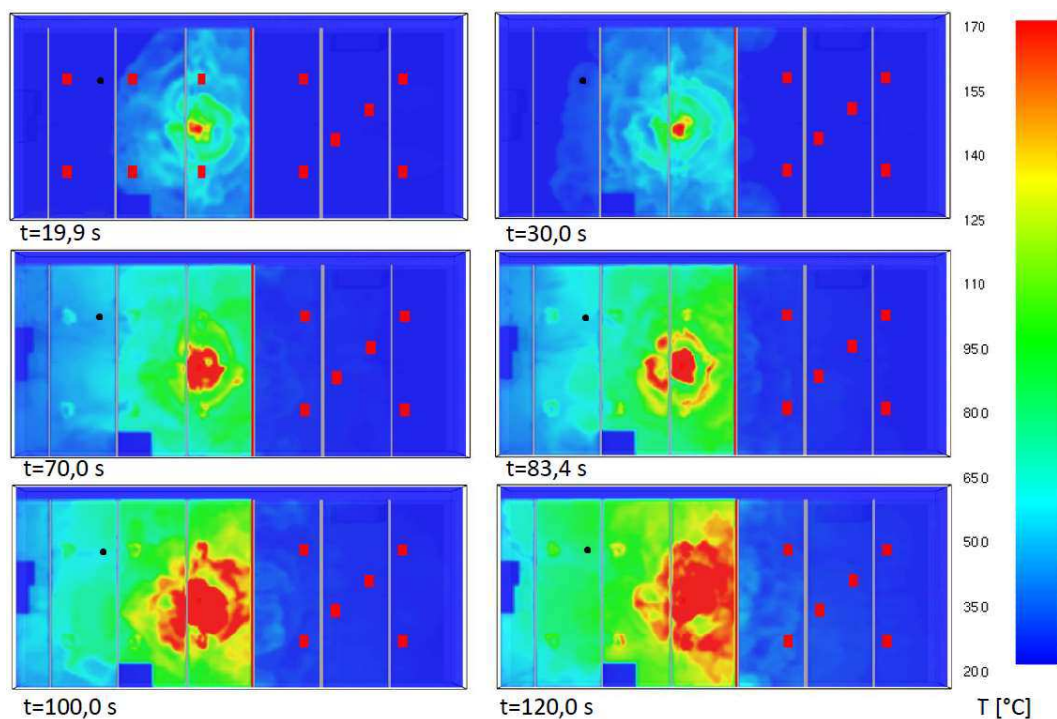
V čase  $t = 19,9$  s sledujeme pouze ložisko požáru z úrovně 6 m nad podlahou. Spolu s tím sledujeme zahřívání okolních konstrukcí, zejména počátek působení teploty na kouřovou přepážku mezi sekcemi.

V čase  $t = 30,0$  s, tedy již 10 s od otevření střešních klapek, můžeme vidět mírný rozptyl horkých plynů a jejich postupné šíření vně střešními klapkami.

Časy  $t = 70,0$  s,  $t = 83,4$  s zobrazují proudění horkých plynů prostorem vlivem postupného vyrovnávání tlaků v sekci a postupné zvyšování výkonu požáru. Zároveň je více zjevný nárůst teplot v místech aktivovaných odvětrávacích klapek, jelikož horké plyny jsou již vztlakem odváděny vně objektu těmito klapkami.

Snímky v časech  $t = 100,0$  s,  $t = 120,0$  s ukazují postupné zahřívání vzduchu uvnitř kouřové sekce a zahřívání střešní konstrukce ke konci simulace tohoto požárního stavu. Požár již dosahuje svého plného výkonu. Pozorujeme i přesun horkých plynů do sousední sekce přes kouřovou přepážku, jejíž spodní líc sahá do úrovně 4 m nad podlahou.





Obrázek 4.2: Zobrazení průběhu teploty v řezu v úrovni stropní konstrukce ve SMW. Černý bod značí bod měření teploty. [autor]

Na dalším obrázku 4.3 sledujeme rychlosti plynů v prostorovém řezu 2 m nad podlahou. Prostorový řez 2 m nad podlahou je zde zvolen především proto, aby byla zachycena rychlost pohybu vzduchu u přívodních otvorů.

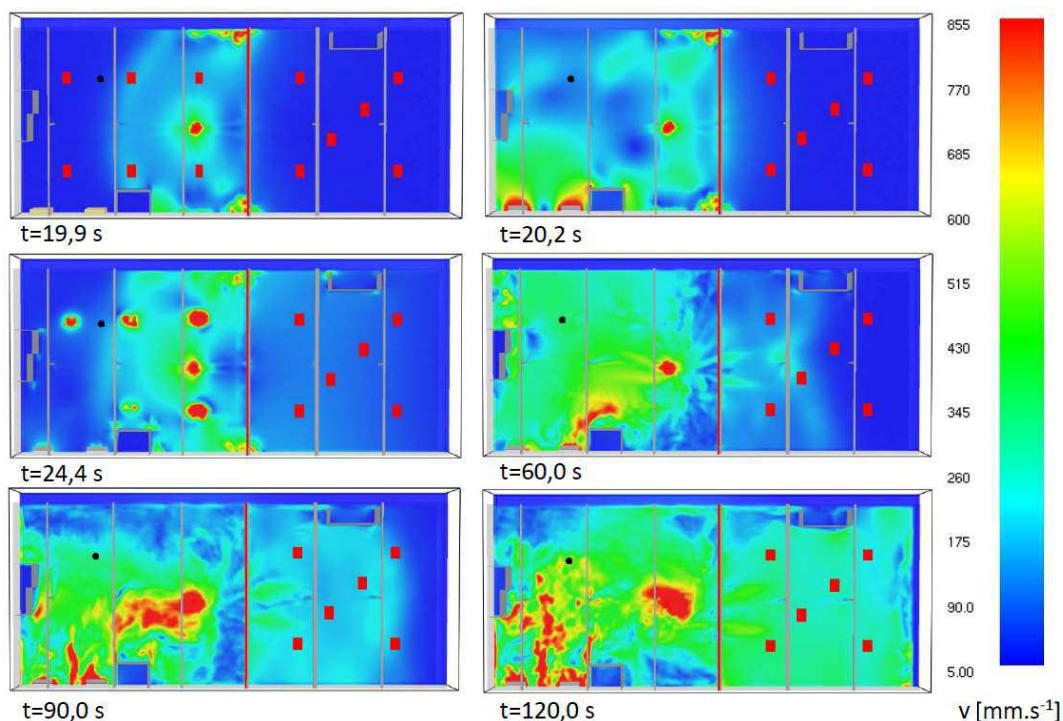
Čas  $t = 19,9$  s zobrazuje rychlosti plynů těsně před otevřením odvětrávacích klapek ve střeše simultánně s přívodními otvory.

V čase  $t = 19,9$  s sledujeme pouze nárůst rychlosti pohybu plynů v místě ložiska požáru v úrovni 2 m nad podlahou. Spolu s tím můžeme vyzorovat mírné zvýšení rychlosti u obvodových konstrukcí, v důsledku odrazu horkých plynů od těchto konstrukcí. Vlivem odrazu od konstrukce získaly částičky horkého plynu kinetickou energii a tím tedy došlo ke zvýšení rychlosti jejich pohybu.

V čase  $t = 20,2$  s, tedy 2 s od otevření přívodních otvorů a střešních klapek v zasažené sekci, můžeme vidět nárůst různých rychlostí horkých plynů a tedy jejich postupné šíření. Nejvyšší rychlost můžeme pozorovat u přívodních otvorů  $v = 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , jelikož se jimi právě začal přivádět vzduch z exteriéru.

V čase  $t = 24,4$  s stále v úrovni 2 m nad podlahou, sledujeme působení vztlaku. Vlivem vztlaku začaly horké plyny nabírat rychlost směrem vzhůru k aktivovaným klapkám ve střeše.

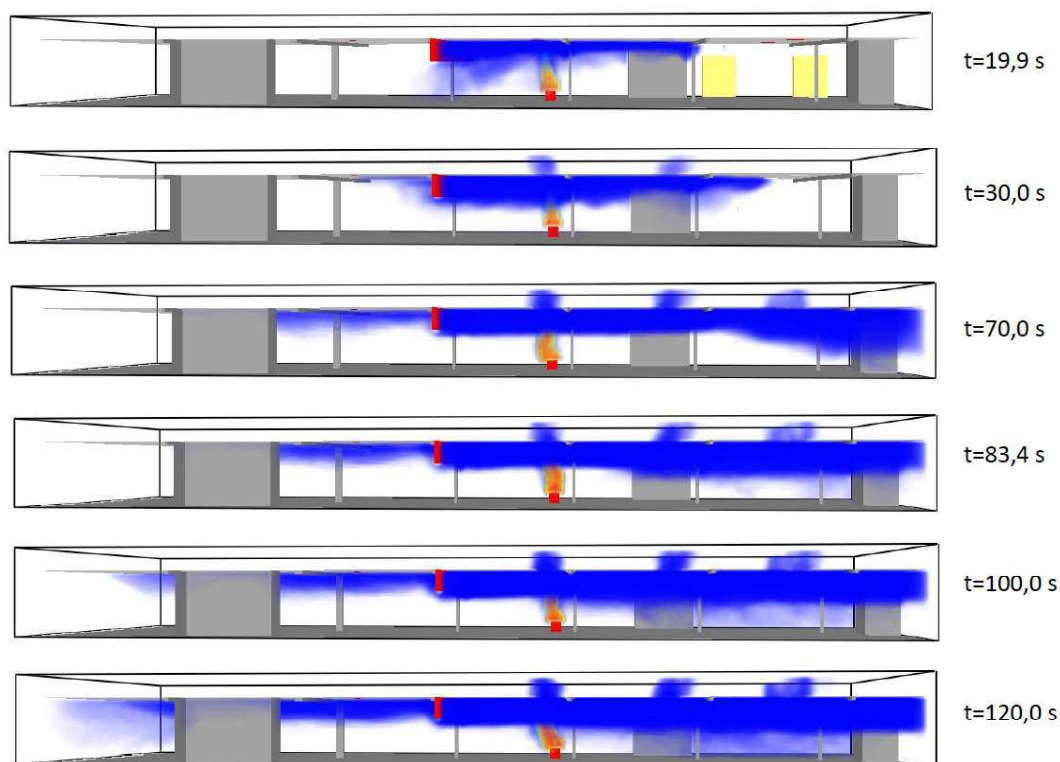
Snímky v časech  $t = 60,0$  s,  $t = 90,0$  s a  $t = 120,0$  s ukazují postupné zvyšování rychlostí horkých plynů uvnitř kouřové sekce a jejich směr pohybu ke sloupci kouře ke konci simulace tohoto požárního stavu. Vlivem stálého působení vztlaku, rychlosti u přívodních otvorů a v prostoru sekce stále kolísají. Požár již dosahuje své nejvyšší rychlosti pohybu horkých plynů. Pozorujeme i rychlost přibližně  $v = 0,26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  proudění plynů do sousední sekce.



Obrázek 4.3: Zobrazení průběhu rychlosti plynů v řezu ve výšce 2 m nad podlahou ve SMW. Černý bod značí bod měření rychlosti. [autor]

Na obrázku 4.4 je graficky z výstupu programu SMW zobrazeno postupné narůstání a zhušťování kouřové vrstvy pod stropem výrobní haly. Kouř je zde vyobrazen modrou barvou nahromaděných plynů.

V pravé části haly jsou dvě žlutá tělesa představující umístění a velikost přívaděcích otvorů - vrat. Ložisko požáru je vymodelováno v podobě červeného tělesa - hořáku na podlaze o rozměrech 1 x 1 m. Kouřová přepážka je stažena do úrovně 4 m nad podlahu a je zde také vyznačena červenou barvou pod stropem. Neaktivované přívodní otvory můžeme vidět v čase  $t = 19,9$  s, tedy přesně před aktivací klapek. Také zde vidíme již nahromaděné plyny pod stropem, které je potřeba odvětrat pro udržení bezkouřové vrstvy v sekci. V čase  $t = 30$  sledujeme již odvod kouře vně objektu aktivovanými klapkami. Kouř naráží na kouřovou přepážku a odráží se směrem ke krajním klapkám, kterými začnou horké plyny také procházet, což můžeme pozorovat od času  $t = 70$  s až do  $t = 120$  s. Kouřová vrstva stále narůstá a postupně zaplňuje prostor celé kouřové sekce a dokonce se šíří vespod kouřové přepážky do sousední sekce. Kouřová přepážka by se tedy měla spustit níže pod strop např. do 3 m nad podlahu.



Obrázek 4.4: Grafické znázornění nárůstu kouřové vrstvy pod stropem ve SMW. [autor]

### Neodvětrávaný prostor

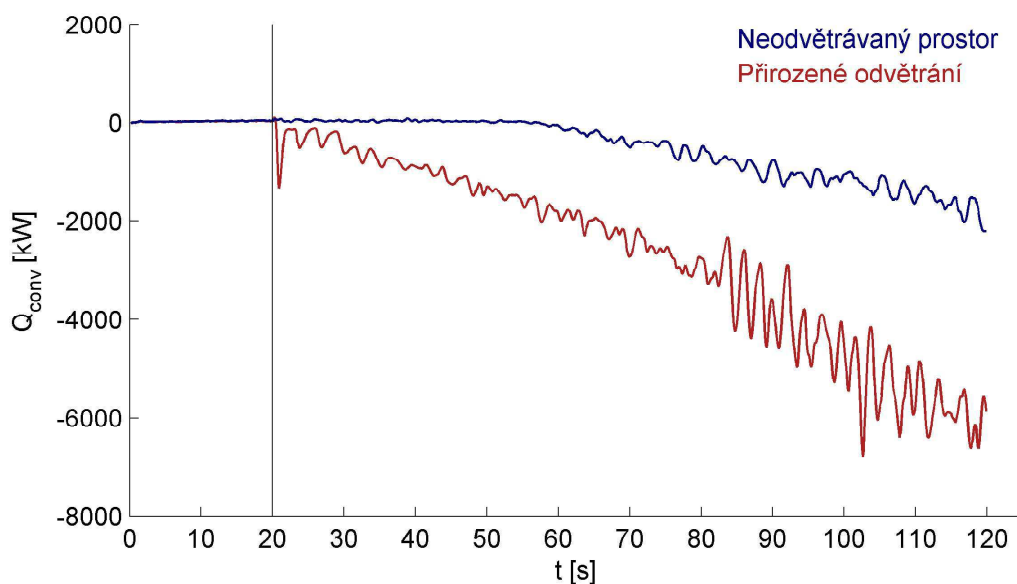
Pro porovnání s přirozeným systémem odvodu kouře byla provedena simulace neodvětrávaného prostoru.

Následující graf zobrazuje dvě křivky vyjadřující průběh uvolňovaného množství tepla konvekcí v čase a to pro neodvětrávaný prostor a pro prostor s přirozeným odvětráním. Umístění měřeného bodu v prostoru je vyznačeno černým bodem na obrázcích 4.1, 4.2, 4.3. Polopřímka vedená v čase  $t = 20$  s je zde vyznačena pro zobrazení okamžiku otevření odvětrávacích klapek. Následný průběh uvolňovaného množství tepla konvekcí  $Q_{conv}$  [kW] je v případě neodvětrávaného prostoru i v případě přirozeného odvětrávání klesající. Průběh křivky přirozeného odvětrání (červená křivka) v čase  $t$  od počátku do 20 sekund říká, že rozdíl teploty povrchových konstrukcí a teploty plynů je v naměřeném bodě prostoru nulový. Tedy teplota kouřové vrstvy, která sdílí teplo prouděním s přilehlou konstrukcí stropu je v naměřeném bodě v prostoru stejná, jako teplota konstrukce stropu v tom samém bodě.

Po otevření odvětrávacích klapek, tedy po dvaceti sekundách, se začne konstrukce ochlazovat. Teplota kouřové vrstvy je vyšší než teplota konstrukce stropu v měřeném bodě vlivem odvádění horkých plynů vně objektů. Ve vztahu pro množství sdíleného tepla konvekcí se teplota horkých plynů odečítá od teploty konstrukce. V tomto případě se hodnoty množství sdíleného tepla konvekcí dostávají do záporných čísel, neboť se teplota horkých plynů v čase zvyšuje. V čase  $t = 83,4$  s dochází k výraznějším oscilacím hodnot rozdílů teplot. To by se dalo vysvětlit rychlejším pohybem horkých plynů v důsledku narážení

stále narůstající kouřové vrstvy do okolních konstrukcí. Tím tedy dochází k výraznějším rozdílům teplot v naměřeném bodě prostoru.

Průběh křivky pro neodvětrávaný prostor (modrá křivka) v čase  $t$  od počátku do dvaceti sekund rovněž říká, že rozdíl teploty povrchových konstrukcí a teploty plynů je v naměřeném bodě prostoru nulový. Od 20 sekund, kdy stále nedochází k odvádění horkých plynů, jsou rozdíly teplot horkých plynů a konstrukce stropu stále nepatrné až nulové. Ve 20 sekundě došlo k aktivaci přírodních otvorů a horké plyny se začaly mísit s přírodním vzduchem. Dochází tak k mírnému ochlazení konstrukce. Rozdíly teplot však nejsou natolik velké jako v případě odvětrávaného prostoru.



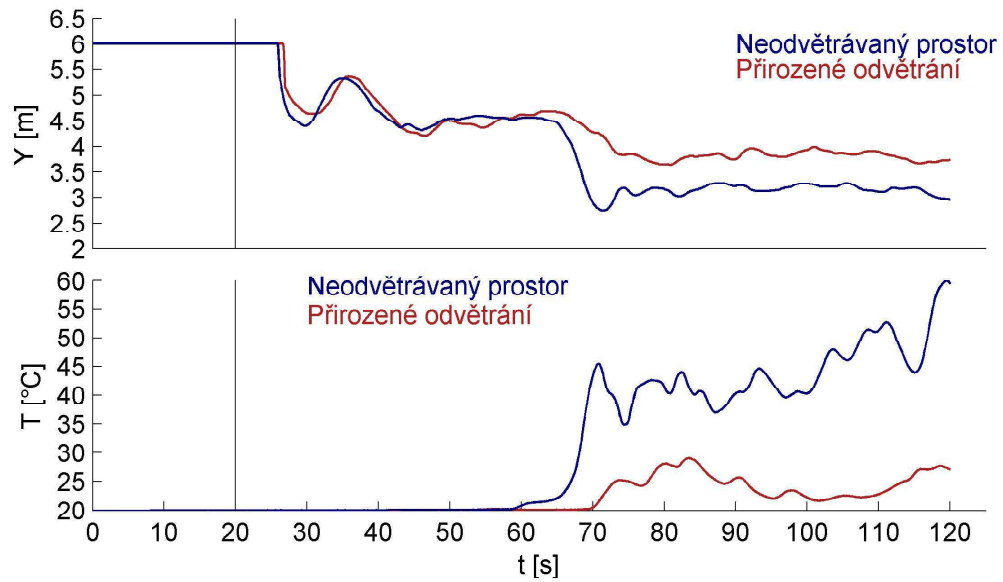
Obrázek 4.5: Graf zobrazující množství uvolněného tepla sdíleného prouděním v čase mezi povrchem konstrukce a horkými plyny, který přenáší teplo. [autor]

Z programu FDS je možno vyhodnotit nemalé množství výstupních dat. Poslední výstup, který v této práci uvedu je pozorování nárůstu kouřové vrstvy a její teploty v čase na následujícím grafu.

Pro přirozené odvětrání (červená křivka) je průběh zjevný z grafu. Od počátku do 30 sekund je v naměřeném bodě v prostoru kouřová vrstva nulová. Z toho vyplývá, že naměřený bod je ve větší vzdálenosti od ložiska požáru a v tomto místě dochází k nárůstu kouřové vrstvy až později. Kouř do měřeného místa dojde přibližně ve třicáté sekundě a začne se zde akumulovat do výšky asi 4,5 m nad podlahu. Poté vlivem proudění plynů v kouřové vrstvě její tloušťka kolísá od 5,5 m nad podlahou zpátky do 4,5 m nad podlahou a zde se ustálí přibližně do 60 sekund. Poté kouřová vrstva už jen mírně klesne 4 m nad podlahu a tam již do konce výpočetního času 120 sekund setrvává. Výška bezkouřové vrstvy po dobu 120 s vyhoví bezpečné evakuace jelikož neklesne pod 2 m nad podlahu. Teplota kouřové vrstvy na jejím spodním lici v měřeném bodě začne narůstat do vyšších teplot až od 60 sekund. Nejvyšší teploty, které na spodním lici kouřová vrstva dosáhne je  $T = 35^{\circ}\text{C}$ .

Pro neodvětrávaný prostor (modrá křivka) má kouřová vrstva do 60 sekund

přibližně stejný průběh akumulace i teplot jako v případě přirozeně odvětrávaného prostoru. Od 60 sekund však teploty dosahují mnohem vyšších hodnot, kde nejvyšší teplotou pro spodní líc je  $T = 60^{\circ}\text{C}$ . Také nárůst kouřové vrstvy je vyšší a kouř klesne až do 3 m nad podlahu.



Obrázek 4.6: Graf pro průběh nárůstu kouřové vrstvy v čase v měřeném místě haly. [autor]

## 4.2 Návrh nuceného SOZ

Požární odvětrání je v PÚ N01.01 řešeno pomocí nuceného samočinného odvětrávacího zařízení – ventilátory instalovaných do střechy nad odvětrávaným prostorem. Zařízení pro odvod kouře a tepla musí odpovídat požadavkům ČSN EN 12101-3.

Přívod vzduchu do sekce č. 1 je prostřednictvím 2ks vrat v jižní fasádě s označením A, B sloužící pro zásobování. Vrata mají rozměr 4,25 x 3,6 m.

Přívod vzduchu do sekce č. 2 je prostřednictvím 2ks vrat v západní fasádě s označením C, D sloužící pro zásobování. Vrata mají rozměr 3,0 x 3,0 m.

Všechna vrata musí být napojena na EPS a v případě detekce požáru v sekci č.1 nebo v sekci č.2 se otevírat.

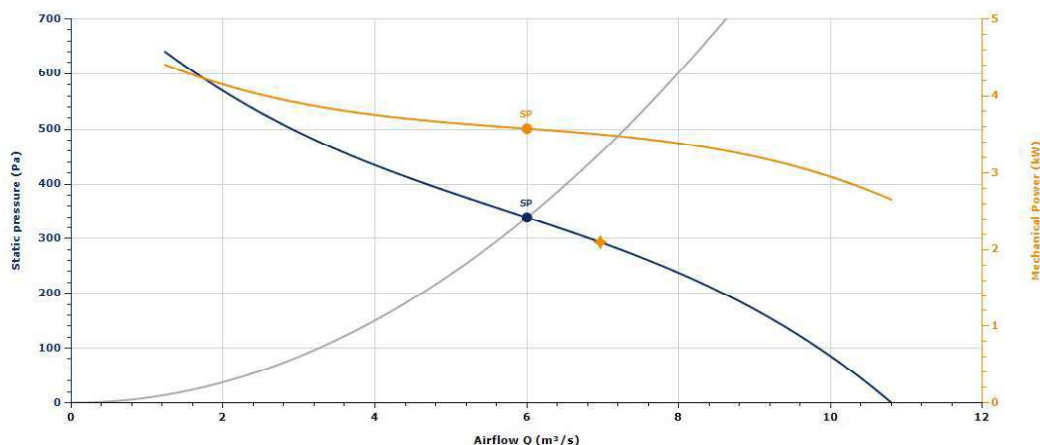
### Posouzení nuceného SOZ

Vstupní hodnoty:			
Půdorysná plocha odvětrané sekce	$A_k$	1300	[m <sup>2</sup> ]
Výška od podlahy po osu klapek	$h_v$	6,0	[m]
Výška mezi ložiskem požáru a akumulací vrstvou kouře	$Y$	4,0	[m]
Návrhový časový interval	$t_v$	720	[s]
Parametr vyjadřující dynamiku požáru	$k_v$	190	[-]
Rychlost na přítoku	$v_n$	5,0	[m·s <sup>-1</sup> ]
EPS	ano/ne	ANO	[-]
SHZ	ano/ne	NE	[-]
Shromažďovací prostor	ano/ne	NE	[-]
Součinitel navržených odtokových otvorů	$c_v$	0,6	[-]
Součinitel přítokových otvorů	$c_n$	0,5	[-]
Výsledky výpočtu:			
Kritická hodnota tepla sdíleného prouděním	$Q_{1max}$	28800	[kW]
Množství uvolněného tepla sdíleného prouděním	$Q_1$	9742	[kW]
Tok plynů do akumulací vrstvy	$M_f$	33,63	[kg·s <sup>-1</sup> ]
Teplota plynů v akumulací vrstvě	$T_g$	309,94	[°C]
Objemové množství odváděných plynů	$V_v$	55,13	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
Objemové množství přiváděného vzduchu	$V_n$	27,43	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
Rychlost na výtoku	$v_v$	6,51	[m·s <sup>-1</sup> ]
Vztlak na výtoku	$\Delta p_v$	12,65	[Pa]
Geometrická plocha přívodních otvorů	$A_{gn}$	10,97	[m <sup>2</sup> ]

Tabulka 4.3: Sekce č.1

Pro odvětranou sekci č.1 i č.2 je navrženo:

Sekce č.1 i č.2 bude odvětrána požárními ventilátory instalovanými ve střechě v celkovém počtu 10 ks požárních axiálních ventilátorů o jednotlivém objemovém průtoku 6 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, teplotní odolnost ventilátorů F400.



Obrázek 4.7: Stanovení pracovního bodu ventilátoru. [22]

Celkové objemové množství odváděných plynů ventilátory:

$$V_v = 10 \times 6 = 60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} > 55,66 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \implies \text{potřebný objemový průtok odváděných plynů ventilátory VYHOVUJE.}$$

Přívod vzduchu do sekce č.1 bude prostřednictvím vrat A, B. Celková geometrická plocha přívodních otvorů  $(4,25 \times 3,6 \text{ m}) \times 2 \text{ ks} = 30,6 \text{ m}^2 > 11,19 \text{ m}^2 \implies$  plocha VYHOVUJE.

Vrata A, B musí být napojené na systém EPS a v případě detekce požáru v sekci č. 1 se musí automaticky zaktivovat současně s požárními ventilátory instalovaných ve střeše.

Přívod vzduchu do sekce č.2 bude prostřednictvím vrat C, D. Celková geometrická plocha přívodů vzduchu  $(3,0 \times 3,0) \times 2 \text{ ks} = 18 \text{ m}^2 > 11,19 \text{ m}^2 \implies$  plocha VYHOVUJE.

Vrata C, D musí být napojené na systém EPS a v případě detekce požáru v sekci č.2 se musí automaticky zaktivovat současně s požárními ventilátory instalovaných ve střeše.

Je nutné zajistit oddělení dvou kouřových sekcí výrobní haly pomocí kouřové přepážky. Kouřová přepážka je umístěna na ose K-F/14 a musí sahát do úrovně do úrovně 4,0 m nad podlahou a musí být dotěsněna po střešní plášť a musí vykazovat teplotní odolnost D600, 30 dle EN 12101-1.

### Způsob aktivace SOZ

EPS aktivuje odvětrávací klapky v sekci č. 1 i č.2 a současně aktivuje příslušné otvory pro přívod vzduchu. (Potřebná plocha pro přívod vzduchu pro SOZ je realizována automatickým zálohovaným otevřením vrat do haly).

Automatická aktivace od EPS: po obdržení impulsu z ústředny EPS dojde k aktivaci v ovládací skříni SOZ.

EPS bude aktivovat odvětrávací klapky v sekci č.1 a současně aktivuje příslušné otvory pro přívod vzduchu A, B. V sekci č.2 bude EPS aktivovat odvětrávací klapky a současně aktivuje příslušné otvory pro přívod vzduchu C, D.

Při spuštění SOZ bude automaticky vyřazeno z činnosti případné zařízení VZT v dotčeném požárním úseku.

Konečné logické vazby a návaznosti požárně bezpečnostních zařízení jsou prioritně upraveny požárně bezpečnostním řešením stavby.

## Požadavky na profese

EPS:

Spouštění záložního zdroje - dieselagregát v případě požáru.

Otevírání vrat A, B současně s SOZ v sekci č.1, automatická aktivace SOZ v sekci č.1.

Otevírání vrat C, D současně s SOZ v sekci č.2, automatická aktivace SOZ v sekci č.2.

Elektro: Zajistit záložní zdroj - dieselagregát pro napájení vrat A, B, C, D do výrobní haly pro přívod vzduchu ze dvou nezávislých zdrojů elektrické energie kabelou trasou s funkční integritou dle PBR.

Stavba: Pokud bude navržena jakákoliv instalace podhledů v celém prostoru kouřových sekcí č.1 i č.2, je nutné, aby měly min. 25% perforaci své plochy. Dále zajistit hydroizolaci prvků SOZ.

Statika: Zajistit nosné ocelové výměny pro prvky SOZ.



### 4.3 Návrh přirozeného SOZ v kombinaci s SHZ

Požární odvětrání je v PÚ N01.01 řešeno pomocí samočinného odvětrávacího zařízení – klapkami instalovaných do střechy nad odvětrávaným prostorem.

Zařízení pro odvod kouře a tepla musí odpovídat požadavkům ČSN EN 12101-2.

Přívod vzduchu do sekce č.1 je prostřednictvím 1ks vrat v jižní fasádě s označením A sloužící pro zásobování. Vrata mají rozměr 4,25 x 3,6 m.

Přívod vzduchu do sekce č.2 je prostřednictvím 1ks vrat v západní fasádě s označením B sloužící pro zásobování. Vrata mají rozměr 3,0 x 3,0 m.

Všechna vrata musí být napojena na EPS a v případě detekce požáru v sekci č.1 nebo v sekci č.2 se otevírat.

#### Posouzení přirozeného SOZ v kombinaci s SHZ

Vstupní hodnoty:			
Půdorysná plocha odvětrané sekce	$A_k$	1300	[m <sup>2</sup> ]
Výška od podlahy po osu klapek	$h_v$	6,0	[m]
Výška mezi ložiskem požáru a akumulací vrstvou kouře	$Y$	4,0	[m]
Návrhový časový interval	$t_v$	550	[s]
Parametr vyjadřující dynamiku požáru	$k_v$	190	[-]
Rychlost na přítoku	$v_n$	5,0	[m·s <sup>-1</sup> ]
EPS	ano/ne	ANO	[-]
SHZ	ano/ne	ANO	[-]
Shromažďovací prostor	ano/ne	NE	[-]
Součinitel navržených odtokových otvorů	$c_v$	0,6	[-]
Součinitel přítokových otvorů	$c_n$	0,5	[-]
Výsledky výpočtu:			
Kritická hodnota tepla sdíleného prouděním	$Q_{1max}$	28800	[kW]
Množství uvolněného tepla sdíleného prouděním	$Q_1$	5704,02	[kW]
Aerodynamická plocha odvětrávacích otvorů	$A_{av}$	6,27	[m <sup>2</sup> ]
Geometrická plocha odvětrávacích otvorů	$A_{gv}$	10,45	[m <sup>2</sup> ]
Tok plynů do akumulací vrstvy	$M_f$	23,32	[kg·s <sup>-1</sup> ]
Teplota plynů v akumulací vrstvě	$T_g$	264,64	[°C]
Objemové množství odváděných plynů	$V_v$	35,51	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
Objemové množství přiváděného vzduchu	$V_n$	19,35	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
Rychlost na výtoku	$v_v$	5,66	[m·s <sup>-1</sup> ]
Vztlak na výtoku	$\Delta p_v$	10,53	[Pa]
Geometrická plocha přívodních otvorů	$A_{gn}$	7,74	[m <sup>2</sup> ]

Tabulka 4.4: Sekce č.1

Pro odvětranou sekci č.1 i č.2 je navrženo:

Sekce č.1 i č.2 bude požárně odvětrávána klapkami instalovanými ve střechě v celkovém počtu 6 ks zařízení pro odvod kouře a tepla, jmenovitěho rozměru 1300 x 1500 mm. Teplotní odolnost klapek je klasifikována B600.

Celková geometrická plocha odvětrávacích klapek:

$A_{gv} = 6 \times 1,3 \times 1,5 = 11,7 \text{ m}^2 > 10,45 \text{ m}^2 \implies$  plocha počtu navržených odvětrávacích klapek VYHOVUJE.

Přívod vzduchu do sekce č.1 bude prostřednictvím vrat A. Celková geometrická plocha přírodních otvorů 1ks vrat  $4,25 \times 3,6 \text{ m} = 15,3 \text{ m}^2 > 7,74 \text{ m}^2 \implies$  plocha přírodních otvorů VYHOVUJE

Vrata A musí být napojena na systém EPS a v případě detekce požáru se musí automaticky otevřít současně s klapkami SOZ instalovaných ve střeše.

Přívod vzduchu do sekce č.2 bude prostřednictvím vrat C. Celková geometrická plocha přívodů vzduchu 1ks vrat  $3,0 \times 3,0 = 9,0 \text{ m}^2 > 7,74 \text{ m}^2 \implies$  plocha VYHOVUJE

Vrata B musí být napojené na systém EPS a v případě detekce požáru se musí automaticky otevřít současně s klapkami SOZ instalovaných ve střeše.

Je nutné zajistit oddělení dvou kouřových sekcí výrobní haly pomocí kouřové přepážky. Kouřová přepážka je umístěna na ose K-F/14 a musí sahát do úrovně do úrovně 4,0 m nad podlahou a musí být dotěsněna po střešní plášť a musí vykazovat teplotní odolnost D600, 30 dle EN 12101-1.

Odvětrávací klapky musí splňovat parametry dle výrobní normy EN 12 101-1. Ovládání pro sekci č.1 i č.2 je umístěné v sekci v 1NP na ose K/18.

### **Způsob aktivace SOZ**

EPS aktivuje odvětrávací klapky v sekci č.1 i č.2 až po aktivaci sprinklerů a současně aktivuje příslušné otvory pro přívod vzduchu. Je třeba, aby horké plyny v akumulaci vrstvě dosáhly aktivací teploty sprinklerových hlav. Sprinklerové hranice začnou hasit požár a horké plyny se začnou ochlazovat a klesat dolů. V tu chvíli přichází na řadu otevření odvětrávacích klapek a k následnému odvodu kouře vně objektu. (Potřebná plocha pro přívod vzduchu pro SOZ je realizována automatickým zálohovaným otevřením vrat do haly).

Automatická aktivace od EPS: po obdržení napěťového impulzu 24V DC, 0,16A z ústředny EPS dojde k aktivaci ventilu v ovládací skříni SOZ, ve které dojde k proražení lahve s  $CO_2$ . Plyn proudí tlakovým rozvodem do zvedacího válce zařízení a otevře odvětrávací klapky v sekci.

EPS bude aktivovat odvětrávací klapky v kouřové sekci č.1 a současně aktivuje příslušné otvory pro přívod vzduchu A. V kouřové sekci č.2 bude EPS aktivovat odvětrávací klapky a současně aktivuje příslušné otvory pro přívod vzduchu B.

Při spuštění SOZ bude automaticky vyřazeno z činnosti případné zařízení VZT v dotčeném požárním úseku.

Konečné logické vazby a návaznosti požárně bezpečnostních zařízení jsou prioritně upraveny požárně bezpečnostním řešením stavby.

### **Požadavky na profese pro budoucí uživatele jednotek**

EPS:

Uzavírání klapky SOZ v režimu denního větrání.

Otevírání vrat A současně s SOZ v sekci č.1, automatická aktivace SOZ v kouřové sekci č.1.

Otevírání vrat B současně s SOZ v sekci č.2, automatická aktivace SOZ v kouřové sekci č.2.

Elektro: Zajistit napájení vrat A, B do výrobní haly pro přívod vzduchu ze dvou nezávislých zdrojů elektrické energie kabelovou trasou s funkční integritou dle PBR.

Stavba: Pokud bude navržena jakákoliv instalace podhledů v celém prostoru kouřových sekcí č.1 i č.2 je nutné, aby měly min. 25% perforaci své plochy. Dále zajistit hydroizolaci prvků SOZ.

Statika: Zajistit nosné ocelové výměny pro prvky SOZ.

## 4.4 Vyhodnocení variant

V případě přirozeného odvětrání v součinnosti s SHZ je tento návrh pro vybranou výrobní halu funkční, ale požární zatížení výrobní haly není natolik vysoké, aby zde bylo nutné instalovat sprinklerové zařízení. V praxi by se tato varianta nenavrhovala, jelikož není příliš ekonomická. Pokud by se předpokládalo, že se výrobní hala časem využije jako skladovací prostor, upřednostnila by se instalace sprinklerů za součinnosti přirozeného odvětrání. Navrženou podzemní vodní nádrž by bylo zapotřebí nadimenzovat na dostatečné množství hasicí vody, spolu s tím by zde musela být instalována dostatečně výkonná čerpadla a také by se musel zajistit neustálý přístup pro kontrolu přítomnosti vody v nádrži. Je nezbytné zajistit, aby činnosti zařízení v případě požáru na sebe navazovaly a nedošlo tak k negativnímu ovlivnění mezi nimi.

Nucené odvětrání pomocí ventilátorů umístěných ve střeše jednopodlažní haly vyhoví na potřebný odtah kouřových plynů z kouřové sekce v případě požáru. Díky odtahu ventilátorů se může kouřová vrstva snížit až na 3 m nad podlahu a prostor bude stále bezpečný pro unikající osoby. Ventilátory schopné odvádět  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  plynů, odtahují pouze horké plyny z kouřové vrstvy. Jejich výkon je optimální na to, aby docházelo k podsávání kouřové vrstvy. Ventilátory však neumožní přirozené denní větrání ani prosvětlení prostor haly. Pro danou výrobní halu není nucené větrání vhodné.

Přirozené odvětrání střešními klapkami v případě požáru pro jednopodlažní výrobní halu svůj účel splní nejlépe. Navržené dimenze a vzájemná dostatečná vertikální vzdálenost klapek a přírodních otvorů zaručeně odvedou vztlakem velké množství tepla vně haly. Střešní klapky poslouží i pro denní větrání a prosvětlení haly. Tento návrh je ze všech neekonomičtější a může posloužit i v případech mimo požár.

# Závěr

V této práci byly shrnuty požadavky na požární odvětrání. Pro objekt výrobní haly byl proveden návrh přirozeného odvětrání, nuceného odvětrání a přirozeného odvětrání v kombinaci s SHZ. Požární stavy přirozeného odvětrání a stav neodvětrávaného prostoru byly vymodelovány v simulačním programu a porovnány.

Pomocí simulačního modelu byly provedeny výstupy pro pozorování chování teplot kouřové vrstvy, hromadění kouře, rychlosti plynů a teplot plynů v prostoru výrobní haly. Výstupy simulací, přirozeného odvětrání a neodvětrávaného prostoru, posloužily pro potvrzení předpokládaného fyzikálního chování kouře, ohně, teplot a rychlostí plynů. Zejména modelem pro přirozené odvětrání byl potvrzen pozitivní vliv na konstrukci objektu. Díky vztlaku mezi přírodními a odvodními otvory se kouřová vrstva udržela v dostatečné výšce nad podlahou po celou dobu simulace.

Charakteristiky simulačního modelu posloužily pro představu chování fyzikálních jevů a také chování výpočetního programu. Simulace druhého a třetího požárního stavu pro účely této práce nebyla provedena, ale lze se jejich modelováním zabývat v dalším studiu a pro jejich úplné pochopení zpracovat funkční simulační modely se vstupními podmínkami shodnými s výpočty dle Přílohy H.

# Seznam použité literatury

- [1] Vladimír Reichel. *Požární odvětrání stavebních objektů v návaznosti na ČSN 73 0802 a ČSN 73 0804*. MV-ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2000.
- [2] Pavel Rybář. *Sprinklerová zařízení*. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011.
- [3] Marek Pokorný. *Požární bezpečnost staveb: sylabus pro praktickou výuku*. České vysoké učení technické, 2018.
- [4] ČSN 73 0804. *Požární bezpečnost staveb Výrobní objekty + Z1 (2013) + Z2 (2015)*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a statní zkušebnictví, 2010.
- [5] ČSN 73 0810. *Požární bezpečnost staveb Společná ustanovení*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a statní zkušebnictví, 2016.
- [6] ČSN EN 12101-3. *Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla - Část 3: Technické podmínky pro ventilátory pro nucený odvod kouře a tepla*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a statní zkušebnictví, 2003.
- [7] Petr Bebčák. Aleš Dudáček a Michail Šenovský. *Vybrané kapitoly z požární ochrany III. díl*, 2006.
- [8] ČSN EN 12101-2. *Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla - Část 2: Technické podmínky pro odtahové zařízení pro přirozený odvod kouře a tepla*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a statní zkušebnictví, 2004.
- [9] Václav Kratochvíl. Šárka Navarová a Michal Kratochvíl. *Stavby a požárně bezpečnostní zařízení: malá encyklopedie požární bezpečnosti objekt a technologií*, pages 5–7, 2011.
- [10] Petr BEBČÁK. *Požárně bezpečnostní zařízení*. 2. vydání. ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2004. Technical report, ISBN 80-86634-34-5.
- [11] Pavel Rybář. *Stabilní hasicí zařízení*. Server Fire [online]. Copyright © [cit. 15.05.2018]. Dostupné z: <http://fire.fsv.cvut.cz/vzdelavani/technici/6/6-6sHZ.pdf>.
- [12] Martin Dobeš. *Interakce požárně bezpečnostních zařízení SHZ a ZOKT*. 2017.
- [13] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb Nevýrobní objekty + Z1 (2013) + Z2 (2015)*. Úřad pro technickou normalizaci metrologii a statní zkušebnictví, 2009.
- [14] Vyhláška č.246/2001 Sb., *o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci) ve znění vyhlášky č.221/2014*.

- [15] ČSN P CEN/TR 12101-4 . *Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla - Část 4: Instalování zařízení pro odvod kouře a tepla.* Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a statní zkušebnictví, 2010.
- [16] DIN 18232-2:2003-06. *Rauch- und Wärmefreihaltung - Teil 2: Natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA); Bemessung, Anforderungen und Einbau.* Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2003.
- [17] ČSN EN 12101-10. *Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla - Část 10: Zásobování energií.* Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a statní zkušebnictví, 2006.
- [18] F Wald et al. Modelování dynamiky požáru v budovách. *Praha: Nakladatelství ČVUT*, 2017.
- [19] Kučera, Petr a Pezdová, Zdeňka. *Základy matematického modelování požáru.*
- [20] Bjorn Karlsson and James Quintiere. *Enclosure fire dynamics.* CRC press, 1999.
- [21] Kevin McGrattan, Simo Hostikka, Randall McDermott, Jason Floyd, Craig Weinschenk, and Kristopher Overholt. Fire dynamics simulator, user's guide. *NIST special publication*, 1019:20, 2013.
- [22] SODECA A.S. *THT/ROOF-90-4T-5.5-F-400 IE2*, 1 2017.

# Symbols

Symbol	definice	jednotka
$p$	požární zatížení	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
$p_s$	stálé požární zatížení	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
$p_n$	nahodilé požární zatížení	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
$p_v$	výpočtové požární zatížení	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
$\rho_0$	objemová hmotnost vzduchu	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
$\rho_g$	objemová hmotnost kouře	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
$\Delta p_v$	vztlak u výtoku plynů	Pa
$\Delta p_n$	vztlak u přítoku plynů	Pa
$F_0$	parametr odvětrání	$\text{m}^{1/2}$
$Q_1$	množství tepla sdíleného prouděním	kW
$Q_{1max}$	kritická hodnota tepla sdíleného prouděním	kW
$Y$	výška mezi ložiskem požáru a akumulací vrstvou kouře	m
$h_k$	výška akumulací vrstvy	m
$h_v$	světlná výška objektu	m
$h_0$	výška mezi podlahou sekce a osou přívodních otvorů	m
$A_k$	půdorysná plocha kouřové sekce	m
$A_{an}$	aerodynamická plocha přívodního otvoru	$\text{m}^2$
$A_{gn}$	geometrická plocha přívodního otvoru	$\text{m}^2$
$A_{av}$	aerodynamická plocha odvodního otvoru	$\text{m}^2$
$A_{gv}$	geometrická plocha odvodního otvoru	$\text{m}^2$
$V_v$	objemové množství odváděných plynů	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
$V_n$	objemové množství přiváděného vzduchu	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
$M'_f$	přiváděné množství plynů v akumulací vrstvě	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$
$T_g$	teplota plynů v akumulací vrstvě	$^{\circ} \text{C}$
$\theta_0$	absolutní teplota vzduchu v prostoru	K
$\theta_g$	absolutní teplota kouře	K
$t_v$	doba návrhového požáru	s
$t_e$	doba zakouření	min
$t_u$	doba evakuace osob	min
$\tau_e$	ekvivalentní doba trvání požáru	min

# Zkratky

PBZ	- Požární bezpečnostní zařízení
PBŘ	- Požárně bezpečnostní řešení
SPB	- Stupeň požární bezpečnosti
DP1	- Druh konstrukční části
PÚ	- Požární úsek
EPS	- Elektrická požární signalizace
SOZ	- Samočinné odvětrávací zařízení
ZOTK	- Zařízení pro odvod kouře a tepla
SHZ	- Stabilní hasicí zařízení
DHZ	- Doplnkové hasicí zařízení
$CO_2$	- Oxid uhličitý
CHÚC	- Chráněná úniková cesta
DIN	- Deutsche Industrie Norm
NIST	- National Institute of Standards and Technology
FDS	- Fire Dynamics Simulator
CFD	- Computational Fluid Dynamics
SMW	- Smokeview
PMMA	- Polymethylmetakrylát
HRRPUA	- Heat release rate per unit area



# Seznam příloh

**Příloha 1** - Výpočet požárního zatížení

**Příloha 2** - Výpočet SOZ pro přirozené odvětrání

**Příloha 3** - Výpočet SOZ pro nucené odvětrání

**Příloha 4** - Výpočet SOZ pro přirozené odvětrání v kombinaci s SHZ

**Příloha 5** - Zdrojový kód pro přirozený systém odvětrání

**Příloha 6** - Zdrojový kód pro neodvětrávaný systém

**Příloha 7** - Půdorys 1. NP a řezy výrobní haly s vyznačením PÚ

**Příloha 8** - Půdorys 1.NP - Schema SOZ pro přirozené odvětrání

**Příloha 9** - Půdorys 1.NP - Schema SOZ pro nucené odvětrání

**Příloha 10** - Půdorys 1.NP - Schema SOZ pro přirozené odvětrání v kombinaci s SHZ

## Příloha 1 - Výpočet požárního zatížení

Požární zatížení se v tomto případě určí pro požární úsek PÚ N01.01, který zahrnuje výrobní provoz haly, zázemí zaměstnanců a výměník. Potřebné hodnoty pro tyto provozy byly vybrány z ČSN 73 0802 z Přílohy A Tabulka A.1. Číslo položky jednotlivých provozů je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 4.5: Nahodilé požární zatížení

Provoz	$a_n$	$p_n$	S
výrobní provoz (položka 13.2.1)	1	25	2450
výměník (položka 15.9)	0,5	5	25
zázemí (položka 14.2)	0,7	5	25

$$p_n = \frac{\sum p_{ni} \cdot S_i}{\sum S_i} = \frac{(25 \cdot 2450) + (5 \cdot 25) + (5 \cdot 25)}{2500} = 24,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$$

### Celkové požární zatížení

Stálé požární zatížení bylo stanoveno

$$p_s = p_{s,okna} + p_{s,dveře} + p_{s,podlaha} = 0,7 + 0,5 + 0 = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$p_n = 24,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$$

Hodnoty pro stálá požární zatížení pro plochu prostorů nad 1000 m<sup>2</sup>

$$p = p_s + p_n = 1,2 + 24,6 = 25,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$$

## Příloha 2 - Výpočet SOZ pro přirozené odvětrání

### Stanovení ekvivalentní doby trvání požáru

$$\tau_e = \frac{2 \cdot p \cdot \Delta c}{k_3 \cdot F_0^{1/6}}$$

Parametr odvětrání požárního úseku

$$F_0 = \frac{S_0 h_0^{1/2}}{S_k} = \frac{72,9 \cdot 3,625^{1/2}}{6541,56} = 0,021$$

Redukující součinitel

$$\Delta c = 1 - \sum_i^j \Delta c_i = 1 - 0,15 = 0,85$$

$$\tau_e = \frac{2 \cdot 25,8 \cdot 0,85}{2,48 \cdot 0,021^{1/6}} = 33,67 \text{ min}$$

### Množství uvolněného tepla

$$Q_1 = (t_v/k_v)^2 k_c \cdot 10^3 = (720/190)^2 0,7 \cdot 10^3 = 9742 \text{ kW}$$

### Výška mezi ložiskem požáru a akumulací vrstvou kouře

$$Y = h_v - h_k = 6 - 2 = 4 \text{ m}$$

### Kritická hodnota tepla sdíleného prouděním

$$Q_{1max} = 900Y^{5/2} = 900 \cdot 4^{5/2} = 28800 \text{ kW}$$

### Aerodynamická plocha odvětrávacích klapek

$$Q_1 \geq 0,2Q_{1max}$$

$$9742 \text{ kW} \geq 0,2 \cdot 28800 \text{ kW}$$

$$9742 \text{ kW} \geq 5760 \text{ kW}$$

$$A_{av} = 0,0122Q_1^{3/5}Yh_k^{-1/2} = 0,0122 \cdot 9742^{3/5} \cdot 4 \cdot 2^{-1/2} = 8,55 \text{ m}^2$$

### Geometrická plocha odvětrávacích klapek

$$A_{gv} = \frac{A_{av}}{c_v} = \frac{8,55}{0,6} = 14,25 \text{ m}^2$$

### Priváděné množství plynů v akumulární vrstvě

$$Q_1 \geq 0,2Q_{1max}$$

$$9742 \text{ kW} \geq 0,2 \cdot 28800 \text{ kW}$$

$$9742 \text{ kW} \geq 5760 \text{ kW}$$

$$M'_f = 0,034YQ_1^{3/5} = 0,034 \cdot 4 \cdot 9742^{3/5} = 33,63 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

### Teplota plynů v akumulární vrstvě

$$T_g = \frac{Q_1}{(Mf'c_p)} + T_0 = \frac{9742}{(33,63 \cdot 1,0)} + 20 = 309,94^\circ\text{C}$$

### Objemové množství odváděných plynů

$$V_v = \frac{Mf'}{\rho_g} = \frac{33,63}{0,61} = 55,13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\rho_g = 353/(T_g + 273) = 353/(309,94 + 273) = 0,61 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

### Rychlost odváděných plynů

$$v_v = \frac{V_v}{A_{av}} = \frac{55,13}{8,55} = 6,44 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

### Vztlak u výtoku plynů

$$\Delta p_v = \frac{v_v^2 \cdot \rho_g}{2} = \frac{6,44^2 \cdot 0,61}{2} = 12,65 \text{ Pa}$$

### Objemové množství priváděného vzduchu

$$V_n = V_v \cdot \frac{\theta_0}{\theta_g} = 55,13 \cdot \frac{290}{582,94} = 27,43 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\theta_0 = 290 \text{ K}$$

$$\theta_g = (T_g + 273) = 309,94 + 273 = 582,94 \text{ K}$$

## Plocha otvorů pro přiváděný vzduch

$$A_{gn} = \frac{V_n}{(v_n \cdot c_n)}$$

Plocha navrhovaných přírodních otvorů není předem určena a proto se pro jejich výpočet vychází z tlakových poměrů v posuzované kouřové sekci. Stanoví se tlakový rozdíl dle rovnice:

$$\Delta p = 3460(\theta_0^{-1} - \theta_g^{-1}) \cdot h'_v = 3460\left(\frac{1}{290} - \frac{1}{582,94}\right) \cdot 5,1 = 30,84 \text{ Pa}$$

$$h'_v = h_v - \frac{h_0}{2} = 6 - 1,8125/2 = 5,1 \text{ m}$$

Tlakový poměr v přírodním otvoru:

$$\Delta p_n = \Delta p - \Delta p_v = 30,84 - 12,65 = 18,7 \text{ Pa}$$

Rychlost přívodu vzduchu:

$$v'_n = \sqrt{2 \frac{\Delta p_n}{\rho_0}} = \sqrt{2 \frac{18,7}{1,29}} = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$A_{gn} = \frac{27,43}{(5 \cdot 0,5)} = 10,97 \text{ m}^2$$

$$A_{an} = A_{gn} \cdot 0,5 = 10,97 \cdot 0,5 = 5,23 \text{ m}^2$$

## Poloha neutrální roviny

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{A_{gv}^2}{A_{gn}^2} \cdot \frac{\theta_0}{\theta_g}$$
$$h_1 + h_2 = h'_v$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{8,55^2}{10,97^2} \cdot \frac{290}{582,94}$$
$$h_1 + h_2 = 5,1$$

$$\frac{h_1}{h_2} = 0,302 \rightarrow h_1 = 0,302h_2$$
$$h_1 + h_2 = 5,1$$

$$h_2 + 0,302h_2 = 5,1 \rightarrow h_2 = 3,92 \text{ m}$$
$$h_1 = 1,18 \text{ m}$$

## Příloha 3 - Výpočet SOZ pro nucené odvětrání

### Stanovení ekvivalentní doby trvání požáru

$$\tau_e = \frac{2 \cdot p \cdot \Delta c}{k_3 \cdot F_0^{1/6}}$$

Parametr odvětrání požárního úseku

$$F_0 = \frac{S_0 h_0^{1/2}}{S_k} = \frac{72,9 \cdot 3,625^{1/2}}{6541,56} = 0,021$$

Redukující součinitel

$$\Delta c = 1 - \sum_i^j \Delta c_i = 1 - 0,15 = 0,85$$

$$\tau_e = \frac{2 \cdot 24,6 \cdot 0,85}{2,48 \cdot 0,021^{1/6}} = 32,1 \text{ min}$$

### Množství uvolněného tepla

$$Q_1 = (t_v/k_v)^2 k_c \cdot 10^3 = (720/190)^2 0,7 \cdot 10^3 = 9742 \text{ kW}$$

Výška mezi ložiskem požáru a akumulací vrstvou kouře

$$Y = h_v - h_k = 6 - 2 = 4 \text{ m}$$

Kritická hodnota tepla sdíleného prouděním

$$Q_{1max} = 900Y^{5/2} = 900 \cdot 4^{5/2} = 28800 \text{ kW}$$

Aerodynamická plocha odvětrávacích klapek

$$Q_1 \geq 0,2Q_{1max}$$

$$9742 \text{ kW} \geq 0,2 \cdot 28800 \text{ kW}$$

$$9742 \text{ kW} > 5760 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} A_{av} &= 0,027Q_1^{1/3}(Y^{5/2} + 0,026Q_1^{2/3})h_k^{-1/2} = \\ &= 0,027 \cdot 5684,72^{1/3}(4^{5/2} + 0,026 \cdot 5684,72^{2/3})2^{-1/2} = 8,55 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Geometrická plocha odvětrávacích klapek

$$A_{gv} = \frac{A_{av}}{c_v} = \frac{8,55}{0,6} = 14,25 \text{ m}^2$$

Přiváděné množství plynů v akumulací vrstvě

$$Q_1 \geq 0,2Q_{1max}$$

$$9742 \text{ kW} \geq 0,2 \cdot 28800 \text{ kW}$$

$$9742 \text{ kW} \geq 5760 \text{ kW}$$

$$M'_f = 0,034YQ_1^{3/5} = 0,034 \cdot 4 \cdot 9742^{3/5} = 33,63 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Teplota plynů v akumulací vrstvě

$$T_g = \frac{Q_1}{(Mf'c_p)} + T_0 = \frac{9742}{(33,63 \cdot 1,0)} + 20 = 309,94^\circ\text{C}$$

Objemové množství odváděných plynů

$$V_v = \frac{Mf'}{\rho_g} = \frac{33,63}{0,61} = 55,13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\rho_g = 353/(T_g + 273) = 353/(309,94 + 273) = 0,61 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Rychlost odváděných plynů

$$v_v = \frac{V_v}{A_{av}} = \frac{55,13}{8,55} = 6,44 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Vztlak u výtoku plynů

$$\Delta p_v = \frac{v_v^2 \cdot \rho_g}{2} = \frac{6,44^2 \cdot 0,61}{2} = 12,65 \text{ Pa}$$

### Objemové množství přiváděného vzduchu

$$V_n = V_v \cdot \frac{\theta_0}{\theta_g} = 55,13 \cdot \frac{290}{582,94} = 27,43 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\theta_0 = 290 \text{ K}$$

$$\theta_g = (T_g + 273) = 309,94 + 273 = 582,94 \text{ K}$$

### Plocha otvorů pro přiváděný vzduch

$$A_{gn} = \frac{V_n}{(v_n \cdot c_n)}$$

Plocha navrhovaných přírodních otvorů není předem určena a proto se pro jejich výpočet vychází z tlakových poměrů v posuzované kouřové sekci. Stanoví se tlakový rozdíl dle rovnice:

$$\Delta p = 3460(\theta_0^{-1} - \theta_g^{-1}) \cdot h'_v = 3460\left(\frac{1}{290} - \frac{1}{582,94}\right) \cdot 5,1 = 30,84 \text{ Pa}$$

$$h'_v = h_v - \frac{h_0}{2} = 6 - 1,8125/2 = 5,1 \text{ m}$$

Tlakový poměr v přírodním otvoru:

$$\Delta p_n = \Delta p - \Delta p_v = 30,84 - 12,65 = 18,7 \text{ Pa}$$

Rychlost přívodu vzduchu:

$$v'_n = \sqrt{2 \frac{\Delta p_n}{\rho_0}} = \sqrt{2 \frac{18,7}{1,29}} = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$A_{gn} = \frac{27,43}{(5 \cdot 0,5)} = 10,97 \text{ m}^2$$

$$A_{an} = A_{gn} \cdot 0,5 = 10,97 \cdot 0,5 = 5,23 \text{ m}^2$$

### Poloha neutrální roviny

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{A_{av}^2}{A_{an}^2} \cdot \frac{\theta_0}{\theta_g}$$
$$h_1 + h_2 = h'_v$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{8,55^2}{5,23^2} \cdot \frac{290}{582,94}$$
$$h_1 + h_2 = 5,1$$

$$\frac{h_1}{h_2} = 0,302 \rightarrow h_1 = 1,33h_2$$
$$h_1 + h_2 = 5,1$$

$$h_2 + 1,33h_2 = 5,1 \rightarrow h_2 = 2,18 \text{ m}$$
$$h_1 = 2,92 \text{ m}$$

## Příloha 4 - Výpočet SOZ pro přirozené odvětrání v kombinaci s SHZ

### Stanovení ekvivalentní doby trvání požáru

$$\tau_e = \frac{2 \cdot p \cdot \Delta c}{k_3 \cdot F_0^{1/6}}$$

Parametr odvětrání požárního úseku

$$F_0 = \frac{S_0 h_0^{1/2}}{S_k} = \frac{72,9 \cdot 3,625^{1/2}}{6541,56} = 0,021$$

Redukující součinitel

$$\Delta c = 1 - \sum_i^j \Delta c_i = 1 - (0,15 + 0,3) = 0,55$$

$$\tau_e = \frac{2 \cdot 24,6 \cdot 0,55}{2,48 \cdot 0,021^{1/6}} = 20,77 \text{ min}$$

**Množství uvolněného tepla**

$$Q_1 = (t_v/k_v)^2 k_c \cdot 10^3 = (550/190)^2 0,7 \cdot 10^3 = 5684,72 \text{ kW}$$

**Výška mezi ložiskem požáru a akumulací vrstvou kouře**

$$Y = h_v - h_k = 6 - 2 = 4 \text{ m}$$

**Kritická hodnota tepla sdíleného prouděním**

$$Q_{1max} = 900Y^{5/2} = 900 \cdot 4^{5/2} = 28800 \text{ kW}$$

**Aerodynamická plocha odvětrávacích klapek**

$$Q_1 < 0,2Q_{1max}$$

$$5684,72 \text{ kW} < 0,2 \cdot 28800 \text{ kW}$$

$$5684,72 \text{ kW} < 5760 \text{ kW}$$

$$A_{av} = 0,0122Q_1^{3/5}Yh_k^{-1/2} = 0,0122 \cdot 5684,72^{3/5} \cdot 4 \cdot 2^{-1/2} = 6,17 \text{ m}^2$$

**Geometrická plocha odvětrávacích klapek**

$$A_{gv} = \frac{A_{av}}{c_v} = \frac{6,17}{0,6} = 10,3 \text{ m}^2$$

**Přiváděné množství plynů v akumulací vrstvě**

$$Q_1 \geq 0,2Q_{1max}$$

$$5684,72 \text{ kW} < 0,2 \cdot 28800 \text{ kW}$$

$$5684,72 \text{ kW} < 5760 \text{ kW}$$

$$M'_f = 0,071Q_1^{1/3}(Y^{5/3} + 0,026Q_1^{2/3}) = 0,0715684,72^{1/3}(4^{5/3} + 0,0265684,72^{2/3}) =$$

$$M'_f = 23,26 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Teplota plynů v akumulací vrstvě**

$$T_g = \frac{Q_1}{(M'_f c_p)} + T_0 = \frac{5684,72}{(23,26 \cdot 1,0)} + 20 = 265,4^\circ \text{C}$$

**Objemové množství odváděných plynů**

$$V_v = \frac{M'_f}{\rho_g} = \frac{23,26}{0,65} = 35,78 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\rho_g = 353/(T_g + 273) = 353/(265,4 + 273) = 0,65 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

### Rychlost odváděných plynů

$$v_v = \frac{V_v}{A_{av}} = \frac{35,78}{6,17} = 5,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

### Vztlak u výtoku plynů

$$\Delta p_v = \frac{v_v^2 \cdot \rho_g}{2} = \frac{5,8^2 \cdot 0,65}{2} = 10,93 \text{ Pa}$$

### Objemové množství přiváděného vzduchu

$$V_n = V_v \cdot \frac{\theta_0}{\theta_g} = 35,78 \cdot \frac{290}{538,4} = 19,27 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\theta_0 = 290 \text{ K}$$

$$\theta_g = (T_g + 273) = 265,4 + 273 = 538,4 \text{ K}$$

### Plocha otvorů pro přiváděný vzduch

$$A_{gn} = \frac{V_n}{(v_n \cdot c_n)}$$

Plocha navrhovaných přírodních otvorů není předem určena a proto se pro jejich výpočet vychází z tlakových poměrů v posuzované kouřové sekci. Stanoví se tlakový rozdíl dle rovnice:

$$\Delta p = 3460(\theta_0^{-1} - \theta_g^{-1}) \cdot h'_v = 3460\left(\frac{1}{290} - \frac{1}{538,4}\right) \cdot 5,1 = 28,1 \text{ Pa}$$

$$h'_v = h_v - \frac{h_0}{2} = 6 - 1,8125/2 = 5,1 \text{ m}$$

Tlakový poměr v přírodním otvoru:

$$\Delta p_n = \Delta p - \Delta p_v = 28,1 - 12,65 = 15,45 \text{ Pa}$$

Rychlost přívodu vzduchu:

$$v'_n = \sqrt{2 \frac{\Delta p_n}{\rho_0}} = \sqrt{2 \frac{15,45}{1,29}} = 4,89 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$A_{gn} = \frac{19,27}{(4,89 \cdot 0,5)} = 7,88 \text{ m}^2$$

$$A_{an} = A_{gn} \cdot 0,5 = 7,88 \cdot 0,5 = 3,94 \text{ m}^2$$

### Poloha neutrální roviny

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{A_{av}^2}{A_{gn}^2} \cdot \frac{\theta_0}{\theta_g}$$
$$h_1 + h_2 = h'_v$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{6,17^2}{3,94^2} \cdot \frac{290}{538,4}$$
$$h_1 + h_2 = 5,1$$

$$\frac{h_1}{h_2} = 1,32 \rightarrow h_1 = 1,32h_2$$
$$h_1 + h_2 = 5,1$$

$$h_2 + 1,32h_2 = 5,1 \rightarrow h_2 = 2,19 \text{ m}$$

$$h_1 = 2,9 \text{ m}$$