

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Studijní program: Integrovaná bezpečnost staveb

134DPM – Diplomová práce

Analýza vlivu otevíravých otvorů v systému ZOTK a přirozeném odvětrání multifunkční haly

Analysis of the influence of openings in the heat and smoke exhaust system
compared with natural ventilation of the multi-function areas

Bc. Václav Krásnický

vedoucí práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.

2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Krásnický</u>	Jméno: <u>Václav</u>	Osobní číslo: <u>380875</u>
Zadávací katedra: <u>K134 - Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Integrální bezpečnost staveb</u>		
Studijní obor: <u>Integrální bezpečnost staveb</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Analýza vlivu otevíravých otvorů v systému ZOTK a přirozeném odvětrání multifunkční haly.

Název diplomové práce anglicky: Analysis of the influence of openings in the heat and smoke exhaust system compared with natural ventilation of the multi-function areas.

Pokyny pro vypracování:

Pokročilá numerická analýza rozvoje tepla a kouře v požárním úseku multifunkční haly s uvažováním větracích otvorů jako součást systému ZOKT v porovnání s přirozeným větráním. Zobecnění výsledků, parametrická studie, analytický popis problému.

Seznam doporučené literatury:

Skripta ČVUT, normy řady ČSN 73, technická literatura k systémům SOZ, ZOKT


F.Wald: Požární odolnost stavebních konstrukcí


Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 20.9.2021

Termín odevzdání diplomové práce: 2.1.2022

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

20.9.2021

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením Ing. Michala Netušila, Ph.D. Pro vypracování této práce byla použita odborná literatura, která je uvedena v seznamu. Nemám závažný důvod proti užití 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 2.1.2022

.....

Václav Krásnický

Poděkování

Mě poděkování patří panu Ing. Michalovi Netušilovi, Ph.D., který mi průběhu diplomové práce udílel cenné rady a časový rozvrh konzultací přizpůsobil možnostem.

Dále bych rád poděkoval celé mé rodině, zvláště manželce, která mě v průběhu celého studia podporovala a měla pochopení pro čas strávený nad studiem.

Obsah

Abstrakt	.....	III
Abstract	.....	IV
Seznam použitých symbolů a zkratek	.....	V
1 Úvod	.....	7
1.1 Motivace	.....	7
1.1.1 Velkoprostorové jednopodlažní objekty	.....	7
1.2 Stanovení výzkumné otázky	.....	8
1.3 Cíle práce	.....	9
2 Stav poznání	.....	10
2.1 Požár a jeho průběh	.....	10
2.2 Hoření	.....	10
2.2.1 Průběh požáru	.....	11
2.3 Ochrana staveb proti účinkům požáru	.....	13
2.3.1 Pasivní požární ochrana	.....	13
2.3.2 Aktivní požární ochrana	.....	14
2.4 Požární větrání	.....	14
2.4.1 Kouřová sekce, kouřové zábrany	.....	17
2.4.2 Zařízení pro přirozený odvod kouře a tepla	.....	19
2.4.3 Zařízení pro nucený odvod kouře a tepla	.....	20
2.4.4 Požadavky ČSN na instalaci SOZ	.....	21
2.4.5 Postup a princip návrhu ZOKT	.....	25
2.4.6 Návrh přirozeného požárního odvětrání posledního nadzemního podlaží	.....	27
3 Popis modelu a vstupních parametrů	.....	28
3.1 Úvod	.....	28
3.2 Obecný princip řešeného příkladu	.....	28
3.3 Použité softwary	.....	28
3.4 Metodický postup tvorby modelů	.....	29
3.4.1 Návrhový požární scénář	.....	30
3.4.2 Návrhový požár	.....	31
3.4.3 Popis konstrukčního řešení objektů	.....	34
3.4.4 Posouzení požární bezpečnosti	.....	37
3.4.5 Návrh zařízení pro odvod tepla a kouře	.....	41
3.4.6 Návrh přirozené větrání haly	.....	52
4 Modelové příklady a výstupy	.....	55
4.1 Vstupní parametry modelů	.....	56
4.2 Modely hal a výstupy z programu CFD	.....	56
4.2.1 Hala A	.....	57
4.2.2 Hala B	.....	63
4.3 Přehled a porovnání výsledků	.....	70
4.4 Vyhodnocení výsledků	.....	75
5 Závěr	.....	80

Seznam obrázků	82
Literatura	84

Abstrakt

Práce představuje systém zařízení odvodu kouře a tepla jako ucelený systém aktivní požární ochrany. Součástí práce je představení principu systému odvodu tepla a kouře včetně jeho účinku na snížení tepelného namáhání konstrukcí stavby a dále základních projekčních normových požadavků na instalaci tohoto zařízení do stavby včetně stanovení výjimek, kdy od této instalace lze upustit a nahradit tento systém samočinně otevíratelnými otvory tak, aby nebyl omezen odvod zplodin hoření z posuzovaného požárního úseku.

Řešeným příkladem této práce je analýza a posouzení těchto metod z hlediska rozvoje tepla v navrženém požárním úseku velkoprostorové haly a posouzení teplotního namáhání konstrukce stavebních konstrukcí. Na základě výsledků modelového příkladu můžeme pozorovat, že systém zařízení odvodu kouře a tepla je oproti samočinně otevíratelným otvorům ve fasádě objektu z pohledu rozvoje a odvodu tepla z požárního úseku účinnější a nosné konstrukce tímto pádem budou méně tepelně namáhány. V rámci vyhodnocení řešeného příkladu je patrné, že v případě ventilace prostoru samočinně otevíravými otvory, má na rozvoje teploty v prostoru zásadní vliv světlá výška místnosti, výšková poloha umístění otvorů a výška otvorů. Z hlediska možnosti záměny těchto systémů nejsou tyto parametry zaneseny do posouzení, i přesto že mají tyto hodnoty na účinnost zmiňovaného přirozeného odvětrání zásadní vliv.

Instalací zařízení odvodu tepla a kouře můžeme v mnoha stavbách s velkou světlou výškou zabránit i dosažení kritické teploty nosných konstrukcí objektu a tím nejen ušetřit náklady na samotnou výstavbu z hlediska nutných dodatečných protipožárních opatření, ale též ke snížení škod způsobených požárem na technologiích i na objektu samotném.

Klíčová slova

požární větrání; zařízení odvodu kouře a tepla; kouřové sekce; aktivní požární ochrana; akumulární vrstva; stabilní odvětrávací zařízení; multifunkční hala; elektrická požární signalizace; kouř; přirozené odvětrání

Abstract

The work presents a system of smoke and heat removal equipment as a comprehensive system of active fire protection. Part of the work is the introduction of the principle of heat and smoke removal system, including its effect on reducing thermal stress in buildings and basic design standards for installation of this equipment in the building, including exceptions, when this installation can be abandoned and replaced by self-opening holes. so that the discharge of combustion products from the assessed fire section is not limited.

The solved example of this work is the analysis and assessment of these methods in terms of heat development in the designed fire section of a large hall and the assessment of thermal stress in the construction of building structures. Based on the results of the model example, we can observe that the smoke and heat removal system is more efficient than the self-opening openings in the building facade in terms of heat development and heat removal from the fire section and the load-bearing structures will be less thermally stressed. As part of the evaluation of the solved example, it is evident that in the case of ventilation of the room through self-opening openings, the clear height of the room, the height position of the openings and the height of the openings have a fundamental influence on the temperature development in the room. From the point of view of the possibility of confusing these systems, these parameters are not included in the assessment, and at the same time these values have a fundamental effect on the efficiency of the mentioned natural ventilation.

By installing heat and smoke removal equipment, we can prevent many critical high-rise buildings from reaching the critical temperature of the building's structures and thus not only save the construction costs in terms of the need for additional fire protection measures, but also to reduce fire damage to technology and the building itself.

Keywords

fire ventilation; smoke and heat removal equipment; smoke sections; active fire protection; accumulation layer; stable ventilation equipment; multifunctional hall; electronic fire signalisation; smoke; natural ventilation

Seznam použitých symbolů a zkratek

Latinské symboly

c	Měrná tepelná kapacita	J/(kg·K)
p	Požární zatížení	kg/m ²
p_v	Požární výpočtové zatížení	kg/m ²
a	Součinitel vyjadřující rychlost odhořívání	-
h_p	Požární výška objektu	m
S_o	Plocha otvorů v obvodových a střešních konstrukcích	m ²
h_o	Výška otvorů v obvodových a střešních konstrukcích	m
t_u	Předpokládaná doba evakuace	min
t_e	Předpokládaná doba zakouření	min
S_k	Plocha stavebních konstrukcí ohraničujících PÚ	m ²
S_{max}	Mezní půdorysná plocha požárního úseku	m ²
F_o	Parametr odvětrání	m ^{1/2}
\bar{p}	Průměrné požární zatížení	kg/m ²
h_{sc}	Celková skladovací výška	m
Q_l	Celkové uvolněné teplo sdílené prouděním	kW
Q_c	Celkové uvolněné teplo	kW
A_k	Půdorysná plocha kouřové sekce	m ²
h_v	Výška prostoru (od podlahy k ose kouřové klapky)	m
h_k	Výška akumulární vrstvy	m
k_v	Parametr vyjadřující dynamiku požáru	MW ^{-0,5} s
k_c	Podíl tepla sdíleného prouděním plynů	-
t_a	Součinitel rychlosti rozvoje požáru	s
RHR_f	Maximální rychlost uvolňování tepla	kW/m ²
q_{fd}	Návrhová hustota požárního zatížení	MJ/m ²
A_{fi}	Plocha požáru	m ²

Řecké symboly

λ	Součinitel tepelné vodivosti	W/(m·K)
ρ	Objemová hmotnost	kg/m ³

Zkratky

R	Mezní stav únosnosti
EPS	Elektrická požární signalizace
SSHZ	Samočinné stabilní hasicí zařízení
SHZ	Stabilní hasicí zařízení
DHZ	Doplňkové hasicí zařízení
ZDP	Zařízení dálkového přenosu
SOZ	Stabilní odvětrávací zařízení
ZOKT	Zařízení odvodu kouře a tepla
HZS	Hasičský záchranný sbor
CHÚC	Chráněná úniková cesta
NÚC	Nechráněná úniková cesta
PÚ	Požární úsek
PBZ	Požárně bezpečnostní zařízení
SP	Shromažďovací prostor
CFAST	Consolidated Fire and Smoke Transport (software)
NIST	National Institute of Standards and Technology
FDS	Fire Dynamics Simulator (software)

1 Úvod

1.1 Motivace

1.1.1 Velkoprostorové jednopodlažní objekty

Postupem rozvoje moderní výstavby a budování stále složitějších staveb mající polyfunkční charakter, je u staveb čím dál větší riziko vzniku požáru a výše škod způsobených jeho účinkem.

V současné době jsou svým charakterem stavby využívány převážně víceúčelově, a to nevyjímaje i jednopodlažní velkoplošné objekty, jako jsou například halové budovy. Pokud se blíže zaměříme na tento typ staveb lze říct, že mají tyto stavby v současné době rozšířené využití, a to například jako:

- Průmyslové a výrobní provozy
- Skladovací prostory
- Prostory prodeje zboží (showroomy, nákupní galerie)
- Administrativní prostory
- Sportovní prostory
- a jiné

Složitost a provozní řešení těchto staveb vynucuje s ohledem na požární bezpečnost objektů čím dál složitější a promyšlenější systémy požární ochrany.

V této práci se blíže zaměříme na montované haly s nosnou ocelovou rámovou konstrukcí. Mezi developery popularita halových staveb v roce 2019 až 2020 velice vzrostla, a to hlavně z důvodu vysoké míry poptávky na pronájem těchto prostor v poměru s nízkými pořizovacími náklady na jejich výstavbu (1).

Tyto typy staveb mají řadu výhod, které jsou stavebníky, při výstavbě výše uvedených provozů, často zvažovány. Mezi ně patří především:

- rychlost výstavby
- nízké pořizovací náklady

-
- široká variabilita prostor
 - dlouhá životnost

Mezi hlavní nevýhody těchto staveb patří samotná odolnost ocelové konstrukce vůči účinkům požáru. Z hlediska požární bezpečnosti staveb je požární odolnost ocelových konstrukcí charakterizována mezním stavem únosnosti (R) a časem v minutách, po který si musí tuto vlastnost zachovat. U nechráněných nosných ocelových prvků se požární odolnost pohybuje přibližně v rozmezí R 5 až R 20. Vlastní požární odolnost ovlivňuje návrhová kritická teplota, která vychází ze stupně využití ocelového průřezu. Pro většinu ocelových konstrukcí lze uvažovat kritickou teplotu oceli na hodnotě 500 °C, což je hodnota, při které je stupeň využití na straně bezpečnosti pro většinu běžných stavebních konstrukcí (2).

Na základě výše uvedeného je patrné, že velkoprostorové stavby s ocelovou nosnou konstrukcí lze vybudovat za nízké pořizovací náklady v porovnání s ostatními materiálovými řešeními. Na druhou stranu, s přihlédnutím k nízké požární odolnosti vůči účinkům požáru může docházet k navýšení nákladů na výstavbu o nemalé investice, a to na dodatečnou požární ochranou těchto konstrukcí. Z těchto důvodů je v rámci projektování tohoto typu staveb, potřeba zhodnotit veškeré možné způsoby snížení tepelného namáhání stavebních konstrukcí. Jednou z možností, jak snížit tepelné namáhání konstrukce bez nutnosti instalace dodatečného obkladu, nástřiku či nátěru konstrukcí, je například instalace prvků aktivní požární ochrany.

Dále je nutné na tento typ objektů pohlížet i jako na objekty a provozy, ve kterých dochází k velké koncentraci osob a v některých případech i majetku velké finanční hodnoty. Příkladem těchto provozů jsou výstavní prostory, kde se v jeden okamžik nachází velké množství osob a současně výstavní exponáty mohou mít, s ohledem na svůj charakter a stáří, nevyčíslitelnou hodnotu. Z těchto důvodů je nutné se u takových typů provozů a staveb zaměřit z hlediska požární bezpečnosti na včasnou a bezpečnou evakuaci osob a současně maximální ochranu majetku proti škodám vzniklých požárem. V těchto případech je možné tyto následky eliminovat a snížit právě použitím aktivní požární ochrany.

1.2 Stanovení výzkumné otázky

Zařízení odvodu kouře a tepla je prvkem aktivní požární ochrany, který má v případě požáru příznivý vliv nejen na zajištění bezpečné evakuace osob, ale i na ostatní negativní dopady, které vznikají vlivem požáru. V této práci se budeme zabývat převážně účinkem snížení tepelného namáhání nosných konstrukcí objektu, respektive snížením přestupu tepla do okolních konstrukcí

a tím ke snížení možných materiálních škod nejen na objektu samotném, ale i na vybavení umístěném uvnitř objektu.

V únoru 2020 došlo v oblasti požární ochrany k podstatným úpravám normových požadavků na projektování a provádění staveb, a to na základě vydání aktualizace kodexu norem v oblasti požární bezpečnosti. Systém zařízení odvodu kouře a tepla touto aktualizací zaznamenal největší změny v objektech a stavbách klasifikovaných, z hlediska požární bezpečnosti, jako shromažďovací prostory, kde je předpoklad koncentrace vysokého počtu osob na ploše navrhovaného požárního úseku.

Poslední změna projekčních norem měla významný dopad na požadavky, kdy musíme do stavby shromažďovacích prostorů instalovat systém zařízení odvodu kouře a tepla a kdy od této instalace můžeme upustit a nahradit ho jiným způsobem odvětrání. Návrhový postup, který byl aplikován do února 2020, respektive do účinnosti poslední změny normy, zohledňoval ve shromažďovacích prostorech posouzení evakuace osob a současně samotnou instalaci aktivní požární ochrany podmiňoval množstvím požárního zatížení v kombinaci s velikostí těchto prostor. Po vydání poslední aktualizace normy, je možné tyto prostory do definované velikosti shromažďovacího prostoru navrhovat bez systému zařízení odvodu kouře a tepla, pouze za splnění podmínek dostatečného větrání prostor, o kterém hovoříme jako o stavu, kdy není omezen přirozený odvod zplodin hoření z posuzovaného prostoru bez ohledu na posouzení evakuace osob a množství požárního zatížení.

V této práci se budeme zabývat analýzou a posouzením aplikace výše uvedených způsobů větrání na modelových příkladech, abychom mohli zhodnotit, zda bude tato změna mít vliv na účinek tepelného namáhání konstrukcí objektu, a tím případně na množství škod způsobených požárem. Závěrem této práce bude vyhodnocení možnosti záměny těchto systémů odvětrání, nikoliv v souvislosti s bezpečnou evakuací osob z řešeného prostoru, ale z pohledu vlivu požáru na objekt samotný a materiální škody způsobené požárem.

1.3 Cíle práce

Hlavními cíli práce jsou:

- 1) popis požáru a jeho průběh,
- 2) představení zařízení pro odvod kouře a tepla,
- 3) požadavky a princip návrhu odvodu tepla a kouře dle ČSN,

-
- 4) porovnání tepelného namáhání konstrukcí při změně větrání prostoru
 - 5) popis výsledků a zobecnění pro možnost numerického posouzení

2 Stav poznání

2.1 Požár a jeho průběh

Požár definuje vyhláška o požární prevenci jako každé nežádoucí hoření, při kterém došlo k usmrcení nebo zranění osob nebo zvířat, ke škodám na materiálních hodnotách nebo životním prostředí a nežádoucí hoření, při kterém byly osoby, zvířata, materiální hodnoty nebo životní prostředí bezprostředně ohroženy (3).

2.2 Hoření

Hoření je fyzikálně chemická oxidační reakce, při které hořlavá látka reaguje vysokou rychlostí s oxidačním prostředkem za vzniku tepla a světla. Z hlediska požární bezpečnosti je na hoření pohlíženo jako na reakci, při které dochází k uvolnění tepla a zplodin hoření. K zahájení tohoto jevu je bezpodmínečná přítomnost 3 hlavních faktorů tzv. trojúhelníku hoření viz Obr. 1 (4):

- Hořlavé látky
- Oxidačního činidla
- Iniciačního zdroje



Obr. 1 - Trojúhelník hoření

Teplu produkované hořením se v místě požáru nehromadí, ale je v rámci prostor požáru odváděno do okolního prostředí. Tento jev je nazýván sdílením tepla a je jedním ze způsobů přenosu energie. Jedná se o termodynamický jev, při kterém dochází k výměně tepla mezi dvěma tělesy s různou teplotou. Výměna probíhá vždy mezi tělesem teplejším a mezi tělesem chladnějším, kterému předává energii.

Základní mechanismy, jak se teplo šíří, lze dělit následovně:

- vedení (kondukce)
- proudění (konvekce)
- sálání (radiace)

2.2.1 Průběh požáru

Rozvoj požáru v průběhu času může probíhat mnoha způsoby v závislosti na prostředí, například větrání prostor a na podmínkách uložení a uspořádání hořlavého materiálu. Obecně lze stanovit schéma průběhu rozvoje požáru v uzavřeném prostoru bez zásahu aktivních prvků požární ochrany a zásahu hasícího efektu. Křivku průběhu požáru lze dělit na 3 fáze a fázi uhasínání viz Obr. 2 (5).

Fáze 1 – Bezplamenný rozklad

Jedná se o prvotní fázi rozvoje požáru, než dochází k plamennému hoření. Tato fáze a její nebezpečí je spojeno s vývinem kouře a toxických zplodin hoření. Nárůst teploty v prostoru požáru je velmi malý.

Fáze 2 – Rozvíjející se požár

Tato fáze při časové souslednosti průběhu požáru začíná přechodem bezplamenného hoření na hoření plamenné. V této fázi představuje nebezpečí šíření plamene, uvolňované teplo a vývin kouře a toxických zplodin. Z hlediska průběhu teploty v této fázi dochází k vzestupu zakončeným exponenciálním nárůstem.

Fáze 3 – Plně rozvinutý požár

Fáze 3 začíná v době, kdy povrch všech hořlavých materiálů umístěných v prostoru požáru, je rozložen do takové míry, že v celém prostoru dojde k náhlému vznícení všech hořlavých materiálů uvnitř prostoru požáru k tzv. flashover efektu. Teploty v této fázi dosahují svého

maxima. Na konci této fáze dochází k poklesu intenzity požáru, který je způsobený vyhořením paliva či kyslíku a průběh požáru přechází do fáze uhasínání.



Obr. 2 - Fáze rozvoje požáru v uzavřeném prostoru [5;16]

Pro účely všeobecné klasifikace fází požáru v průběhu procesu hoření publikovala technická komise ISO/TS 92 revidovanou normu ISO 19706 jako součást publikace ISO/TR 9122-1 viz Obr. 2Obr. 3.

Fire Stage	Heat /kW m ⁻²	Max Temp /°C		Oxygen %		Equiv- alence ratio ϕ	$\frac{V_{CO}}{V_{CO_2}}$	Comb- ustion Efficiency %
		Fuel	Smoke	In	Out			
Non-flaming								
1a. Self sustained smouldering	n.a.	450 - 800	25 - 85	20	0 - 20	-	0.1 - 1	50-90
1b. Oxidative, external radiation	-	300 - 600		20	20	-		
1c. Anaerobic external radiation	-	100 - 500		0	0	-		
Well ventilated flaming								
2. Well ventilated flaming	0 to 60	350 - 650	50 - 500	~20	0 - 20	<1	<0.05	>95
Under ventilated Flaming								
3a. Low vent. room fire	0 to 30	300 - 600	50-500	15 - 20	5 - 10	>1	0.2 - 0.4	70 - 80
3b. Post flashover	50 to 150	350 - 650	>600	<15	<5	>1	0.1 - 0.4	70 - 90

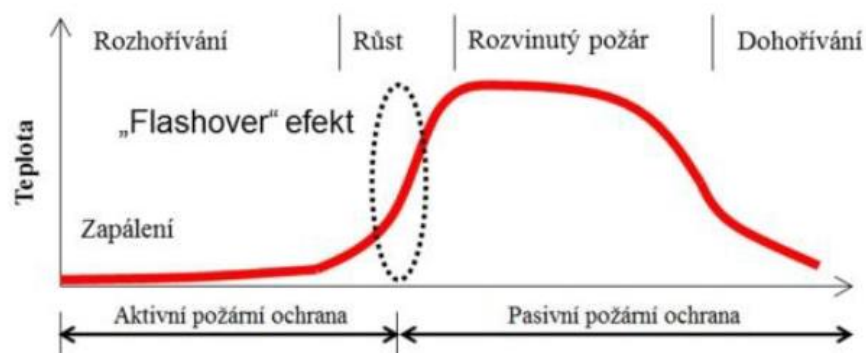
Obr. 3 - Všeobecná klasifikace fází požáru [17]

2.3 Ochrana staveb proti účinkům požáru

Z hlediska požární bezpečnosti staveb je ochrana staveb vůči účinkům požáru postavena na dvou základních principech:

- pasivní požární ochrana
- aktivní požární ochrana

Účinnost pasivní a aktivní požární ochrany viz. Obr. 4 lze vyjádřit v závislosti na průběhu procesu hoření.



Obr. 4 - Účinnost požární ochrany v závislosti na průběhu požáru [18]

2.3.1 Pasivní požární ochrana

Jedná se o systém ochrany objektu před účinkem požáru, která představuje konstrukční a dispoziční řešení stavby z hlediska požáru. Tato ochrana představuje schopnost budovy jako celku vzdorovat účinkům požáru a sama o sobě nemůže ovlivnit rozvoj požáru. Systém pasivní ochrany působí preventivně a zabraňuje šíření požáru po objektu a jeho aktivace není závislá na účinku působení člověka či jiného systému např. napájení elektřinou.

Pasivní požární ochranu můžeme vnímat převážně jako následující řešení objektu v oblastech:

- Dělení stavby do PÚ
- Použití vhodných hmot a materiálů
- Návrh konstrukcí na požadovanou odolnost
- Řešení únikových cest

-
- Vybavení zásahových cest
 - Řešení požárně nebezpečného prostoru

Z hlediska jednotlivých fází rozvoje požáru je tato ochrana účinná od samotného začátku tzn. fáze rozhořívání a je účinná po celou dobu průběhu požáru až do jejího kolapsu.

2.3.2 Aktivní požární ochrana

Oproti pasivní požární ochraně se aktivní požární ochrana vyznačuje svou účinností pouze ve fázi rozvoje požáru. Tato ochrana se aktivně podílí na potlačení, případně likvidaci požáru, snížení škod na majetku a bezpečné evakuaci osob.

Tato ochrana v rámci svého řešení představuje technologické požární systémy a jejich bezpodmínečné užití ve stavbě je podmíněno normovými požadavky z řad ČSN 73 08xx a návrhem požárně bezpečnostního řešení objektu.

Mezi aktivní požární ochranu patří níže uvedené systémy:

- Elektrická požární signalizace (EPS)
- Samočinné stabilní a polostabilní hasící zařízení (SSHZ)
- Zařízení dálkového přenosu (ZDP)
- Samočinné odvětrávací zařízení (SOZ)
- Zásah jednotek HZS
- Automatické protivýbuchové zařízení

2.4 Požární větrání

Požární větrání ve smyslu předpisů o požární ochraně, je požárně bezpečnostním zařízením. Požárně bezpečnostní zařízení jsou systémy, technická zařízení a výrobky pro stavby, podmiňující požární bezpečnost stavby nebo jiného zařízení (3). Podle definice vyhlášky č. 246/2001 Sb., o požární prevenci, je na tento druh požárně bezpečnostního zařízení pohlíženo jako na zařízení pro usměrňování pohybu kouře při požáru. Mezi tyto systémy lze zařadit zařízení pro odvod kouře a tepla, zařízení přetlakové ventilace, kouřovou klapku včetně ovládacího mechanismu, kouřotěsné dveře, zařízení přirozeného odvětrání kouře.

Požární větrání můžeme dělit na dvě základní skupiny:

- požární větrání chráněných únikových cest
- požární větrání běžných požárních úseků; toto větrání je v současné době v požárních předpisech označováno jako zařízení pro odvod kouře a tepla (ZOKT)

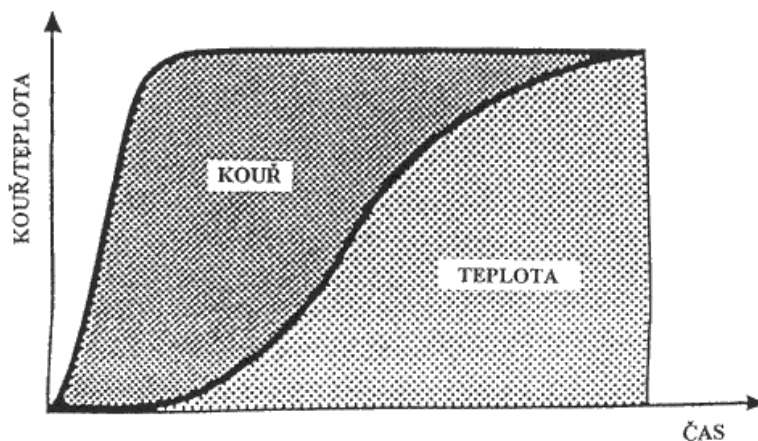
První skupinou požárního větrání je větrání chráněných únikových cest (CHUC). Pod tímto systémem se především rozumí větrání, které zamezuje průniku kouře a zplodin hoření do těchto prostor. Jeho hlavní funkcí v objektu je zabezpečení bezpečné evakuace osob z objektu či jiných zařízení.

Oproti tomu je druhá skupina požárního větrání běžných požárních úseků, která odpovídá definici uvedené ve vyhlášce č. 246/2001 Sb., tedy jde o zařízení, které slouží pro odvod tepla a kouře z prostor zasažených požárem a prostor, kde se nachází požární riziko vyjádřené tzv. požárním zatížením. Jak již bylo zmíněno výše, v terminologii požární bezpečnosti je tento systém nazýván samočinným odvětrávacím zařízením, jinak také zařízením pro odvod kouře a tepla (6).

Instalaci zařízení pro odvod tepla a kouře z hlediska jeho účinnosti na průběh a účinky požáru jsou následovné (7):

- zlepšení podmínek evakuace
- zlepšení podmínek zásahu požárních jednotek
- snížení teplotního namáhání stavebních konstrukcí
- snížení přímých i následných škod na zařízení a vybavení objektů způsobených horkými plyny a kouřem

Na základě definice účinnosti tohoto zařízení lze jednoznačně uvést, že jeho účinnost je v první fázi požáru viz Obr. 5, kdy dochází k vývinu a uvolňování zplodin hoření (kouře) a transportu uvolněného tepla kouřovou vrstvou.



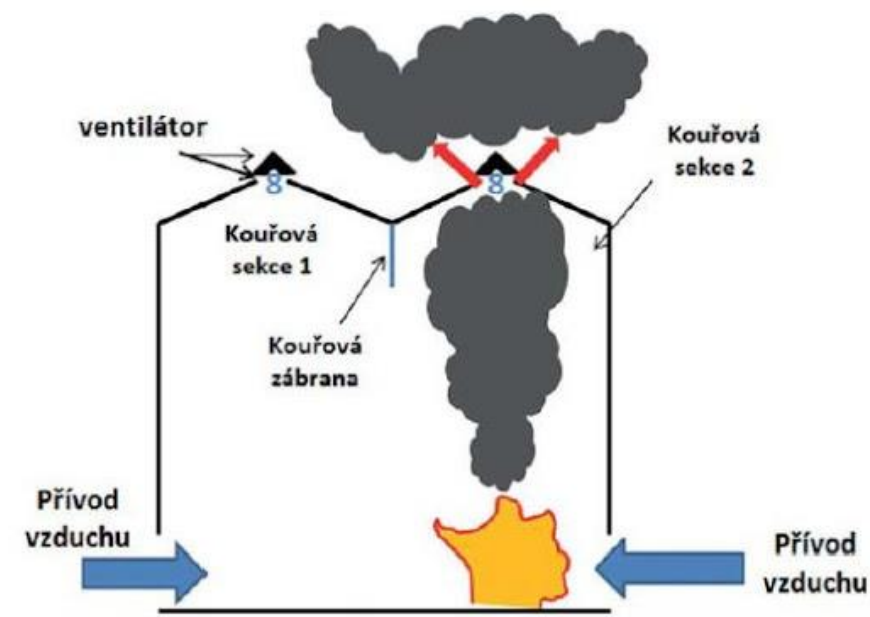
Obr. 5 - Schéma vývinu kouře a tepla v průběhu požáru [8]

Zařízení odvodu tepla a kouře dle definice normových požadavků se navrhuje na tzv. návrhový požár. Tento návrhový požár představuje pravděpodobný rozvoj a průběh požáru, ke kterému může dojít za dané situace a za daných podmínek prostředí a je podkladem pro stanovení požárního scénáře. Pro stanovení návrhového modelu se vždy volí vhodný matematický model požáru. Správně stanovený model obsahuje vývoj rozhodujících parametrů požáru, jako je například intenzita uvolňování tepla, vývin kouře a tepla aj. (8).

Základní prostorovou jednotkou pro návrh zařízení pro odvod tepla a kouře představuje kouřová sekce.

2.4.1 Kouřová sekce, kouřové zábrany

Kouřová sekce viz Obr. 6, představuje vymezený prostor pod stropem či střechou, kde dochází ke kumulaci zplodin hoření do tzv. akumulární vrstvy pomocí přirozeného vztlaku a zabraňuje tak šíření kouře a tepla uvnitř navrhovaného požárního úseku. V každém požárním úseku návrh vždy obsahuje, zda je dělen na více kouřových sekcí či celý požární úsek tvoří jednu kouřovou sekci. Kouřová sekce je stanovena půdorysnou plochou, je značena jako A_K s měrnou jednotkou v m^2 . Plochu kouřové sekce je vhodné volit v rozmezích $(2h_v)^2$ až $(6h_v)^2$, kde h_v je výška prostoru od podlahy či umístění nahodilého požárního zatížení až k ose odvětrací klapky, přičemž plocha takto volené sekce by v závislosti na způsobu odvodu zplodin hoření neměla překročit při přirozeném odvětrání tepla a kouře plochu $2\,200\,m^2$, při nuceném odvodu tepla a kouře plochu $2\,600\,m^2$. Volba a návrh rozměrů půdorysné plochy kouřové sekce je úměrná účinnosti odvodu tepla a kouře. (9)



Obr. 6 - Dělení požárního úseku na kouřové sekce

Pokud se v požárním úseku nachází více kouřových sekcí, je nutné tento prostor mezi sebou účinně dělit. Kouřové sekce se vzájemně oddělují kouřovými zábranami, které jsou tvořeny přepážkami spuštěnými ze stropní konstrukce a zabraňují šíření kouře a tepla mimo danou kouřovou sekci. Kouřové zábrany mohou být tvořeny pomocí výrobků, jako jsou například skleněné kouřové zábrany viz Obr. 7, či ve formě dělicích plnostěnných stavebních konstrukcí (sádkartonových konstrukcí či plnostěnných vazníků). Dále můžeme kouřové zábrany dělit na zábrany pevné a pohyblivé (např. textilní rolety).



Obr. 7 - Příklad výroby kouřové zábrany

Hlavním parametrem pro návrh kouřové zábrany je stanovení výšky akumulční vrstvy, přičemž spodní úroveň kouřové zábrany musí být nejméně na úrovni spodní hrany akumulční vrstvy. Výška spodní hrany akumulční vrstvy je stejně jako návrh kouřové sekce závislá na parametru h_v a na způsobu odvětrání.

Z hlediska požadavků na spodní hranu akumulční vrstvy jsou stanoveny normou ČSN 73 0802 minimální hodnoty a to:

- spodní hrana akumulční vrstvy ve výšce 2,5 m od podlahy pro prostory o světlé výšce místnosti 3,5 až 4 m
- spodní hrana akumulční vrstvy ve výšce 3 m od podlahy pro prostory o světlé výšce místnosti vyšší než 4 m

V některých případech mohou být výškové poměry stanoveny odchylně. Například při světlé výšce místnosti do 2,5 m v prostoru garáží, je výška spodní hrany akumulční vrstvy požadována nejméně 1,9 m od podlahy.

Principem funkce zařízení pro odvod tepla a kouře vychází ze základních fyzikálních zákonitostí, a to vzlaku způsobeného rozdílem hustoty teplejších plynů proti teplotě okolního vzduchu o teplotě cca 20 °C. Z hlediska způsobu odvětrání lze ZOKT dělit na dva typy:

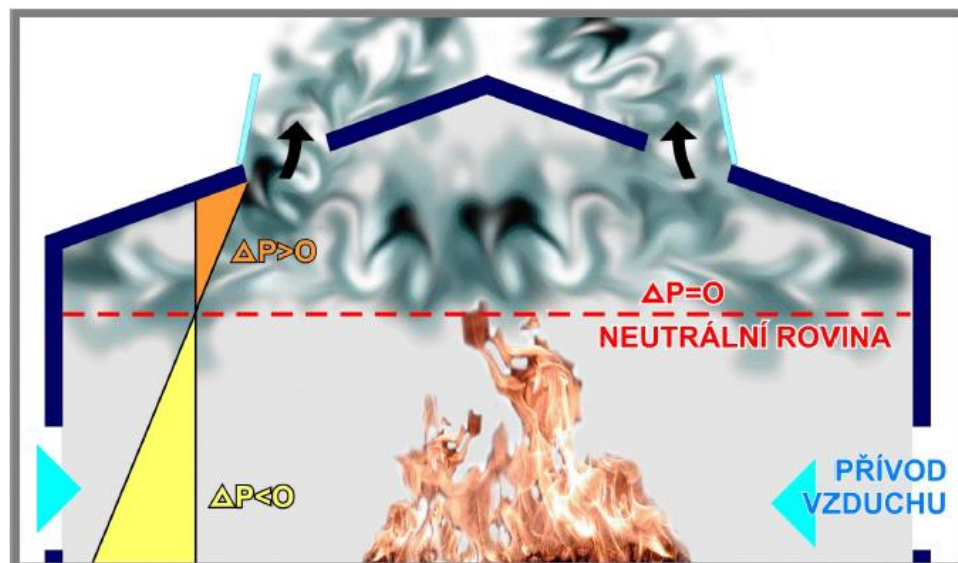
- zařízení pro přirozený odvod kouře a tepla
- zařízení pro nucený odvod kouře a tepla

2.4.2 Zařízení pro přirozený odvod kouře a tepla

Princip funkce zařízení pro odvod kouře a tepla s přirozeným odvodem zplodin hoření, vychází ze základních fyzikálních zákonitostí, a to vztlaku způsobeného stoupáním teplých ohřátých plynů s nižší objemovou hmotností od požáru, oproti teplotě okolního vzduchu o teplotě cca 20 °C. Tento fyzikální jev je nazýván jako tzv. komínový efekt.

Z výše uvedeného vyplývá, že základní hybnou silou mechanismu přirozeného odvětrání, i bez použití ventilátorů, je rozdíl takových poměrů způsobených rozdílem objemových hmotností vzduchu rozdílnou teplotou. Mezi negativní vlivy, které ovlivňují komínový efekt, je samotná teplota vnitřního a venkovního prostředí. Aby bylo možné tento systém uvést k požadované účinnosti, musí být v rámci prostor s požárem zajištěn jak odvod tepla mimo chráněný požární úsek, tak také přívodní otvory pro přívod vzduchu o teplotě venkovního okolí (10; 7).

Rozdíl tlakových poměrů po výšce objektu je proměnlivý a závisí na mnoha faktorech, jako jsou například výška místnosti, umístění přívodních a odvodních otvorů, vývin tepla, účinky povětrnostních podmínek aj. V místě, kde nastává rovnováha mezi tlakem okolního prostředí a tlakem uvnitř místnosti je nazýván jako neutrální rovina viz Obr. 8.



Obr. 8 - Poloha neutrální rovina [7]

Systém přirozeného odvodu kouře a tepla je užíván převážně pro jednopodlažní objekty. U vícepodlažních objektů se tento systém navrhuje pouze pro místnosti přes více nadzemních podlaží, kde strop tvoří konstrukci střechy (například atria, schodišťové věže aj.).

Přívodní a odvodní otvory jsou v rámci tohoto systému obvykle řešeny:

- střešními světlíky
- odvětrávacím potrubím či šachtami
- střešními a stěnovými žaluziovými klapkami
- automaticky otevíratelnými okny, dveřmi, vraty



Obr. 9 - Střešní světlík pro odvod kouře a tepla

2.4.3 Zařízení pro nucený odvod kouře a tepla

Oproti výše uvedenému zařízení pro přirozený odvod kouře a tepla je u systému nuceného odvětrání hybná síla odtoku zplodin hoření založena na účinnosti technologickém zařízení pomocí elektrických ventilátorů. Tento typ větrání je užíván převážně tam, kde nelze aplikovat větrání přirozené – podzemní prostory, vícepodlažní objekty aj.

Z hlediska účinnosti lze nucené větrání rozdělit do dvou základních typů:

- podtlakové
- přetlakové

U podtlakového větrání jsou ventilátory umístěny vždy na výstupních otvorech a odsáváním zplodin hoření vytvářejí v daném požárním úseku podtlak. Oproti tomu je přetlakové větrání, kde jsou ventilátory umístěny na přívodu vzduchu a vhánějí vzduch do prostoru místnosti. Tím vytvářejí v daném prostoru přetlak a z hlediska účinku dochází k vytlačení zplodin hoření z daného prostoru. Přetlakové větrání je užíváno převážně pro větrání chráněných únikových cest.

U těchto typů větrání je nutné také řešit dostatečný přívod či odvod vzduchu, dle typu zvoleného větrání. Pokud se zaměříme na větrání podtlakové, které je pro typ výše zmíněných staveb typičtější, lze přívod vzduchu řešit též jako nucený či přirozený přívod. Z hlediska ekonomické a technologické náročnosti jsou převážně voleny přívody vzduchu přirozené (dveřními otvory, vraty, okny aj.).

Ventilátory sloužící pro odvod tepla a kouře lze dle ČSN klasifikovat a dělit podle stanovení třídy výrobků. Tato klasifikace představuje základní typy ventilátorů užívané pro nucené větrání, které jsou rozděleny na základě ověřovaných návrhových vlastností dle své odolnosti vůči maximální teplotě zplodin hoření odváděných z požárního úseku skrz ventilátor a současně doby funkčnosti zařízení při požáru (11):

- | | | |
|--------------------|---|--------------------------|
| • F ₂₀₀ | pro teploty do 200 °C, min. funkční doba 120 min | F ₂₀₀ 120 |
| • F ₃₀₀ | pro teploty do 300 °C, min. funkční doba 60 min | F ₃₀₀ 60 |
| • F ₄₀₀ | pro teploty do 400 °C, min. funkční doba 90 / 120 min | F ₄₀₀ 90(120) |
| • F ₆₀₀ | pro teploty do 600 °C, min. funkční doba 60 min | F ₆₀₀ 60 |
| • F ₈₄₂ | pro teploty do 842 °C, min. funkční doba 30 min | F ₈₄₂ 30 |

Mimo výše uvedené, je nutné pro ventilátory sloužící pro nucený odvod tepla a kouře z požárního úseku stanovit následující vlastnosti (11):

- třídy použití
- zatížitelnost elektromotoru
- průtok a tlak
- teplota vnějšího povrchu izolovaných ventilátorů
- zatížení větrem a sněhem
- funkce při nízkých teplotách

2.4.4 Požadavky ČSN na instalaci SOZ

Samočinné odvětrávací zařízení patří, jak již bylo zmíněno, mezi aktivní protipožární zařízení. Z pohledu legislativních požadavků a norem ČSN lze toto zařízení instalovat a jeho účinnost popsat do návrhu požárně bezpečnostního řešení.

Z hlediska účinnosti aktivních prvků požární ochrany, lze v rámci projekčních prací dosáhnout:

- snížení požárního rizika
- zvýšení mezních rozměrů PÚ
- zvýšení mezní délky NÚC

Vzhledem k účelu této práce je na SOZ nutno pohlížet jako na zařízení, které je dle normových požadavků, nutno instalovat do stavby, na základě kritérií stanovených normovými postupy.

Nyní si blíže podíváme na požadavky jednotlivých požárních norem, které předepisují instalaci SOZ do stavby, pokud dojde k překročení limitních hodnot, a to s ohledem na kritéria např. obsazenosti objektu osobami, požární zatížení, limitní hodnoty kouřové vrstvy aj.

ČSN 73 0802 – Nevýrobní objekty

Jak bylo uvedeno výše, je tato kapitola zaměřena v první řadě pouze na současné požadavky aplikace SOZ na základě normových požadavků, nikoliv na vliv návrhu samotného PBR při instalaci tohoto zařízení např. snížení požární výpočtového zatížení, zvýšení délky únikové cesty aj.

Dle ČSN 73 0802 musí být ZOKT vybaven požární úsek (nebo jeho část) s požárním zatížením, kde doba evakuace je delší než doba, kdy kouřová vrstva poklese pod hranici 2,5 m nad podlahou a současně se jedná o požární úseky:

- a) v prvním podzemním nebo nadzemním podlaží s výškovou úrovní $h_p \leq 45$ m, v nichž je více než 150 osob (podle ČSN 73 0818) nebo;
- b) v druhém a dalším podzemním podlaží, nebo v nadzemních podlažích s výškovou polohou $h_p > 45$ m, v nichž je více než 100 osob (podle ČSN 73 0818).

ZOKT není požadováno v případě, pokud během evakuace nebude v požárních úsecích uvedených v bodech a) nebo b) výše, omezen přirozený odvod zplodin hoření, stanovený vztahem $S_o h_o^{1/2} / S_k < 0,035 \text{ m}^{1/2}$ nebo v případě součinnosti s SSHZ $S_o h_o^{1/2} / S_k < 0,015 \text{ m}^{1/2}$. Toto lze zajistit buď trvale otevřenými otvory, případně otvory, u kterých je zajištěno samočinné otevření systémem EPS nebo jiným stejně citelným zařízením.

Pokud se nejedná o shromažďovací prostory podle ČSN 73 0831, lze navrhnout zařízení pouze na dobu evakuace (nejméně však na dobu 5 minut).

Dále je toto zařízení nutné instalovat v prostorech, kde se na podkladě individuálních posouzení rizik expertizní zprávou či posudkem prokáže nezbytnost těchto zařízení z důvodu bezprostředního ohrožení života osob (9).

ČSN 73 0804 – Výrobní objekty

Požadavky na instalaci SOZ dle této normy jsou stanoveny následovně: SOZ musí být vybaveny požární úseky s požárním rizikem (popřípadě stavebně vymezené jejich části), jejichž půdorysná plocha je větší než $0,5S_{max}$ podle vztahu této normy, ve kterých je omezen přirozený odvod zplodin hoření a kouře (např. okny, světlíky aj.), přičemž ve smyslu tohoto znění můžeme hovořit o omezení, kdy je parametr odvětrání $F_o < 0,030 \text{ m}^{1/2}$ nebo v případě součinnosti SSHZ $F_o < 0,015 \text{ m}^{1/2}$ a kde na osobu s trvalým pracovním místem připadá půdorysná plocha:

- méně než 5 m^2 , jde-li o 3. nebo 4. skupinu výroby a provozů
- méně než 10 m^2 , jde-li o 5. nebo 6. skupinu výroby a provozů
- méně než 20 m^2 , jde-li o 7. skupinu výroby a provozů

SOZ musí být dále vybaveny požární úseky s delší dobou evakuace, to je do doby, kdy kouřová vrstva poklese pod hranici 2,5 m nad podlahou (12).

ČSN 73 0831 – Shromažďovací prostory

U specifického provozu, jako jsou shromažďovací prostory, je postupováno dle kmenových norem ČSN 73 0802 a ČSN 73 0804 s odchylkami stanovených touto normou, přičemž odchylky jsou převážně vztaženy k těmto normám.

Zařízení pro odvod kouře a tepla se v požárních úsecích shromažďovacích prostorů navrhuje:

- u shromažďovacích prostorů velikosti do 2SP podle zásad ČSN 73 0802;
- u ostatních shromažďovacích prostorů (tj. velikosti nad 2SP) se navrhuje ZOKT vždy.

V případě instalace více zařízení jako jsou EPS, SHZ, DHZ aj. musí být priorita, koordinace a interakce posouzena podle ČSN 73 0810, přílohy B. Současně lze předpokládat, že důvodem instalace ZOKT je bezpečnost osob a toto zařízení bude mít prioritu při uvedení do činnosti (13).

ČSN 73 0845 – Sklady

Tato norma se zabývá specifickým výrobním prostorem, kde oproti kmenové normě ČSN 73 0804 jsou stanoveny podmínky upřesňující podmínky instalace SOZ.

Požární úseky skladů musí být vybaveny SOZ, které zajišťují odvod tepla a zplodin hoření pod dobu minimálně 15 minut, a to v těch případech, kde je půdorysná plocha větší než 2000 m² u skladů se IV. až VII. skupinou provozů, nebo větší než 3000 m² u skladů s I. až III. skupinou provozů a současně je parametr odvětrání F_o v požárním úseku menší než 0,035 m^{1/2}, nebo při součinnosti SSHZ menší než 0,015 m^{1/2}.

V případě, že je celková skladová výška $h_{sc} \geq 8,0$ m, musí být stabilní odvětrávací zařízení zajištěno nuceným odvětráním.

Pokud je současně skladový prostor běžným prodejním prostorem s výskytem většího počtu osob než 20 m²/osobu, musí být SOZ posouzeno též z hlediska evakuace osob ve vztahu na charakter hořlavých skladovaných materiálů, zejména na korozivní a toxické zplodiny hoření (14).

V únoru 2020 došlo k rozsáhlé změně normových požadavků vydaných Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Zásadní změnu v aplikaci a instalaci ZOKT nově zaznamenaly shromažďovací prostory, kde před aplikací těchto změn nebylo možné projektovat shromažďovací prostory, které měly vyšší výpočtové požární zatížení, větší než 15 kg/m², v případě instalace SSHZ $p_v > 30$ kg/m², přičemž šlo o prostory nejvýše 3 SP/VP1 a 1,5 SP/VP2 nebo VP3, s výjimkou jevišť a předpokládaná výška těchto prostor byla nejméně 4,5 m. V případě, že doba evakuace byla delší než doba zakouření, tak se samočinné odvětrávací zařízení navrhovalo bez ohledu na parametr odvětrání.

Jak můžeme pozorovat, nově není v normových požadavcích stanoven požadavek jak na výškové pásmo shromažďovacího prostoru, tak ani na velikost požárního výpočtového zatížení. Pokud se blíže zaměříme na podmínky evakuace osob, lze nově, i v případě nevyhovujících podmínek, při porovnání doby evakuace a doby zakouření, od instalace tohoto bezpečnostního systému upustit, a to za podmínek uvedených dle normy ČSN 73 0802.

Hlavním účelem této práce bude zhodnocení aplikace této změny a posouzení jejího vlivu na snížení teplotního namáhání konstrukcí a také možnost snížení materiálních škod v požárním úseku shromažďovacího prostoru.

2.4.5 Postup a princip návrhu ZOKT

V této kapitole si přiblížíme metodické postupy, principy a specifikace, pokud se rozhodneme v rámci dané stavby či požárního úseku instalovat stabilní odvětrávací zařízení. Jak již bylo několikrát zmíněno, je toto zařízení zařazeno do vyhrazených požárně bezpečnostních zařízení, u kterých je dle vyhlášky č. 499/2006 Sb. nutné zpracovat návrh a projektovou dokumentaci již v rámci dokumentace pro stavební povolení, tzn. při podání žádosti. Následná dokumentace pro provedení stavby musí obsahovat bližší specifikace a zpřesněný návrh tohoto zařízení, včetně konkrétní instalace požárně bezpečnostního zařízení, popis provozních podmínek, trvalou údržbu aj., což je ve většině případů zpracováno již v rámci dodavatelské dokumentace daného dodavatele požárního odvětrání (9).

Projektová dokumentace SOZ v rámci žádosti o stavební povolení má obsahovat alespoň tyto základní informace:

- Popis funkce objektu, stavební a provozní charakteristiky PÚ s instalací SOZ
- Členění PÚ do kouřových sekcí a stanovení požárního rizika, vč. popisu vybavenosti PBZ
- Obsazenost PÚ osobami a popis evakuace, popis zásahu HZS
- Pravděpodobnostní rozsah požáru a dobu účinnosti SOZ
- Výpočet nuceného větrání jednotlivých kouřových sekcí a polohu odvodu ZOKT
- Polohu akumulární vrstvy a kouřových zábran
- Uvolnění tepla sdíleného prouděním
- Návrh odvětrávacích klapek (aerodynamická plocha a geometrie) nebo ventilátorů (počet a výkon), návrh potrubí a kouřových klapek
- Ovládání SOZ, včetně vazby na ostatní PBZ (SSHZ, EPS aj.)

Z hlediska metodického postupu návrhu ZOKT je postupováno dle ČSN 73 0802 kapitoly H, kde jsou uvedeny hlavní zásady a postup pro navrhování těchto systémů.

Jak již bylo zmíněno v kapitolách výše, je systém odvětrání kouře a tepla navržen vždy na návrhový požární scénář a z něj vyplývající návrhový požár. Na základě návrhového požáru lze popsat průběh teplot a rozvoj požáru v posuzovaném požárním úseku. Pro stanovení návrhového požáru lze postupovat dle kapitoly 3, ČSN EN 1991-1-2 (15).

Pro návrh požárního odvětrání z hlediska jeho účinnosti, je zpravidla rozhodující etapa rozvoje požáru, začínající tepelným výkonem 1 kW. U návrhu požárního odvětrání je nutné stanovení množství uvolněného tepla celkového a z něj stanovit množství uvolňovaného tepla pouze složkou sdíleného prouděním plynů. Z hlediska ČSN 73 0802 je tato hodnota uvažována v rozsahu 0,6 až 0,8 z celkového uvolněného tepla (9).

Celkové množství uvolněného tepla závisí na více parametrech, a to převážně na:

- požárním zatížení a charakteru hořlavých látek, resp. součinitel p v kg/m^2 a součinitel a , nebo na průměrném požárním zatížení,
- době t_v , pro kterou je návrhový požár určován (hodnota je stanovena v těchto případech dobou evakuace či dobou zahájení zásahu jednotek HZS), do této doby se započítává i doba od vzniku požáru do doby zahájení evakuace (nejméně 90 sekund, zpravidla 180 sekund, a to i za předpokladu instalace EPS), tento časový interval je nejméně 5 minut a zpravidla nejvíce 15 minut,
- součinnost ostatních vyhrazených požárně bezpečnostních zařízení, jako například SHZ, popřípadě DHZ apod., tyto zařízení přímo ovlivňují rozsah požáru, množství uvolněného tepla a limitují maximální hodnoty bez ohledu na časový interval.

Množství uvolněného tepla sdílením lze stanovit na základě rovnice:

$$Q_1 = (t_v/k_v)^2 * k_c * 10^3 \quad (\text{kW})$$

kde: k_v parametr vyjadřující dynamiku rozvoje požáru

k_c podíl tepla sdíleného prouděním plynů

Parametr vyjadřující dynamiku rozvoje požáru lze stanovit následujícími vztahy:

- pro nevýrobní objekty posuzované dle ČSN 73 0802 a navazujících norem

$$k_v = 1600/(a * p^{0,5}) \quad (\text{MW}^{-0,5} \text{ s})$$

kde: p požární zatížení

a součinitel vyjadřující rychlost odhořívání z hlediska charakteru hořlavých látek

-
- pro výrobní objekty posuzované dle ČSN 73 0804 a navazujících norem

$$k_v = 1600/(\bar{p}^{0,5}) \quad (\text{MW-0,5 s})$$

kde: \bar{p} průměrné požární zatížení

Celkové množství tepla uvolněného z požáru:

$$Q_c = Q_1/k_c \quad (\text{kW})$$

2.4.6 Návrh přirozeného požárního odvětrání posledního nadzemního podlaží

Nejčastějším případem požárního odvětrání je přirozené SOZ hal či posledních nadzemních podlaží. Zajištění jednotnosti výpočtu a návrhu těchto případů je zajištěno ČSN 73 0802, statí H.5. Uvedené rovnice v této kapitole jsou převzaty z uvedené statě normy a umožňují zjednodušený výpočet požárního odvětrání kouřových sekcí v jednopodlažních objektech nebo obecně v posledním nadzemním podlaží. Klapky na odvod kouře jsou umístěny ve střešním plášti posledního nadzemního podlaží.

V rámci této zmiňované statě lze stanovit přesným metodickým postupem návrh aerodynamických ploch odvodních a přívodních klapek systému přirozeného požárního odvětrání. Prvotními parametry, na kterých závisí funkce přirozeného odvětrání, je rozdíl výšek h_v , která představuje průměrnou výšku horizontální výtokové osy klapky od podlahy kouřové sekce a h_k , která představuje výšku akumulární vrstvy od těchto klapek. Tento rozdíl je vyjádřen rovnicí (9):

$$Y = h_v - h_k \quad (\text{m})$$

Výsledným výpočtem pomocí této metody je stanovení aerodynamické a geometrické plochy odtokových klapek systému ZOKT, dále geometrické plochy přívodních klapek ZOKT a stanovení polohy neutrální osy.

3 Popis modelu a vstupních parametrů

3.1 Úvod

Jak již bylo zmíněno v úvodu, nedílnou součástí této práce je vypracování analýzy vlivu účinku různých způsobů větrání na průběh rozvoje teploty v řešených prostorech a jejich možný vliv na nosné konstrukce objektu. V modelových příkladech bude řešena velkoprostorová stavba halového typu s vysokou světlou výškou prostoru.

3.2 Obecný princip řešeného příkladu

V prostorách staveb klasifikovaných podle požárního kodexu jako shromažďovací prostory, je možné od účinnosti poslední změny normy ČSN 73 0837 čl. 5.1.3. odst. d) pro shromažďovací prostory do velikosti 2SP postupovat s instalací zařízení odvodu tepla podle zásad normy ČSN 73 0802. Dle původního znění normy byla instalace aktivní požární ochrany závislá v těchto částech staveb nejen na velikosti a zatřídění samotného shromažďovacího prostoru, ale současně i na velikosti požárního zatížení prostoru.

Pokud budeme nutnost požárního větrání posuzovat na základě zásad ČSN 73 0802, není nutné instalovat zařízení odvodu tepla a kouře do takto klasifikovaných částí staveb, a to i v případech nevyhovujících podmínek bezpečné evakuace osob z řešeného prostoru. V takovémto případě je možné systém aktivní požární ochrany nahradit tzv. dostatečným přirozeným odvodem zplodin hoření pomocí samočinně otevíravých otvorů podle čl. 6.6.11.

U této změny lze ustanovení normy považovat za vyhovující z hlediska posouzení bezpečné evakuace osob. Pokud se z pohledu tohoto článku zaměříme na rozvoj samotného požáru a na zamezení materiálních škod umístěných v řešeném prostoru či na možných škodách způsobených na objektu samotném, lze konstatovat, že takto zaměnitelné způsoby větrání mohou mít významný vliv na průběh teploty a tím na zatížení konstrukce objektu samotné.

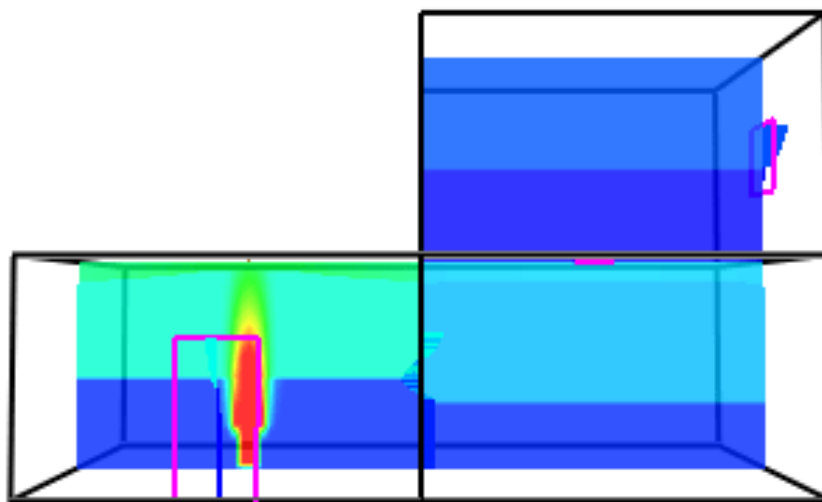
V níže uvedených příkladech se této teorii budeme blíže věnovat a budou představeny možné negativní dopady na stavbu samotnou záměnou těchto odlišných způsobů větrání.

3.3 Použité softwary

Pro potřeby modelových případů k potvrzení teoretické otázky změny rozvoje tepla v řešeném prostoru s různými způsoby větrání bude použit vhodný matematický model.

Matematické zónové modely jsou nejčastěji používanými modely s cílem k předpovědi rozvoje požáru v uzavřených prostorech. Tyto modely jsou založeny na základních diferenciálních rovnicích odvozených z fyzikálních zákonů pro velmi malý počet zón, na které byl prostor rozdělen. Typickým řešením je rozdělení prostoru na dvě zóny, kde první z nich je dolní studená vrstva vzduchu a druhá představuje horní vrstvu, kde jsou kumulovány zplodiny hoření. Rovnice v těchto typech matematických modelů jsou relativně jednoduché, ale pro potřeby řešení této práce jsou dostatečné.

Příklady budou modelovány v programu CFAST (Consolidated Fire And Smoke Transport). CFAST je dvouzónový požární model schopný předpovídat průběh rozvoje teploty a distribuci kouře, včetně plynných produktů spalování na základě předepsaného požáru uživatelem programu. Program CFAST je software poskytován a vyvíjen Národním institutem pro standardy a technologii (označováno zkratkou NIST) amerického ministerstva obchodu. Aktuální verze programu, ve které budou modely modelovány je verze 7.6.0. Pro grafické znázornění modelu je užíván program Smokeview v aktuální verzi 6.7.15.



Obr. 10 - Příklad modelu v programu CFAST

3.4 Metodický postup tvorby modelů

Prioritním účelem této práce je snaha o vytvoření funkčních modelů požáru v halách sloužících pro nevýrobní provozy, na kterých bychom mohli sledovat nejen průběh požáru

v řešených uzavřených prostorech, ale též průběh rozvoje tepla a maximum dosažených teplot, které budou mít negativní vliv na nosné ocelové konstrukce objektu při změně způsobu větrání. Závěrem této práce bude představeno samotné vyhodnocení výsledků těchto modelů a jejich porovnání z hlediska efektivnosti jejich návrhu a snaha o numerické zjednodušení tak, aby byly výsledky aplikovatelné v praxi na podobné typy staveb bez nutnosti zpracování složitějších matematických modelů.

V rámci analýzy těchto metody větrání, je nejprve nutné vybrat vhodné stavby tak, aby výsledky mohly být aplikovány v souladu s řešeným tématem. Pro možnost vyhodnocení výsledků budou v této práci posuzovány dvě samostatné velkoprostorové stavby, přičemž v prvním z případů se bude jednat o smyšlenou stavbu navrženou pouze pro potřeby této práce. V druhém případě bude konstrukční řešení stavby převzato ze skutečného projektu, pouze dojde k drobné úpravě nevyhovujících parametrů (např. účel užívání, změna otevíravých otvorů ve fasádě aj.) tak, aby bylo možné stavbu posuzovat v souladu s touto prací.

Pro oba zvolené příklady je nutné nejprve stanovit a popsat uvažovaný návrhový požární scénář. Poté na tento požární scénář bude následně navržen samotný návrhový požár a vytvořen model požáru s náhodným umístěním v prostoru.

Primárním účelem této práce je posouzení zaměnitelnosti zařízení odvodu tepla a kouře s dostatečným počtem otvorů ve fasádě za předpokladu splnění dostatečné množství samočinně otevíravých otvorů, o dostatečné ploše a výšce. Z tohoto důvodu budou v rámci této práce měněny pouze hodnoty spojené se systémem odvětrání, a to za předpokladu zachování ostatních vstupních hodnot modelu jako konstantních.

3.4.1 Návrhový požární scénář

Pro tvorbu požárního scénáře je nejprve nutné stanovit účel užívání navrhovaných prostor s popisem základních podmínek provozování a užívání stavby tak, aby následně bylo možné zpřesnit model návrhového požáru. Popis scénáře objektu je inspirován provozními podmínkami podobného typu provozu, a to objektem v areálu Výstaviště Praha v Holešovicích.

Z provozního hlediska jsou prostory určeny prioritně pro výstavní a prodejní akce. Předpokládá se, že v prostorech stavby budou v průběhu jejího užívání budovány výstavní stánky s instalací výstavních a prodejních exponátů. Vzhledem k velkému množství možností výstavních či prodejních artiklů, je nutné v rámci samotného návrhu uvažovat s nejnepříznivější variantou.

V souladu s předpisy o požární bezpečnosti je nutné stanovit v provozních podmínkách a manuálech objektů základní podmínky bezpečného provozu. Pokud se stavebník či provozovatel takovéto stavby rozhodne prostory dočasně (například specifickou výstavou či prodejní akcí) užívat v rozporu s těmito podmínkami, je nutné nejprve posoudit takovou změnu odborně způsobilou osobou v oboru požární bezpečnosti a dále stanovit, po dočasnou dobu provizorní opatření tak, aby nebyla ohrožena bezpečnost osob stavbu užívajících, ale též samotné stavby a majetku ve stavbě umístěného.

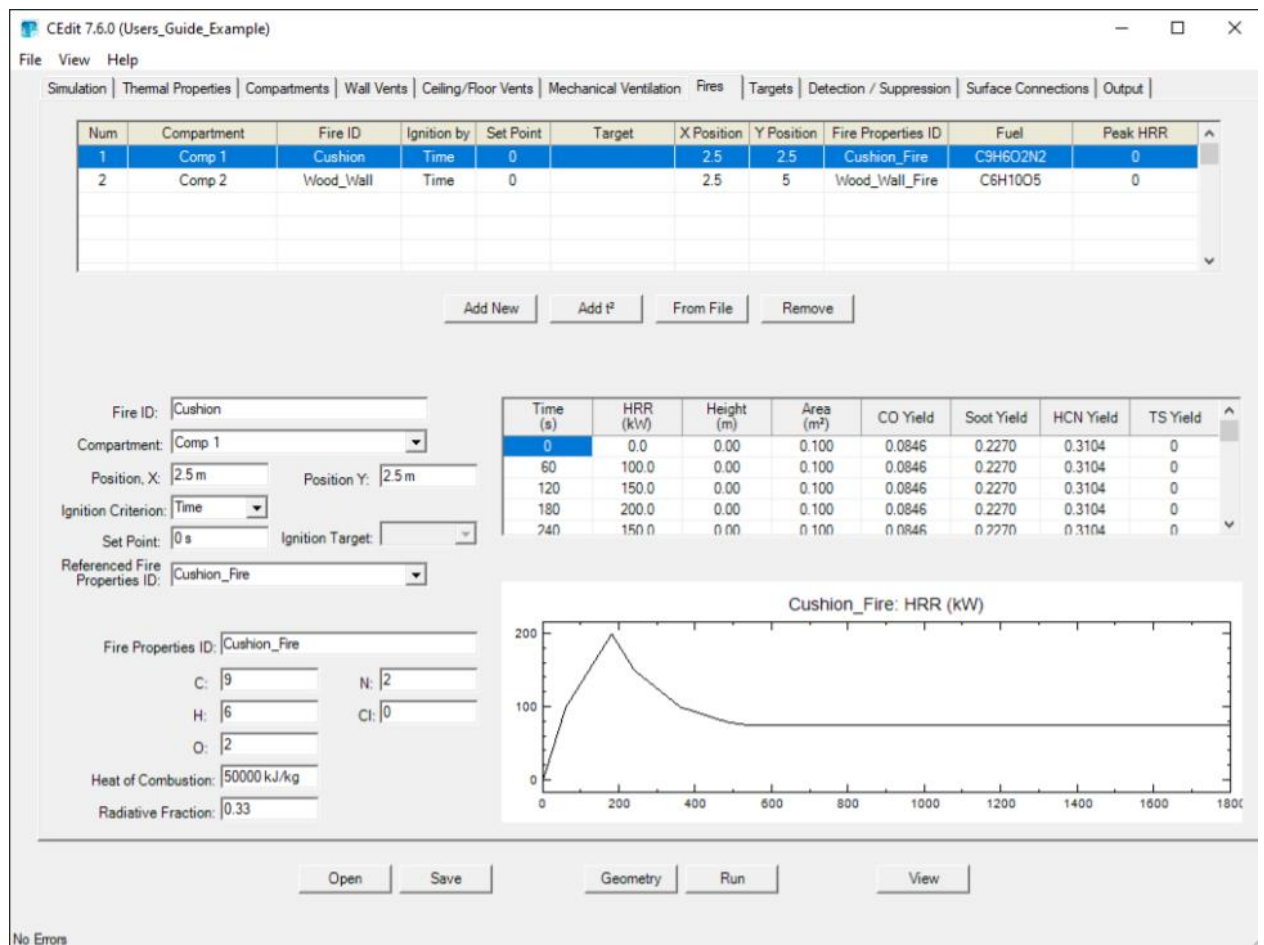
Ve zvoleném příkladu byla vyhodnocena jako nejnepríznivější situace provozu výstava a prodejní akce knih a tiskovin, kde na poměrně malé ploše výstavního stánku dochází k vysoké koncentraci požárního zatížení. V případě požáru by v takovéto situaci nejpravděpodobněji došlo k největší rychlosti rozvoje požáru a k rychlosti uvolňovaného tepla do prostoru haly, v porovnání s ostatním výstavním artiklem povolených provozními podmínkami v této stavbě.

Na základě stanovení provozních podmínek užívání a provozování takovéto stavby je uvažováno, že jednotlivé výstavní stánky nájemců mohou být o maximální půdorysné ploše 16,0 m², přičemž pokud takováto plocha bude pro provozovatele či vystavovatele nevhodná, lze ji zvětšit či zmenšit, ale pouze za předpokladu, že celková výstavní plocha jedné výstavní sekce nebude přesahovat celkovou plochu 144,0 m². Mezi takto dělenými výstavními plochami, bude vždy umístěn volný komunikační koridor, kde se nebudou nacházet žádné hořlavé výrobky a materiály s třídou hořlavosti B až F. Tento volný komunikační prostor bude z hlediska požární bezpečnosti sloužit jako odstupová vzdálenost mezi jednotlivými výstavními sekcemi tak, aby byl zpomalen přestup požáru na okolní výstavní exponáty.

3.4.2 Návrhový požár

Návrhový požár volíme v souladu s navrženým nejnepríznivějším požárním scénářem na základě kapitoly 3.4.1. Vzhledem k tomu, že pro simulace modelu požáru v řešeném prostoru budeme využívat zónový program CFD, je nutné vhodným způsobem stanovit vstupní podmínky.

Základní požárně-technickou charakteristikou pro stanovení průběhu požáru a hlavní vstupní údaj pro zvolený matematický model je hodnota rychlosti uvolňování tepla (dále značen jako HRR) viz Obr. 11. Významnou předností této hodnoty je fakt, že tato charakteristika neuvádí pouze celkové množství uvolněného tepla z požáru, ale vyjadřuje též hodnoty v průběhu času, a to ve všech fázích požáru.



Obr. 11 - Vstupní charakteristika HRR pro model v programu CFD

V našem případě vzhledem k variabilitě výstavby a rozmístění jednotlivých expozic, nelze dohledat předešlé zkoušky či experimenty, kde by byly naměřeny relevantní hodnoty rychlosti uvolňování tepla pro potřeby uvedeného příkladu. Pro simulaci průběhu požáru na základě popisu požárního scénáře a pro stanovení hodnoty rychlosti uvolňování tepla budeme využívat křivku t-kvadratického požáru v souladu s ČSN EN 1992-1-2.

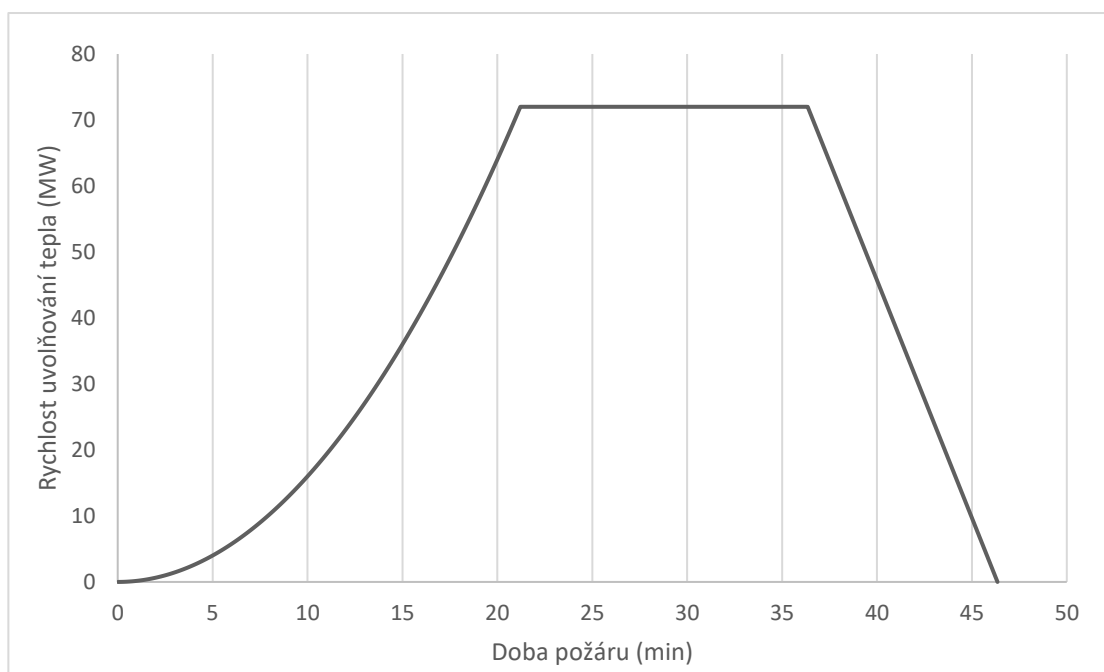
U t-kvadratického požáru pro zvolené případy musíme nejprve stanovit návrhovou hustotu požárního zatížení. Dle ČSN EN 1992-1-2 lze tuto hodnotu stanovit podle klasifikace provozu či speciálně provedením rozboru požárního zatížení. Vzhledem k popisu v námi zvoleném požárním scénáři, je hodnota stanovena na základě zatřídění provozu. Zvoleným provozem je v tomto případě knihovna, pro kterou dle ČSN EN 1992-1-2 v tabulce E.4 můžeme dohledat průměrnou charakteristickou hodnotu požárního zatížení $q_{f,k} = 1\,500 \text{ MJ/m}^2$.

Návrhová hodnota hustoty požárního zatížení je stanovena výpočtem po započtení zohledňující velikost požárního úseku, vliv druhu provozu a vliv aktivních protipožárních opatření.

Jako aktivní protipožární zařízení jsou hodnoceny pouze samočinné kouřové hlásiče EPS včetně zařízení dálkového přenosu poplachu k požární jednotce HZS. Návrhová hodnota hustoty požárního zatížení je na základě těchto vstupních údajů stanovena na $q_{f,d} = 952,65 \text{ MJ/m}^2$.

Dalšími dílčími parametry pro stanovení t-kvadratického požáru je maximální rychlost uvolněného tepla pro zvolený provoz a maximální plocha úseku zasažená požárem. Na základě popisu požárního scénáře lze maximální plochu zasaženou požárem stanovit na jednu výstavní sekci o ploše 144 m^2 , přičemž v tomto případě bude zanedbána možnost přestupu požáru na sousední výstavní sekce. Maximální rychlost uvolňování tepla produkovaného na jednotku plochy od požáru řízeného palivem je převzato z tabulky E.5 v ČSN EN 1992-1-2, kde RHR_{f2} pro prostory knihoven je rovna 500 kW/m^2 a rychlost rozvoje požáru $t_{\infty} = 150$ sekundám.

Na základě takto stanovených vstupních parametrů je zkonstruována křivka požáru, znázorňující rychlost uvolňování tepla v průběhu všech fází požáru viz Obr. 12 podle navrženého požárního scénáře.



Obr. 12 - Rychlost uvolňování tepla podle stanoveného požárního scénáře

3.4.3 Popis konstrukčního řešení objektů

3.4.3.1 Konstrukční řešení – hala A

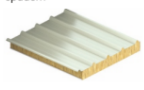
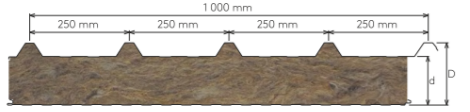
Prvním z řešených modelových příkladů je zvolena velkoprostorová stavba haly o půdorysné ploše vnitřních prostor 20,0 x 40,0 m se světlou výškou místnosti 6,0 m.

Nosná svislá konstrukce objektu je tvořena válcovanými nosníky. Vodorovná nosná konstrukce střechy je z ocelových příhradových vazníků. Na příhradové vazníky kolmo navazuje válcovaný nosník typu I, který tvoří ztužení objektu a podpůrné konstrukce pro skladbu střešního pláště. Obvodový plášť tvoří systémové opláštění izolačními sendvičovými panely od vybraného výrobce KINGSPAN. Stěnové panely byly zvoleny typu KS1000/1150 FR tloušťky 150 mm viz Obr. 13. Střešní plášť tvoří panely KS1000 FF viz Obr. 14, **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** taktéž tloušťky 150 mm od totožného výrobce. Podlaha v celém prostoru stavby je navržena jako drátkobetonová deska tloušťky 180 mm z betonu C20/25 s povrchovou úpravou zaleštěním se vsypem.

Ve střešním plášti není uvažováno s umístěním prosvětlovacích pásů ani světlovodů, s výjimkou prvků sloužících pro systém požárního větrání. Vzhledem k potřebám tohoto projektu, není nutné dále tento objekt z hlediska konstrukčního řešení blíže specifikovat.

STĚNOVÉ PANELE: Izolační jádro Z MINERÁLNÍ VLNY K-Roc® – přiznané kotevní prvky												
KS1000/1150 FR/LR	třída reakce na oheň: A2-s1, d0 modul: 1000 mm, 1150 mm délka: od 2 do 10 m (max. 14,2 m)	tloušťka panelu [mm]	součinitel prostupu tepla ²⁾ U [W/m²K]	Požární odolnost stěnových panelů, obvodové stěny a vnitřní příčky ³⁾ (podle ČSN EN 15254-5:2019 a ČSN 730810:2016)						Požární odolnost podhledy	R _w ⁴⁾ [dB]	Hmotnost [kg/m²]
				Horizontálně			Vertikálně					
				4 m	6 m	7,5 m	4 m	6 m	7,5 m			
Obvodové stěny, příčky, podhledy • požární odolnost • nehořlavé DP1 • statická únosnost (LR) LR - panely s vyšší statickou únosností (dostupné v tl. 100, 120, 150 mm)	 vnější profilace – plech 0,6 mm: M (micro), Q (minibox), B (box), *F (hladká) vnitřní profilace – plech 0,5 mm: Q (minibox), B (box)	60	0,68	N	N	N	EW 30 DP1 EI 30 DP1	EW 20 DP1 EI 20 DP1	N	31 (-1;-3)	16,97	
		80	0,52	EW 30 DP1 EI 30 DP1 max 5 m	EW 30 DP1 EI 20 DP1		EW 30 DP1 EI 30 DP1	EW 60 DP1 EI 20 DP1				18,18
		100	0,41	EW 120 DP1 EI 60 DP1	EW 90 DP1 EI 60 DP1	EW 90 DP1 EI 45 DP1	EW 90 DP1 EI 90 DP1	EW 60 DP1 EI 60 DP1	EW 60 DP1 EI 20 DP1	EI 30 – 4,4 m EI 60 – 2,7 m (a–b)	32 (-1;-3)	20,78 21,77
		120	0,35	EW 120 DP1 EI 90 DP1	EW 90 DP1 EI 60 DP1	EW 90 DP1 EI 60 DP1	EW 120 DP1 EI 90 DP1	EW 90 DP1 EI 60 DP1	EW 60 DP1 EI 60 DP1			22,98 24,77
		150	0,28	EW 120 DP1 EI 120 DP1	EW 90 DP1 EI 90 DP1		EW 180 DP1 EI 180 DP1	EW 120 DP1 EI 120 DP1		EI 60 DP1 2,0 m (a–b)	32 (0;-3)	26,28 27,77

Obr. 13 - Stěnový panel KINGSPAN KS1000/1150 FR

STŘEŠNÍ PANELE: Izolační jádro Z MINERÁLNÍ VLNY K-Roc® – šikmé střechy s plechovou krytinou										
KS1000 FF	třída reakce na oheň: A2-s1, d0 modul: 1000 mm délka: od 2 do 10 m (d = 80–200 mm), od 2 do 7 m (d = 60 mm)	min. spád střechy ⁵⁾	tloušťka panelu d [mm]	součinitel prostupu tepla ²⁾ U [W/m²K]	Požární odolnost střešních panelů ⁷⁾ expozice ze spodní strany	Hodnocení střešních panelů při působení vnějšího požáru ²⁾	R _w ⁴⁾ [dB]	Hmotnost [kg/m²]		
									mineralní vlna	
									4 m	6 m
Šikmé střechy s mírným spádem  *platí pouze pro výrobu v PL	vnější plech 0,6 mm: trapez o 4 vlnách, *podřez 20–250 mm  vnitřní profilace – plech 0,5 mm: Q (minibox) D = d + 34 mm	5° (8,5 %)	60	0,67	N	B _{ins} (13)	31 (-1;-3)	17,51		
			80	0,52	REI 90 DP1 RE 120 DP1		31 (-1;-2)	19,91		
			100	0,41			32 (-1;-3)	21,32		
			120	0,34	REI 120 DP1	33 (-1;-3)	23,52			
			150	0,28		33 (-1;-3)	26,82			
			175	0,25	REI 90 DP1	33 (-1;-4)	31,27			
	200	0,22		33 (-1;-4)	34,27					

Obr. 14 - Střešní panel KINGSPAN KS1000FF

3.4.3.2 Konstrukční řešení – hala B

Jako druhý případový model je zvolena stavba haly umístěné v katastrálním území Havraň, v průmyslové zóně Joseph nedaleko města Most. Hala dle zadávací dokumentace, slouží pro výrobu a skladování. Součástí této haly je též administrativní vestavba, která bude sloužit k provozu haly.

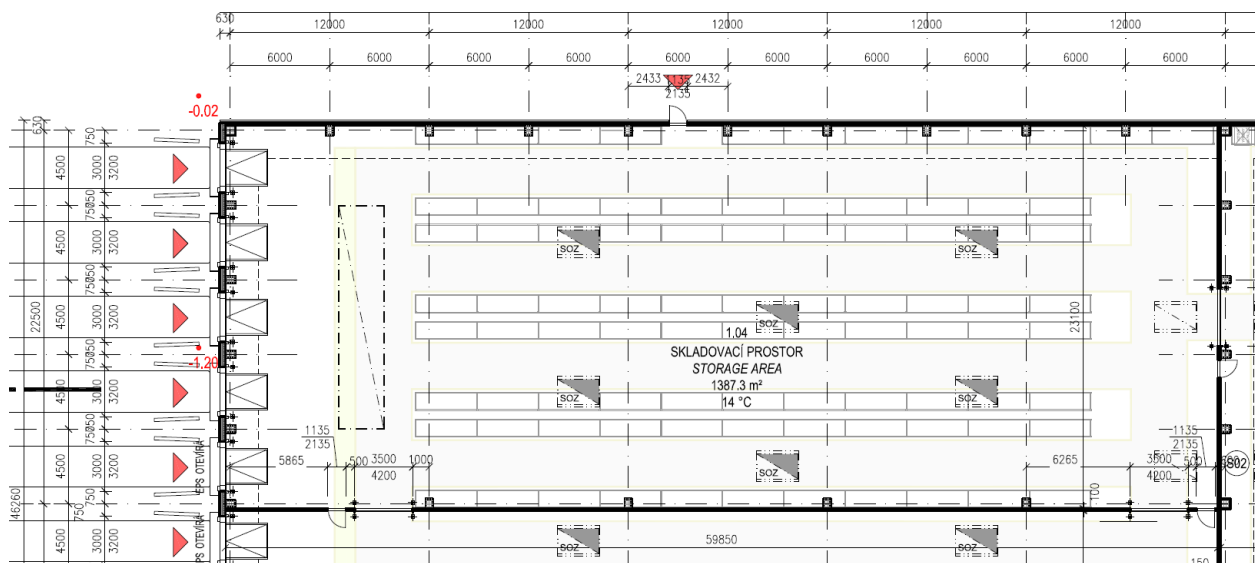
Vzhledem k tomu, že tato stavba neslouží z hlediska svého účelu pro potřeby této práce, je vytvořen též smyšlený modelový příklad, kdy část haly bude z hlediska svého provozu změněna na účel užívání v souladu s požárním scénářem. Tento prostor bude sloužit jako nájemní plocha k vystavování a prodeji různého sortimentu. Objekt je obdélníkového tvaru o půdorysných rozměrech 169,3 x 46,3 m se světlou výškou 11,74 m.

Svislá nosná konstrukce haly je navržena z několika druhů železobetonových prefabrikovaných sloupů. Svislé nosné konstrukce jsou rozmístěny v rastru násobku max. 6,0 m v podélném směru a v rastru max. 4,5 m ve směru příčném. Zastřešení haly je navrženo jako plochá střecha tvořena trapézovým plechem TR 135/0,75. Trapézový plech je uvažován jako spojitý nosník na rozpon max. 6,0 m. Hlavní nosnou konstrukci střechy tvoří ocelový příhradový vazník v podélném a příčném směru. Výška příčného ocelového vazníku se od místa uložení na obvodových sloupech směrem ke středu objektu zvyšuje o spád ploché střechy, který je navržen na spád 2 %. Vazníky v podélném směru mají konstantní výšku po celé své délce. Příhradové vazníky jsou navrženy ze svařovaných, eventuelně z válcovaných profilů dle požadavků statického návrhu. Opláštění objektu je řešeno skládaným panelovým systémem. Panely s jádrem z minerální vlny tloušťky 150 mm, například KINSPAN jako v předchozí variantě modelového příkladu. Podlaha v rámci celého prostoru je navržena shodně jako u haly A v první variantě.

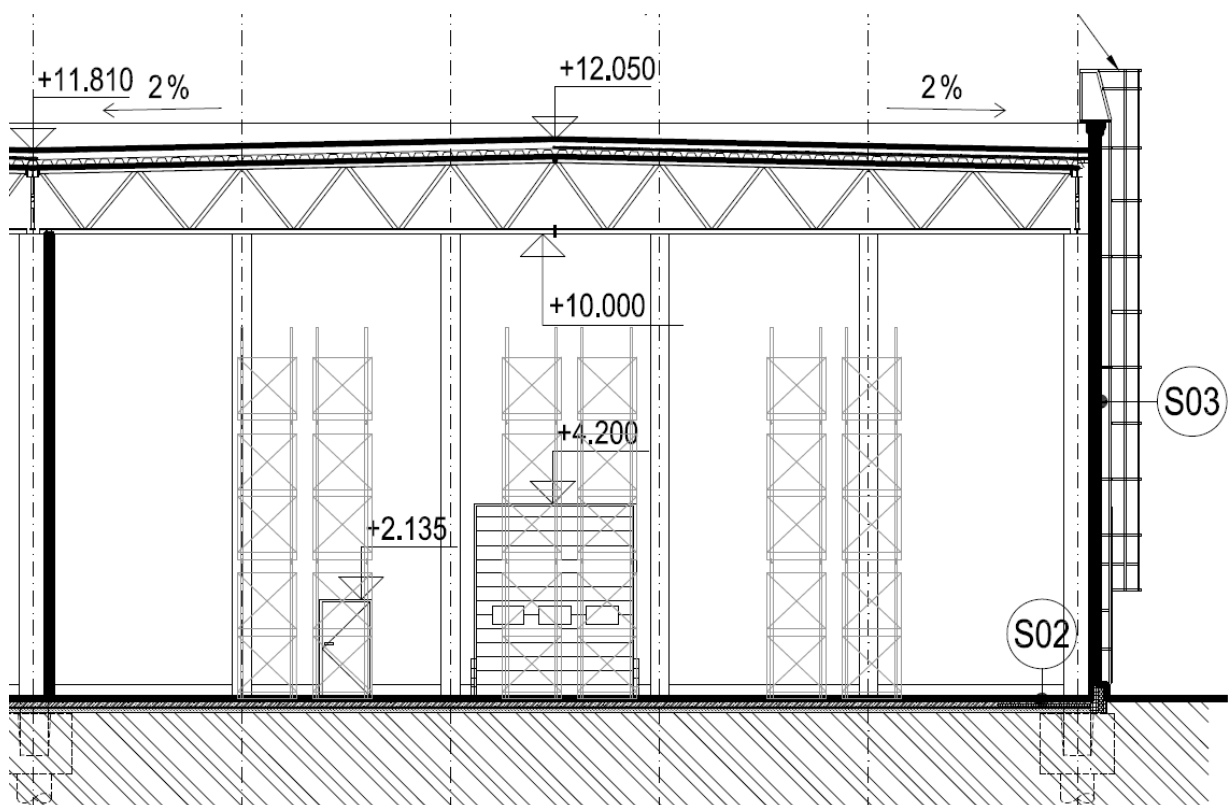
Vzhledem k tomu, že půdorysný rozměr haly je diametrálně odlišný od první řešené varianty, bude v rámci tohoto modelu řešena pouze jedna místnost (místnosti 1.04), kterou lze z hlediska statiky objektu od ostatních prostor bez zásadního dopadu na projekt oddělit viz Obr. 15. Na tuto zvolenou část objektu bude v rámci tohoto modelu pohlíženo tak, jako by tvořila samostatný objekt.

Touto úpravou dojde ke snížení celkové plochy posuzovaného objektu. Nově se bude jednat o půdorysný rozměr navrženého prostoru 22,5 x 60 m. Světlá výška haly bude zachována dle původního řešení.

Stavba byla pro tuto analýzu vybrána záměrně, a to z důvodu ověření vlivu světlé výšky na posuzovaný příklad. Hala A je oproti hale B navržena s poloviční světlou výškou místnosti.



Obr. 15 - Půdorys haly B



Obr. 16 - Řez halou B

3.4.4 Posouzení požární bezpečnosti

Součástí této kapitoly je posouzení navržených parametrů modelových příkladů z hlediska požární bezpečnosti. Užití záměny způsobu větrání požárního úseku se vztahuje, jak již bylo zmíněno, na shromažďovací prostory, které splňují požadavky dle ČSN 73 0831 článek 5.1.3 odstavec d). V případě splnění podmínky uvedené výše, je nutné zohlednit i nutnost instalace odvodu tepla a kouře dle ustanovení ČSN 73 0802. Z těchto důvodů je nutné u modelových objektů posoudit a porovnat dobu evakuace a dobu zakouření. V následujících podkapitolách bude ověřena vhodnost aplikace navržených staveb na řešenou problematiku tohoto projektu.

3.4.4.1 Stanovení obsazenosti objektu a stanovení velikosti SP

Množství osob v řešeném prostoru je posouzeno v souladu s ČSN 73 0818, přičemž pro maximální počty osob budou zohledněny i požadavky stavebníka na maximální možnou kapacitu osob.

HALA A

Podlahová plocha požárního úseku = 800 m²

Půdorysná plocha v m² na 1 osobu ve veletržních prostorech:

- na prvních 50 m² = 50/1,5 = 33,33 osob
- od 50 m² do 500 m² = 450/3 = 150 osob
- od 500 m² do 1500 m² = 300/5 = 60 osob

Celkový normový počet osob pro takto navržený prostor je stanoven na 244 osob.

Požadavek stavebníka a hlavního projektanta stavby v souladu s provozním řádem objektu je stanoven maximální počet osob odchylně od výpočtové hodnoty, a to na 580 osob. V souvislosti s tím, že tato hodnota je již dvojnásobná oproti výpočtovému návrhu, není již přihlíženo k požadavku ČSN 73 0818, kdy počet projektovaných osob je nutno navyšovat podle čl. 4.1 odstavec c).

Na základě stanoveného počtu osob lze dle ČSN 73 0831 navržený prostor klasifikovat jako shromažďovací. Shromažďovací prostor je zařazen do výškového pásma VP 1. Velikost shromažďovacího prostoru je v souladu s ČSN 73 0831 tabulkou A.1 stanovena na 2SP.

HALA B

Podlahová plocha požárního úseku = 1350 m²

Půdorysná plocha v m² na 1 osobu ve veletržních prostorech:

- na prvních 50 m² = 50/1,5 = 33,33 osob
- od 50 m² do 500 m² = 450/3 = 150 osob
- od 500 m² do 1500 m² = 850/5 = 170 osob

Celkový normový počet osob pro takto navržený prostor je stanoven na 354 osob.

Požadavek stavebníka a hlavního projektanta stavby v souladu s provozním řádem objektu je stanoven maximální počet osob odchylně od výpočtové hodnoty, a to na 580 osob. V souvislosti s tím, že tato hodnota je již dvojnásobná oproti výpočtovému návrhu, není již přihlíženo k požadavku ČSN 73 0818, kdy počet projektovaných osob je nutno navyšovat podle čl. 4.1 odstavec c).

Na základě stanoveného počtu osob lze dle ČSN 73 0831 navržený prostor navrhovat jako shromažďovací. Shromažďovací prostor je zařazen do výškového pásma VP 1. Velikost shromažďovacího prostoru je v souladu s ČSN 73 0831 tabulkou A.1 stanovena na 2SP.

3.4.4.2 Zhodnocení evakuace osob

Zařízením pro odvod tepla a kouře musí být dle ČSN 73 0802 vybaveny požární úseky s požárním rizikem, ve kterých je doba evakuace delší než doba zakouření řešeného prostoru a současně se jedná o prostor, kde se nachází více než 150 osob, přičemž polohová výška nadzemního podlaží je menší než 45 m.

V souvislosti s tímto požadavkem je nutné ověřit, zda se v navržených prostorech jedná právě o tyto úseky a je nutností navrhovat samotný systém zařízení odvodu tepla a kouře, či jeho možnou záměnu.

V hale nejprve budeme ověřovat minimální množství nechráněných únikových cest. Následně posoudíme jejich mezní délku a jejich dostatečné množství. Obě z řešených hal jsou z hlediska provozu zatříděny jako výstavní prostory pro případný prodej ze stánků či kójí, kde dle ČSN 73 0802 položka 6.2.1 c) v tabulce A.1) je uvedena návrhová rychlost odhořívání $a = 1,1$. Stálé zatížení je uvažováno 0,0 kg/m².

Dále je nutné stanovit součinitel zahrnující aktivní požární ochranu a opatření. Vzhledem k řešenému tématu a posouzení jednotlivých hal při různých způsobech větrání, je vliv od případného zařízení pro odvod tepla a kouře pro toto posouzení zanedbán a je uvažována pouze instalace systému EPS se ZDP. Na základě těchto vstupních údajů je koeficient zohledňující tato zařízení a opatření navržen dle ČSN 73 0802 čl. 6.6.3 tabulka 2.

Pro každý z řešených příkladů je uvedeno posouzení samostatně.

HALA A

Posouzení mezní délky nechráněné únikové cesty

Součinitel a	= 1,1
Součinitel c	= 0,8
Možnost užití jedné únikové cesty	= nelze dle ČSN 73 0802 čl. 9.9.2 tabulka 17
Mezní normová délka NÚC	= 35 m
Skutečná délka NÚC	= 20,62 m

Posouzení mezní šířky nechráněné únikové cesty

Počet evakuovaných osob	= 580 osob
Počet evakuovaných osob v jednom pruhu	= 62 osob
(hodnota evakuovaných osob byla snížena o 25 % dle čl. 9.11.5)	
Součinitel s	= 1,0
Nejmenší počet únikových pruhů	= 9,5 únikového pruhu

Z řešeného prostoru byly jako únikové východy navrženy dvoukřídlé ocelové dveře s průchozí šířkou 1,8 m. Na základě splnění požadovaného minimálního počtu únikových pruhů pro zajištění bezpečné evakuace osob jsou do těchto prostor navrženy 3 ks dveřních otvorů o rozměru 1,8 x 2,6 m.

Posouzení doby evakuace

$$t_u = \frac{0,75 \cdot 20,62}{14,7} + \frac{580 \cdot 1,0}{26,68 \cdot 9,5} = 1,052 + 2,288 = 3,34 \text{ min} = 3 \text{ min a } 20 \text{ sekund}$$

$$v = 84 \cdot (1 - 0,25 \cdot D) = 84 \cdot (1 - 0,25 \cdot 3,3) = 14,7 \text{ m/min}$$

$$K_u = (14,7 \cdot 3,3) \cdot 0,55 = 26,68 \text{ osob/min/jeden únikový pruh}$$

Posouzení doby zakouření

$$t'_e = \frac{1,25 \cdot \sqrt{6}}{1,15 \cdot 0,8} = 3,328 \text{ min} = 3 \text{ minuty a } 19 \text{ sekund}$$

Na základě posouzení navrženého požárního úseku lze konstatovat, že dle návrhových norem je nutné do prostoru instalovat aktivní požární ochranu ZOKT, popřípadě tento systém nahradit systémem samočinně otevíravých otvorů či otvory trvale otevřenými tak, aby nebyl omezen přirozený odvod zplodin hoření.

HALA B

Posouzení mezní délky nechráněné únikové cesty

Součinitel a	= 1,11
Součinitel c	= 0,8
Možnost užití jedné únikové cesty	= nelze dle ČSN 73 0802 čl. 9.9.2 tabulka 17
Mezní normová délka NÚC	= 35 m
Skutečná délka NÚC	= 23,3 m

Posouzení mezní šířky nechráněné únikové cesty

Počet evakuovaných osob	= 580 osob
Počet evakuovaných osob v jednom pruhu	= 82,5 osob
Součinitel s	= 1,0
Nejmenší počet únikových pruhů	= 7,5 únikového pruhu

Z řešeného prostoru byly jako únikové východy navrženy jednokřídlé ocelové dveře s průchozí šířkou 1,1 m. Na základě splnění požadovaného minimálního počtu únikových pruhů pro zajištění bezpečné evakuace osob jsou do těchto prostor navrženy 4 ks dveřních otvorů o rozměru 1,1 x 2,6 m.

Posouzení doby evakuace

$$t_u = \frac{0,75 \cdot 23,3}{14,7} + \frac{580 \cdot 1,0}{26,68 \cdot 7,5} = 1,189 + 2,899 = 4,09 \text{ min} = 4 \text{ min a } 5 \text{ sekund}$$

$$v = 84 \cdot (1 - 0,25 \cdot D) = 84 \cdot (1 - 0,25 \cdot 3,3) = 14,7 \text{ m/min}$$

$$K_u = (14,7 \cdot 3,3) \cdot 0,55 = 26,68 \text{ osob/min/jeden únikový pruh}$$

Posouzení doby zakouření

$$t'_e = \frac{1,25 \cdot \sqrt{11,739}}{1,15 \cdot 0,8} = 4,655 \text{ min} = 3 \text{ minuty a 7 sekund}$$

Při posouzení nutnosti instalace zařízení pro odvod tepla a kouře do navrženého prostoru bylo zjištěno, že doba evakuace je kratší než doba zakouření a v takto navrženém prostoru by samotný systém ZOTK nebylo nutné instalovat.

Pro potřeby této práce je možné zanedbat účinnost elektrické požární signalizace, respektive součinitel zahrnující její účinek, například za předpokladu, že objekt nebude vybaven buď trvalou ostrahou a současně nebude napojen na zařízení dálkového přenosu poplachu k požární jednotce. Za takto stanovených podmínek, bude systém EPS sloužit pouze k ovládání požárně bezpečnostních zařízení, ale do výpočtu součinitel jej zahrnovat nelze.

Po započtení této úpravy do výpočtů dojde ke změně doby zakouření, která pro upravené zadání vychází na 3 minuty a 43 sekund, přičemž takto je splněn požadavek na instalaci systému ZOTK, popřípadě je tento systém možné nahradit systémem samočinně otevíravých otvorů.

3.4.5 Návrh zařízení pro odvod tepla a kouře

Po ověření obou navrhovaných požárních úseků, je možné konstatovat, že stavby takto volené jsou vyhovující pro aplikaci řešené problematiky.

Pro tvorbu modelů je v první řadě potřeba navrhnout zařízení odvodu tepla a kouře a následně množství samočinně otevíravých otvorů pro zajištění přirozeného odvětrání. Zařízení odvodu tepla a kouře je pro haly navržen systémem přirozeného odvodu zplodin hoření.

Systém ZOTK je navržen v souladu s ČSN 73 0802 a dále ČSN 73 0810. Samotný návrh je proveden zjednodušeným výpočtem pro přirozené požární odvětrání kouřových sekcí v jednopodlažních objektech dle postupu uvedeného v příloze H kapitoly 5.

Odvětrání je navrženo pomocí střešních klapek aktivovaných systémem EPS, přičemž otevření klapek je zajištěno a řízeno poplachovou 24 V centrálou. Centrála obsahuje vedle řídicí techniky i záložní zdroj energie. Samotné otevření střešních klapek je zajištěno elektronicky. Jako přívod vzduchu budou sloužit sekční vrata umístěná v obvodovém plášti objektu.

Jak již bylo uvedeno v rámci teoretické části této práce je nutné pro obě zvolené stavby stanovit výšku kouřové vrstvy tzv. akumulární vrstvy kouře, přičemž tato výška by se měla dle ČSN 73 0802 čl. H.1.4.2 pohybovat pro zvolené provozy v rozmezí 0,2 – 0,5 světlé výšky řešeného

prostoru, respektive výšky od podlahy, popřípadě úrovně nahodilého zatížení k ose odvodních klapek. V souvislosti s tímto návrhem je nutné dbát též na minimální výšku či následně výpočtovou teplotu plynu v kouřové vrstvě, aby byl systém přirozeného odvodu tepla a kouře funkční.

Výška akumulární vrstvy pro halu A je navržena na $h_k = 2,5$ m a pro halu B na $h_k = 4,5$ m. Spodní úroveň kouřové zábrany bude na základě tohoto návrhu a započtení minimální hodnoty pro snížení zábrany pod uvažovanou hranici kouřové vrstvy o 0,1 m.

Dalším ze vstupních údajů pro návrh je plocha jednotlivých kouřových sekcí. Pro návrh přirozeného odvodu tepla a kouře by se měla tato plocha pohybovat v rozmezích uvedených v čl. H.1.4.3, ČSN 73 0802. V tomto případě jsou obě haly rozděleny na 2 samostatné kouřové sekce, které jsou vzájemně odděleny pevnou kouřovou zábranou tvořenou sádkartonovou svěšenou dělicí stěnou.

Návrh ZOTK s přirozeným odvodem zplodin hoření – Hala A

- *Základní parametry požárního úseku*

S	$= 800 \text{ m}^2$	plocha požárního úseku
h_v	$= 6,0 \text{ m}$	výška od podlahy k ose kouřové klapky
h_k	$= 2,5 \text{ m}$	výška akumulární vrstvy
A_k	$= 400 \text{ m}^2$	plocha kouřové sekce, celkem 2 samostatné sekce

- *Stanovení prostoru bez kouře*

$$Y = h_v - h_k$$

$$Y = 6,0 - 2,5$$

$$Y = 3,5 \text{ m}$$

- *Stanovení maximální kritické teploty sdílené prouděním*

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

$$Q_{1 \max} = 900 * 3,5^{5/2}$$

$$Q_{1 \max} = 20 625,89 \text{ kW}$$

-
- *Stanovení množství uvolněného tepla sdíleného prouděním*

$$Q_1 = (t_v/k_v)^2 * k_c * 10^3$$

$$k_v = 1600 / (a * p^{0,5}) \quad \text{pro zjednodušení výpočtu je v rámci návrhu požární výpočtové zatížení nahrazeno zatížením nahodilým}$$

$$k_v = 1600 / (1,1 * 80^{0,5})$$

$$k_v = 162,62 \text{ MW}^{0,5} \text{ s}$$

$$Q_1 = (900/162,62)^2 * 0,6 * 10^3$$

$$Q_1 = 18\,377,6 \text{ kW}$$

- *Stanovení celkového množství uvolněného tepla*

$$Q_c = Q_1 / k_c$$

$$Q_c = 18\,377,6 / 0,6$$

$$Q_c = 30\,562,7 \text{ kW}$$

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

- *Stanovení aerodynamické plochy odtokových klapek*

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

$$A_{av} = 0,0122 * Q_1^{3/5} * Y * h_k^{-1/2}$$

$$A_{av} = 0,0122 * 18377,6^{3/5} * 3,5 * 2,5^{-1/2}$$

$$A_{av} = 9,77 \text{ m}^2$$

Vzhledem k tomu, že navrhovaný úsek je shromažďovacím prostorem, je aerodynamická plocha zvětšena proti výpočtu o bezpečnostní součinitel k_s zohledňující rozvržení prostoru na kouřové sekce a výšku kouřové sekce samotnou.

$$k_s = [A_k^{1/2} / (2,5h_v)]^{1/3}$$

$$k_s = [400^{1/2} / (2,5 * 6)]^{1/3}$$

$$k_s = 1,100$$

Výpočet úpravy navrhované aerodynamické plochy odvodních klappek.

$$A_{av} = 9,77 * 1,100$$

$$A_{av} = 10,747 \text{ m}^2$$

- *Stanovení přiváděného množství plynů v akumulární vrstvě*

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

$$M_{f'} = 0,034 * Y * Q_1^{3/5}$$

$$M_{f'} = 0,034 * 3,5 * 18377,6^{3/5}$$

$$M_{f'} = 43,06 \text{ kg/s}$$

- *Stanovení průměrné teploty plynů v akumulární vrstvě*

$$T_g = \frac{Q_1}{M_{f'} * c_p} + T_0$$

$$T_g = \frac{18\,377,6}{43,06 * 1} + 20$$

$$T_g = 446,79 \text{ }^\circ\text{C}$$

- *Objemové množství odváděných plynů z akumulární vrstvy*

$$V_v = M_{f'} / \rho_g$$

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

$$\rho_g = 353 / (446,79 + 273)$$

$$\rho_g = 0,49 \text{ kg/m}^3$$

$$V_v = 43,06 / 0,49$$

$$V_v = 87,88 \text{ m}^2/\text{s}$$

- *Rychlost odváděných plynů*

$$v_v = V_v / A_{av}$$

$$v_v = 87,88 / 10,747$$

$$v_v = 8,18 \text{ m/s}$$

-
- *Stanovení vztlaku u výtoku plynu z klapky*

$$\Delta p_v = v_v^2 * \rho_g / 2$$

$$\Delta p_v = 8,18^2 * 0,49 / 2$$

$$\Delta p_v = 16,39 \text{ Pa}$$

- *Stanovení objemového množství přiváděného vzduchu*

$$V_n = V_v * (\theta_0 / \theta_g)$$

$$V_n = 87,88 * (293 / 719,79)$$

$$V_n = 35,77 \text{ m}^3/\text{s}$$

- *Stanovení tlakového rozdílu v posuzované kouřové sekci*

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

$$h'_v = h_v - h_0 / 2$$

$$h'_v = 6 - 1,5 / 2$$

$$h'_v = 5,25 \text{ m}$$

$$\Delta p = 3460 * (293^{-1} - 719,79^{-1}) * 5,25$$

$$\Delta p = 36,73 \text{ Pa}$$

- *Stanovení tlakových poměrů v přívodním otvoru vzduchu*

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

$$\Delta p_n = 36,73 - 16,39$$

$$\Delta p_n = 20,34 \text{ Pa}$$

- *Stanovení rychlosti přítoku vzduchu v přívodním otvoru*

$$v'_v = (2 * \Delta p_n / \sigma_0)^{1/2}$$

$$v'_v = (2 * 20,34 / 1,204)^{1/2}$$

$$v'_v = 5,81 \text{ m/s}$$

-
- *Stanovení geometrické plochy přívodních otvorů*

$$A_{gn} = V_n / (v_n' * C_n)$$

$$A_{gn} = 35,77 / (5,81 * 0,5)$$

$$A_{gn} = 12,31 \text{ m}^2$$

Před stanovením polohy neutrální roviny provedeme návrh odvodních a přívodních klapek zařízení odvodu tepla a kouře. Vzhledem k tomu, že při návrhu těchto otvorů musíme zohlednit výrobní možnosti jednotlivých výrobců, po výběru již konkrétních výrobků upravíme výpočetní parametry, kde do výpočtu vstupují plochy navrhovaných otvorů.

Výpočtem byla navržena aerodynamická plocha všech odvodních klapek systému ZOTK v jedné kouřové sekci na 10,747 m². Vzhledem k výrobním možnostem je zvolen výrobek fumilux® 4000 EAZ o rozměru 125 x 250 cm. U tohoto produktu je výrobcem uvedena aerodynamická průtoková plocha A_a = 2,22 m². Každá kouřová sekce bude vybavena 5 ks těchto odvodních klapek. Celková aerodynamická plocha odvodních klapek zvoleného výrobku je 11,10 m².

Přívodní otvory vzduchu budou tvořit sekční vrata sloužící k zásobování objektu či transportu výstavních exponátů. Sekční průmyslová vrata jsou navržena o rozměru 3,5 x 3,0 m. Požadovaná plocha přívodního otvoru vzduchu je v souladu s výpočtem 12,31 m². Geometrická plocha vrat je 10,5 m². Každá kouřová sekce bude vybavena dvěma těmito otvory.

- *Rychlost odváděných plynů*

$$v_v = V_v / A_{av}$$

$$v_v = 84,43 / 11,1$$

$$v_v = 7,61 \text{ m/s}$$

- *Stanovení vztlaku u výtoku plynu z klapek*

$$\Delta p_v = v_v^2 * \rho_g / 2$$

$$\Delta p_v = 7,61^2 * 0,51 / 2$$

$$\Delta p_v = 14,77 \text{ Pa}$$

-
- *Stanovení rychlosti přiváděného vzduchu*

$$v_n = V_n / (A_{gn} * c_n)$$

$$v_n = 35,77 / (21,0 * 0,5)$$

$$v_n = 3,41 \text{ m/s}$$

- *Stanovení polohy neutrální roviny*

$$h_1/h_2 = (A_{av}^2 / A_{an}^2) * (\theta_0/\theta_g)$$

$$h_1/h_2 = (11,1^2 / 10,5^2) * (293/719,79)$$

$$h_1/h_2 = 0,455 \quad \dots \quad h_1 = 0,455h_2$$

$$h'_v = h_1 + h_2$$

$$5,25 = 1,455h_2$$

$$h_2 = 3,61 \text{ m}$$

$$h_1 = 1,64 \text{ m}$$

Poloha neutrální osy se nachází 3,14 m nad podlahou řešeného prostoru.

Návrh ZOTK s přirozeným odvodem zplodin hoření – Hala B

- *Základní parametry požárního úseku*

$$S = 1350,0 \text{ m}^2 \quad \text{plocha požárního úseku}$$

$$h_v = 11,74 \text{ m} \quad \text{výška od podlahy k ose kouřové klapky}$$

$$h_k = 4,5 \text{ m} \quad \text{výška akumulární vrstvy}$$

$$A_k = 675,0 \text{ m}^2 \quad \text{plocha kouřové sekce, celkem 2 samostatné sekce}$$

- *Stanovení prostoru bez kouře*

$$Y = h_v - h_k$$

$$Y = 11,74 - 4,5$$

$$Y = 7,24 \text{ m}$$

- *Stanovení maximální kritické teploty sdílené prouděním*

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

$$Q_{1 \max} = 900 * 7,24^{5/2}$$

$$Q_{1 \max} = 126\,937,20 \text{ kW}$$

- *Stanovení množství uvolněného tepla sdíleného prouděním*

$$Q_1 = (t_v/k_v)^2 * k_c * 10^3$$

$$k_v = 1600 / (a * p^{0,5}) \quad \text{pro zjednodušení výpočtu je v rámci návrhu požární výpočtové zatížení nahrazeno zatížením nahodilým}$$

$$k_v = 1600 / (1,1 * 80^{0,5})$$

$$k_v = 162,62 \text{ MW}^{0,5} \text{ s}$$

$$Q_1 = (900/162,62)^2 * 0,6 * 10^3$$

$$Q_1 = 18\,377,6 \text{ kW}$$

- *Stanovení celkového množství uvolněného tepla*

$$Q_c = Q_1 / k_c$$

$$Q_c = 18\,377,6 / 0,6$$

$$Q_c = 30\,562,7 \text{ kW}$$

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

- *Stanovení aerodynamické plochy odtokových klapek*

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

$$A_{av} = 0,027 * Q_1^{1/3} * (Y^{5/3} + 0,026 * Q_1^{2/3}) * h_k^{-1/2}$$

$$A_{av} = 0,027 * 18377,6^{1/3} * (7,24^{5/3} + 0,026 * 18377,6^{2/3}) * 4,5^{-1/2}$$

$$A_{av} = 15,18 \text{ m}^2$$

Vzhledem k tomu, že navrhovaný úsek je shromažďovacím prostorem, je aerodynamická plocha zvětšena proti výpočtu o bezpečnostní součinitel k_s zohledňující rozvržení prostoru na kouřové sekce a výšku kouřové sekce samotnou.

$$k_s = [A_k^{1/2} / (2,5h_v)]^{1/3}$$

$$k_s = [675^{1/2} / (2,5 * 11,74)]^{1/3}$$

$$k_s = 0,960 \quad \text{součinitel } k_s \text{ nesmí být nižší než hodnota } 0,95$$

Výpočet úpravy navrhované aerodynamické plochy odvodních klappek.

$$A_{av} = 15,18 * 0,96$$

$$A_{av} = 14,573 \text{ m}^2$$

- Stanovení přiváděného množství plynů v akumulární vrstvě

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

$$M_{f'} = 0,071 * Q_1^{1/3} * (Y^{5/3} + 0,026 * Q_1^{2/3})$$

$$M_{f'} = 0,071 * 18377,6^{1/3} * (7,24^{5/3} + 0,026 * 18377,6^{2/3})$$

$$M_{f'} = 84,69 \text{ kg/s}$$

- Stanovení průměrné teploty plynů v akumulární vrstvě

$$T_g = \frac{Q_1}{M_{f'} * c_p} + T_0$$

$$T_g = \frac{18\,377,6}{84,69 * 1} + 20$$

$$T_g = 237,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Objemové množství odváděných plynů z akumulární vrstvy

$$V_v = M_{f'} / \rho_g$$

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

$$\rho_g = 353 / (237 + 273)$$

$$\rho_g = 0,692 \text{ kg/m}^3$$

$$V_v = 84,69 / 0,692$$

$$V_v = 122,38 \text{ m}^2/\text{s}$$

-
- *Rychlost odváděných plynů*

$$v_v = V_v / A_{av}$$

$$v_v = 122,38 / 14,573$$

$$v_v = 8,40 \text{ m/s}$$

- *Stanovení vzlaku u výtoku plynu z klapek*

$$\Delta p_v = v_v^2 * \rho_g / 2$$

$$\Delta p_v = 8,40^2 * 0,692 / 2$$

$$\Delta p_v = 24,94 \text{ Pa}$$

- *Stanovení objemového množství přiváděného vzduchu*

$$V_n = V_v * (\theta_0 / \theta_g)$$

$$V_n = 122,38 * (293 / 510)$$

$$V_n = 70,31 \text{ m}^3/\text{s}$$

- *Stanovení tlakového rozdílu v posuzované kouřové sekci*

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

$$h'_v = h_v - h_0 / 2$$

$$h'_v = 11,74 - 4,2 / 2$$

$$h'_v = 9,64 \text{ m}$$

$$\Delta p = 3460 * (293^{-1} - 510^{-1}) * 9,64$$

$$\Delta p = 48,44 \text{ Pa}$$

- *Stanovení tlakových poměrů v přívodním otvoru vzduchu*

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

$$\Delta p_n = 48,44 - 24,94$$

$$\Delta p_n = 23,5 \text{ Pa}$$

-
- *Stanovení rychlosti přítoku vzduchu v přívodním otvoru*

$$v'_v = (2 * \Delta p_n / \sigma_0)^{1/2}$$

$$v'_v = (2 * 23,5 / 1,204)^{1/2}$$

$$v'_v = 6,25 \text{ m/s}$$

- *Stanovení geometrické plochy přívodních otvorů*

$$A_{gn} = V_n / (v'_n * C_n)$$

$$A_{gn} = 70,31 / (6,25 * 0,5)$$

$$A_{gn} = 22,5 \text{ m}^2$$

Výpočtem byla navržena aerodynamická plocha všech odvodních klapek systému ZOTK v jedné kouřové sekci na 14,573 m². Vzhledem k možnostem výrobců je zvolen výrobek fumilux® 4000 EAZ o rozměru 150 x 240 cm. U tohoto produktu je výrobcem uvedena aerodynamická průtoková plocha A_v = 2,56 m². Každá kouřová sekce bude vybavena 6 ks odvodních klapek. Celková aerodynamická plocha odvodních klapek zvoleného výrobku je 15,36 m².

Přívodní otvory vzduchu budou tvořit sekční vrata sloužící k zásobování objektu či transportu výstavních exponátů. Sekční průmyslová vrata jsou navržena o rozměru 3,5 x 4,2 m. Požadovaná plocha přívodního otvoru vzduchu je v souladu s výpočtem 22,5 m². Geometrická plocha vrat je 14,7 m². Každá kouřová sekce bude vybavena dvěma přívodními otvory.

Rychlost odváděných plynů

$$v_v = V_v / A_{av}$$

$$v_v = 122,38 / 15,36$$

$$v_v = 7,97 \text{ m/s}$$

- *Stanovení vzlaku u výtoku plynu z klapek*

$$\Delta p_v = v_v^2 * \rho_g / 2$$

$$\Delta p_v = 7,97^2 * 0,692 / 2$$

$$\Delta p_v = 21,98 \text{ Pa}$$

- Stanovení rychlosti přiváděného vzduchu

$$v_n = V_n / (A_{an} * c_n)$$

$$v_n = 70,31 / (29,4 * 0,5)$$

$$v_n = 4,78 \text{ m/s}$$

- Stanovení polohy neutrální roviny

$$h'_v = h_v - h_0/2$$

$$h'_v = 11,74 - 4,2/2$$

$$h'_v = 9,64 \text{ m}$$

$$h_1/h_2 = (A_{av}^2 / A_{an}^2) * (\theta_0/\theta_g)$$

$$h_1/h_2 = (15,36^2 / 14,7^2) * (293/510)$$

$$h_1/h_2 = 1,19 \quad \dots \quad h_1 = 1,19h_2$$

$$h'_v = h_1 + h_2$$

$$9,64 = 2,19h_2$$

$$\mathbf{h_2 = 4,40 \text{ m}}$$

$$\mathbf{h_1 = 5,24 \text{ m}}$$

Poloha neutrální osy se nachází 7,34 m nad podlahou řešeného prostoru.

3.4.6 Návrh přirozené větrání haly

V této práci se zabýváme rozdílem rozvoje tepla, a to při větrání uzavřených prostor systémem ZOTK, který byl navržen v předchozí kapitole a možnou alternativou, kterou je přirozený odvod zplodin hoření v souladu s ustanovením projekční normy ČSN 73 0802 čl. 6.6.11.

Zařízení pro odvod tepla a kouře v navrženém požárním úseku můžeme nahradit dodatečným počtem samočinně otevíravých otvorů, a to za předpokladu splnění podmínky, kdy v průběhu evakuace osob nebude v požárním úseku omezen přirozený odvod zplodin hoření. Za účelem této problematiky je dostatečné, pokud požární úsek má navržený dostatečný počet otvorů, který je samočinně otevřen v případě požáru například systémem EPS.

Požární úsek, ve kterém není omezen dle tohoto ustanovení přirozený odvod zplodin hoření je takový prostor, kde je splněna podmínka $S_o h_o^{1/2} / S_k > 0,035 \text{ m}^{1/2}$, nebo při součinnosti

samočinného hasícího zařízení $S_o h_o^{1/2} / S_k > 0,015 \text{ m}^{1/2}$. Parametr odvětrání je v tomto případě přímo závislý na povrchové ploše konstrukcí ohraničujících požární úsek a dále na ploše a výšce samotných samočinně otevíravých otvorů. V rámci tohoto znění je možné pozorovat, že polohové umístění samotných otvorů, není nijak požadováno.

Dopad na účinek rozvoje tepla z hlediska výškového umístění otvorů je součástí této studie a je zohledněna do modelových výpočtů. Návrh těchto otvorů je pro jednotlivé prostory uveden níže.

První ze sledovaných variant řešení bude počet a rozměr otvorů navržen tak, aby výsledná hodnota limitně překračovala podmínku užití tohoto způsobu větrání. Druhým z příkladů bude navýšení počtu samočinně otevíravých otvorů na dvojnásobnou hodnotu parametru odvětrání oproti první variantě.

Návrh přirozeného větrání – hala A

- *Základní parametry požárního úseku*

S = 800 m² plocha požárního úseku

h_s = 6,0 m světlá výška místnosti

Pro stanovení plochy povrchu obvodových konstrukcí S_k , je nutná znalost nejen množství a rozměry samočinně otevíravých otvorů, ale též otvorů, u kterých lze předpokládat, že nebudou klasifikovány podle ustanovení ČSN 73 0802 čl. 6.5.3.

V rámci této simulace vzhledem k řešené výzkumné otázce je předpoklad, že veškeré otvory, které v objektu budou umístěny, slouží pro zajištění přirozeného větrání, přičemž ostatní možné otvory jsou zanedbány, případně vykazují požární odolnost E 15, a tím není nutné jejich započtení, a to jak do samotného modelu, tak do výpočtu.

Varianta 1

Celková plocha povrchu obvodových konstrukcí S_k bez odpočtu otvorů S_o je 2320 m².

Navrhované samočinně otevíravé otvory jako sekční vrata o rozměru 4,0 x 3,0 m.

$S_{o, \text{otvoru}}$ = 12,0 m²

$S_{o, \text{VAR1_a}}$ = 48,0 m² celkem 4 ks sekčních vrat

$S_o h_o^{1/2} / S_k$ = 0,0366 m^{1/2} navržené otvory vyhovující podmínce

- navýšení počtu otvorů na dvojnásobný počet

$$S_{o, \text{VAR1_a}} = 96,0 \text{ m}^2 \quad \text{celkem 8 ks sekčních vrat}$$

$$S_o h_o^{1/2} / S_k = 0,0748 \text{ m}^{1/2} \quad \text{navržené otvory vyhovující podmínce}$$

Varianta 2

Tato varianta je zvolena na základě ověření a porovnání zvýšení účinku přirozeného větrání v závislosti na výškové poloze umístěných otvorů. Větrání v tomto případě bude zajištěno okenními samočinně otevíravými otvory, přičemž jejich spodní hrana bude umístěna v polovině světlé výšky řešeného objektu.

Navrhované samočinně otevíravé otvory jako jednokřídlá okna o rozměru 1,0 x 1,6 m.

$$S_{o, \text{otvoru}} = 1,6 \text{ m}^2$$

$$S_{o, \text{VAR1_a}} = 64,0 \text{ m}^2 \quad \text{celkem 40 ks oken}$$

$$S_o h_o^{1/2} / S_k = 0,0359 \text{ m}^{1/2} \quad \text{navržené otvory vyhovující podmínce}$$

- navýšení počtu otvorů na dvojnásobný počet

$$S_{o, \text{VAR1_a}} = 128,0 \text{ m}^2 \quad \text{celkem 80 ks oken}$$

$$S_o h_o^{1/2} / S_k = 0,0739 \text{ m}^{1/2} \quad \text{navržené otvory vyhovující podmínce}$$

Návrh přirozeného větrání – hala B

- *Základní parametry požárního úseku*

$$S = 1350 \text{ m}^2 \quad \text{plocha požárního úseku}$$

$$h_s = 11,74 \text{ m} \quad \text{světlá výška místnosti}$$

Celková plocha povrchu obvodových konstrukcí S_k bez odpočtu otvorů S_o je 4637,10 m².

Varianta 1

Navrhované samočinně otevíravé otvory jako sekční vrata o rozměru 3,5 x 4,2 m.

$$S_{o, \text{otvoru}} = 14,7 \text{ m}^2$$

$$S_{o, \text{VAR1_a}} = 88,2 \text{ m}^2 \quad \text{celkem 6 ks sekčních vrat}$$

$$S_o h_o^{1/2} / S_k = 0,0397 \text{ m}^{1/2} \quad \text{navržené otvory vyhovující podmínce}$$

-
- navýšení počtu otvorů na dvojnásobný počet

$$S_{o, \text{VAR1_a}} = 176,40 \text{ m}^2 \quad \text{celkem 12 ks sekčních vrat}$$

$$S_o h_o^{1/2} / S_k = 0,0810 \text{ m}^{1/2} \quad \text{navržené otvory vyhovující podmínce}$$

Varianta 2

Navrhované samočinně otevíravé otvory jako jednokřídlá okna o rozměru 1,0 x 1,6 m.

$$S_{o, \text{otvoru}} = 1,6 \text{ m}^2$$

$$S_{o, \text{VAR1_a}} = 128,0 \text{ m}^2 \quad \text{celkem 80 ks oken}$$

$$S_o h_o^{1/2} / S_k = 0,0359 \text{ m}^{1/2} \quad \text{navržené otvory vyhovující podmínce}$$

- navýšení počtu otvorů na dvojnásobný počet

$$S_{o, \text{VAR1_a}} = 256,0 \text{ m}^2 \quad \text{celkem 160 ks oken}$$

$$S_o h_o^{1/2} / S_k = 0,0739 \text{ m}^{1/2} \quad \text{navržené otvory vyhovující podmínce}$$

4 Modelové příklady a výstupy

V předchozí kapitole této práce jsme shrnuli veškeré požadované vstupní parametry pro tvorbu matematických modelů v programu CFD. V této kapitole shrneme postupy modelování, výstupy, včetně výsledků výše popisovaných příkladů.

Prioritním úkolem této práce je ověření a posouzení dvou odlišných způsobů větrání prostoru s požárním zatížením a jeho vliv na rozvoj teploty včetně možného tepelného zatížení nosných konstrukcí objektu. Výsledek této práce bude obsahovat vyhodnocení účinnosti jednotlivých způsobů odvětrání pro zvolené velkoprostorové objekty, z hlediska rozvoje tepla a maximálních dosažených teplot.

Hlavním důvodem pro tvorbu této studie, je zjistit dopady na možné tepelné zatížení nosných konstrukcí objektu při změně způsobů odvětrání řešeného prostoru. Výsledek této práce by měl sloužit jako podklad při rozhodování o vhodné volbě systému odvětrání, v případě normového požadavku na instalaci zařízení odvodu tepla a kouře či možnosti jeho náhrady dostatečným parametrem odvětrání.

4.1 Vstupní parametry modelů

Předchozí kapitoly této práce byly věnovány především k ověření zvolených staveb pro účely této analýzy a návrhu rozměrů samotných větracích otvorů, a to jak pro zařízení odvodu tepla a kouře, tak pro přirozené větrání, u kterého dle ustanovení normových podmínek není omezen přirozený odvod zplodin hoření z řešeného prostoru.

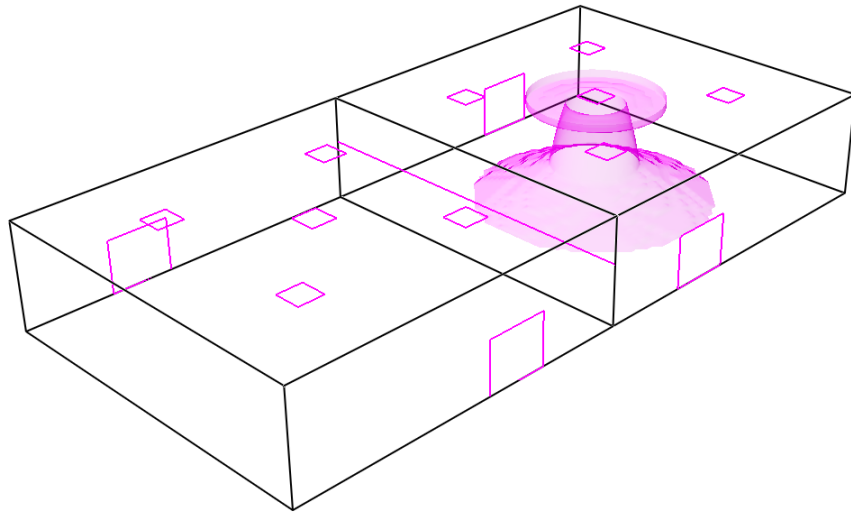
Poslední neznámou hodnotou společnou pro oba způsoby větrání je čas, kdy dojde k otevření ventilačních otvorů. Již v předchozích kapitolách bylo zmíněno, že samočinné otevření otvorů či spuštění zařízení odvodu tepla a kouře, zajišťuje elektrická požární signalizace. Tento typ řídicího systému, respektive volba vstupních parametrů z hlediska modelování např. počet čidel, rozmístění, aktivační charakteristiky aj., nejsou předmětem této práce a z těchto důvodů je pro modelování větrání nastaven konstantní aktivační čas $T_0 + 180$ sekund.

4.2 Modely hal a výstupy z programu CFD

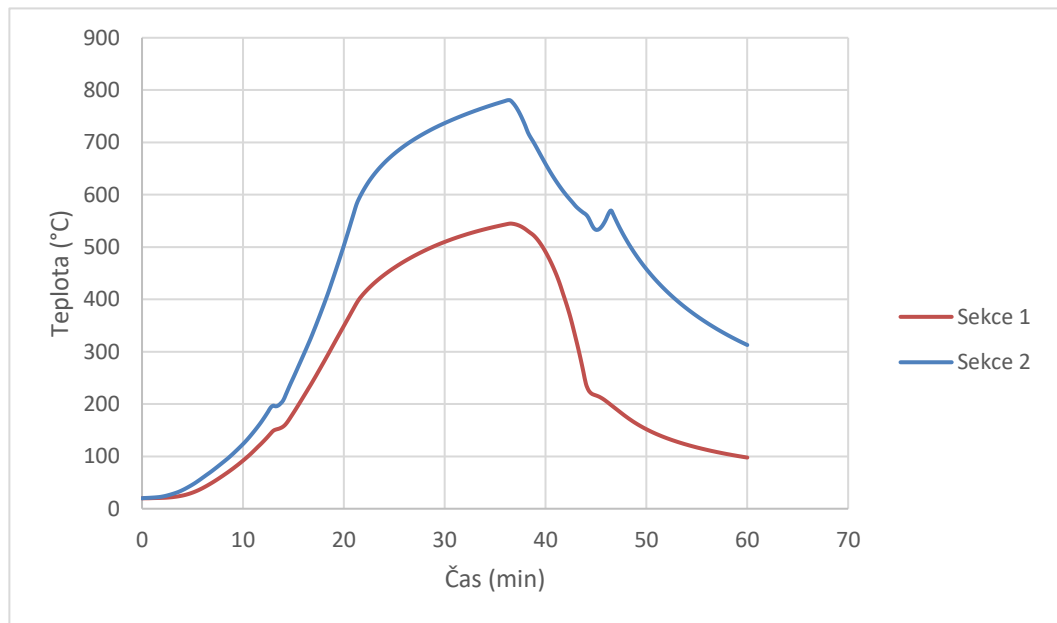
Tato kapitola představí vizualizace modelových prostorů pro jednotlivé typy hal, včetně výsledného průběhu teploty v závislosti na způsobu odvětrání. Pro každou z těchto staveb bylo vytvořeno celkem 5 modelových příkladů, kdy dochází ke změně odvětrání prostoru za požáru:

- větrání systémem zařízení odvodu tepla a kouře s přirozeným odvodem
- větrání řešeného prostoru, kdy parametr $S_o h_o^{1/2} / S_k$ vyhovuje podmínkám ČSN 73 0802
 - větrání zásobovacími vraty
 - hodnota $S_o h_o^{1/2} / S_k$ limitně se blíží minimální hodnotě pro náhradu systémů
 - větrání zásobovacími vraty
 - hodnota $S_o h_o^{1/2} / S_k$ zvýšena na dvojnásobek oproti minimální hodnotě
 - větrání okny
 - hodnota $S_o h_o^{1/2} / S_k$ limitně se blíží minimální hodnotě pro náhradu systémů
 - větrání okny
 - hodnota $S_o h_o^{1/2} / S_k$ zvýšena na dvojnásobek oproti minimální hodnotě

4.2.1 Hala A



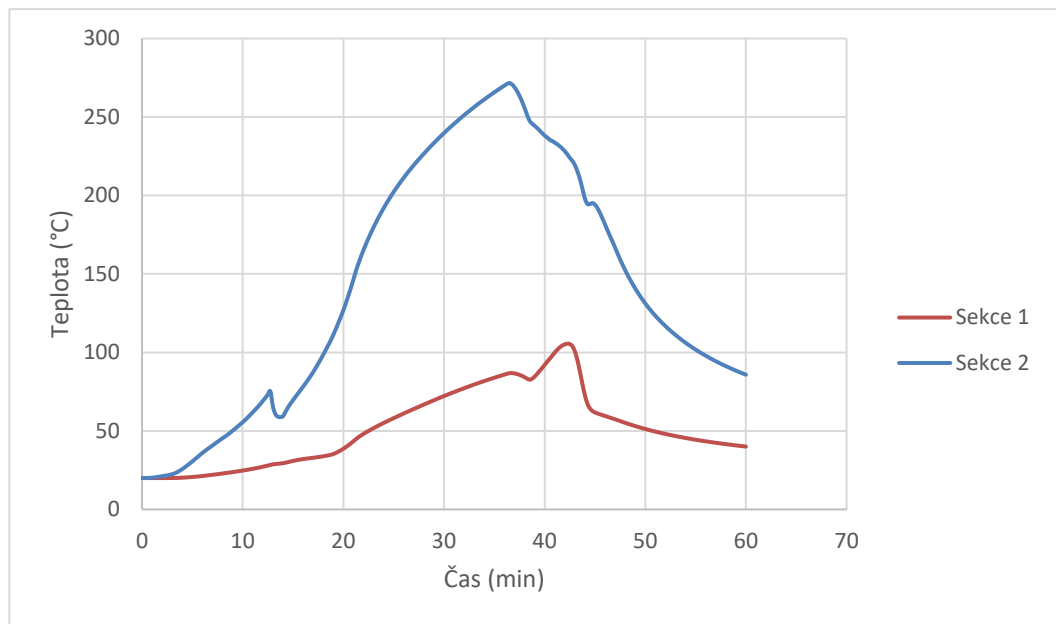
Obr. 17 - Model haly A větrané systémem ZOTK



Obr. 18 - Teplota horní vrstvy obou kouřových sekcí při větrání objektu systémem ZOTK

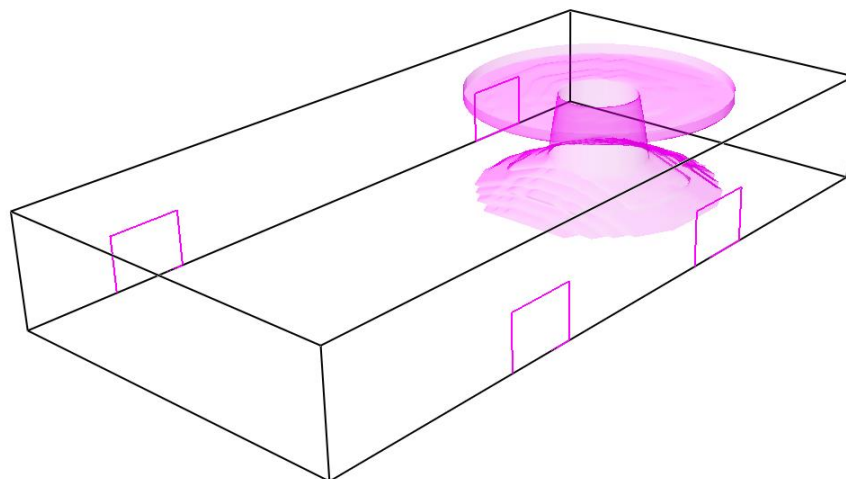
Z Obr. 17 je patrné, že požární scénář byl simulován v kouřové sekci 2. Na Obr. 18 můžeme pozorovat průběh teplot v horní vrstvě zónového modelu, a to jak pro kouřovou sekci 2 tak pro sekci 1. Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že větrání prostoru systémem ZOTK

s přirozeným odvodem zplodin hoření, dochází v části exponované požárem k dosažení maximální teploty 780 °C, a to v čase 36 minut od vypuknutí požáru.

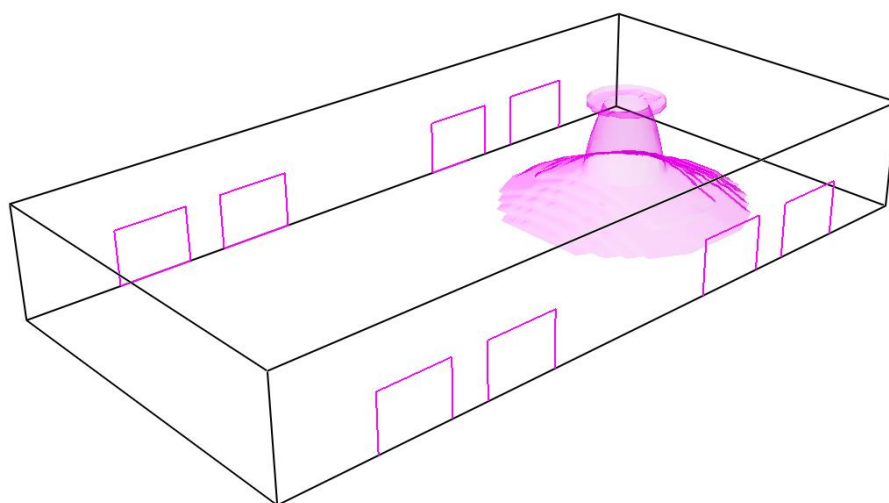


Obr. 19 - Teplota spodní vrstvy pro jednotlivé kouřové sekce

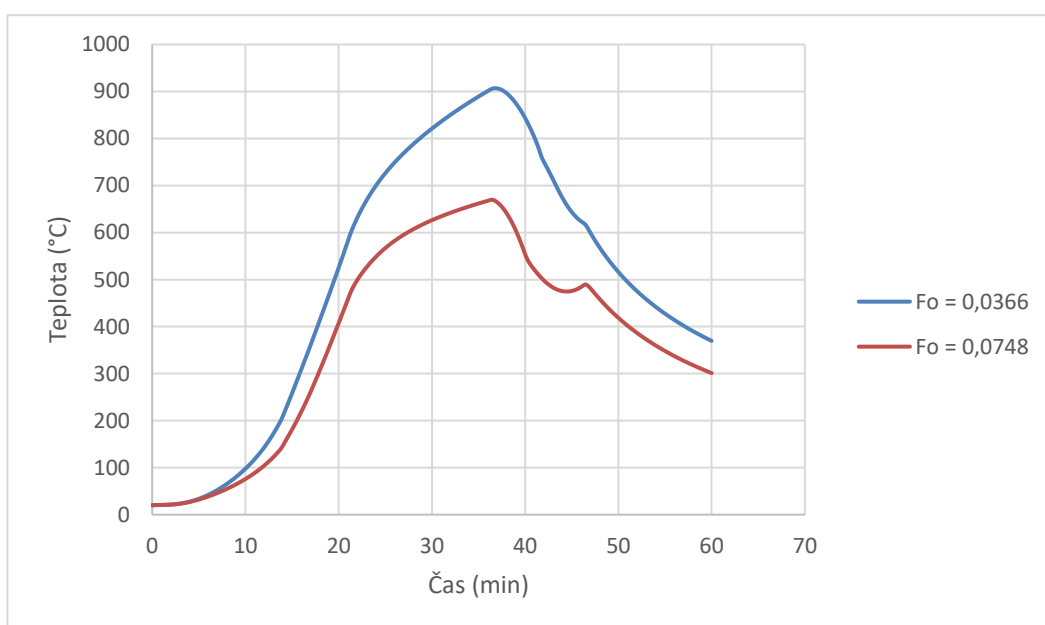
Ve spodní vrstvě zónového modelu bylo dosaženo v prostoru s modelovaným požárem nejvyšší teploty 271 °C.



Obr. 20 - Model haly A větrané sekčními vraty



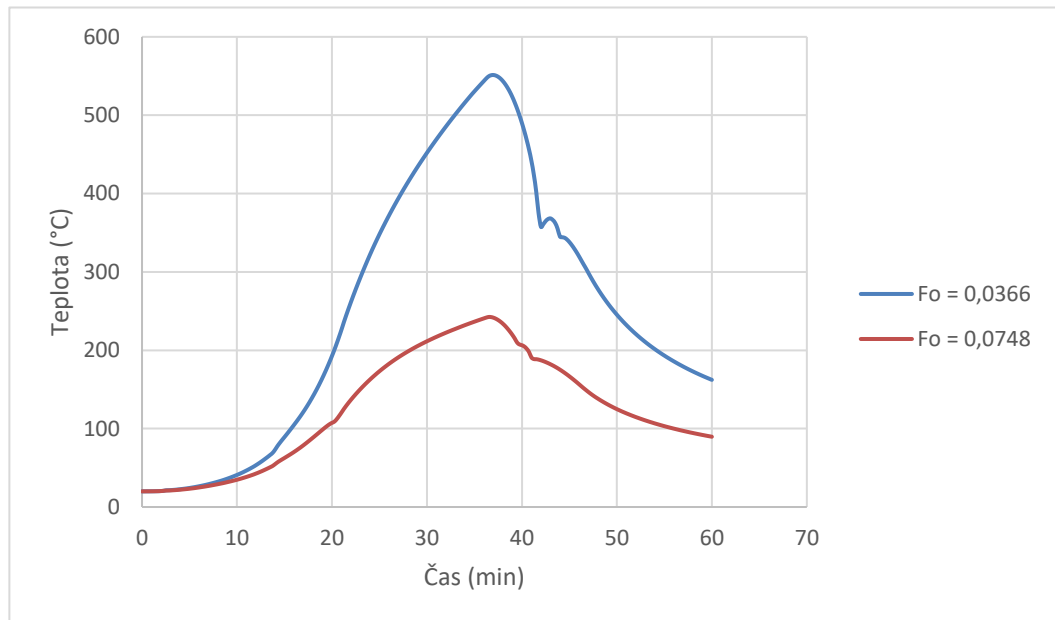
Obr. 21 - Model haly A větrané dvojnásobným počtem sekčních vrat



Obr. 22 - Teplota horní vrstvy modelu při větrání prostoru sekčními vraty

Při provnání systému přirozeného větrání pomocí sekčních vrat, kdy z pohledu normových podmínek není omezen přirozený odvod zplodin hoření, je možné pozorovat, že oproti zařízením odvodu tepla a kouře dochází při limitních hodnotách vyhovujících podmínkám záměny těchto systémů odvětrání dle ustanovení ČSN k vyšším dosaženým teplotám, a to přibližně o celých 16 %. Maximální teplota horní vrstvy se v tomto případě pohybuje v čase 36 minutách na hodnotě 906 °C.

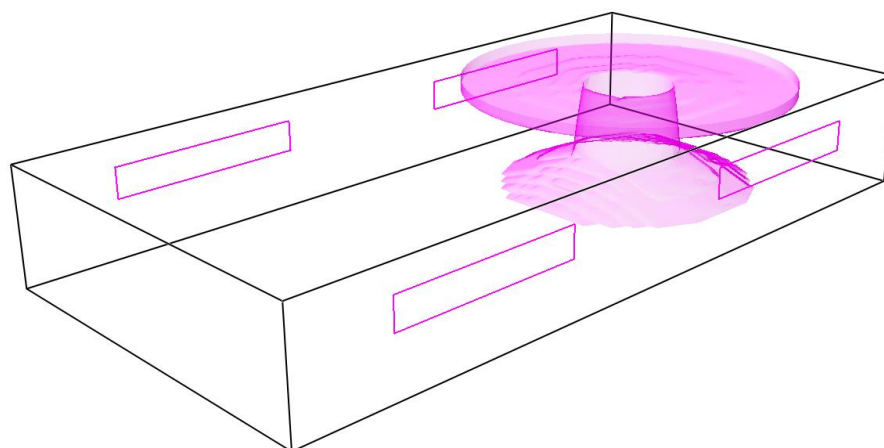
Pokud parametr odvětrání podle rovnice $S_o h_o^{1/2} / S_k$ zvýšíme na dvojnásobnou normově požadovanou hodnotu, a to navýšením počtu otevíravých otvorů na dvojnásobné množství, je maximální dosažená teplota v požárním úseku přibližně o 14 % nižší než při větrání systémem ZOTK. Při takto nastavených vstupních parametrech je dosaženo maximální teploty 669 °C.



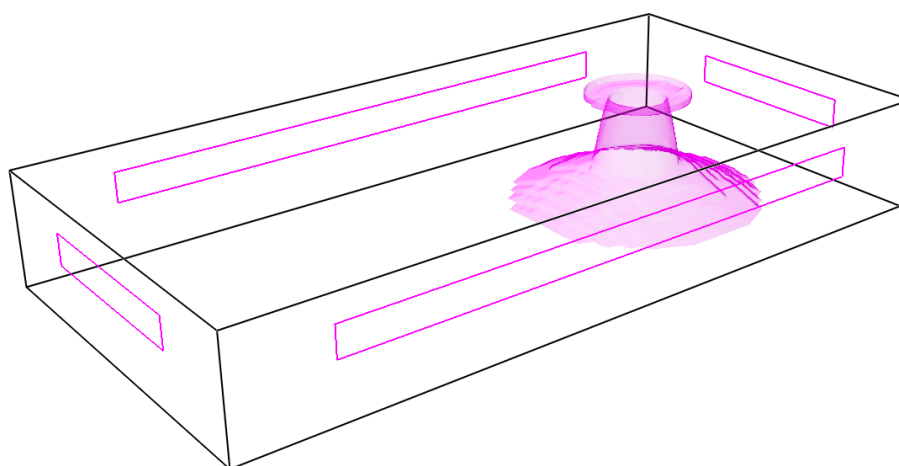
Obr. 23 - Teplota spodní vrstvy modelu při větrání prostoru sekčními vraty

Teplota spodní vrstvy zónového modelu při větrání sekčními vraty a parametru odvětrání $S_o h_o^{1/2} / S_k = 0,0366$ v porovnání s větráním systémem ZOTK, dosahuje výslednými hodnotami přibližně dvojnásobného rozdílu. Maximální dosažená teplota v případě větrání sekčními vraty je 551 °C.

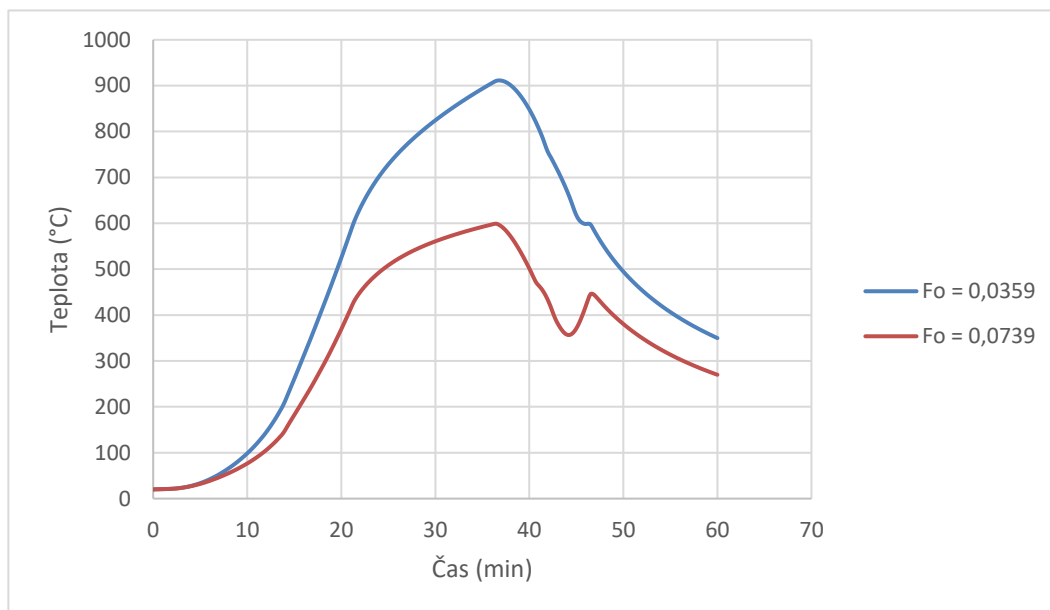
Pokud zvýšíme parametr odvětrání navýšením množství otvorů oproti předchozímu modelu a to na výslednou hodnotu odvětrání 0,07448 m^{1/2} můžeme pozorovat, že teplota spodní vrstvy se blíží teplotám shodnými při větrání prostorou systémem ZOTK. Při větrání tímto způsobem dosahují výsledky o 10 % nižších teplot než u modelu požárního větrání. Maximální teplota spodní vrstvy je 242 °C.



Obr. 24 - Model haly A větrané okenními otvory



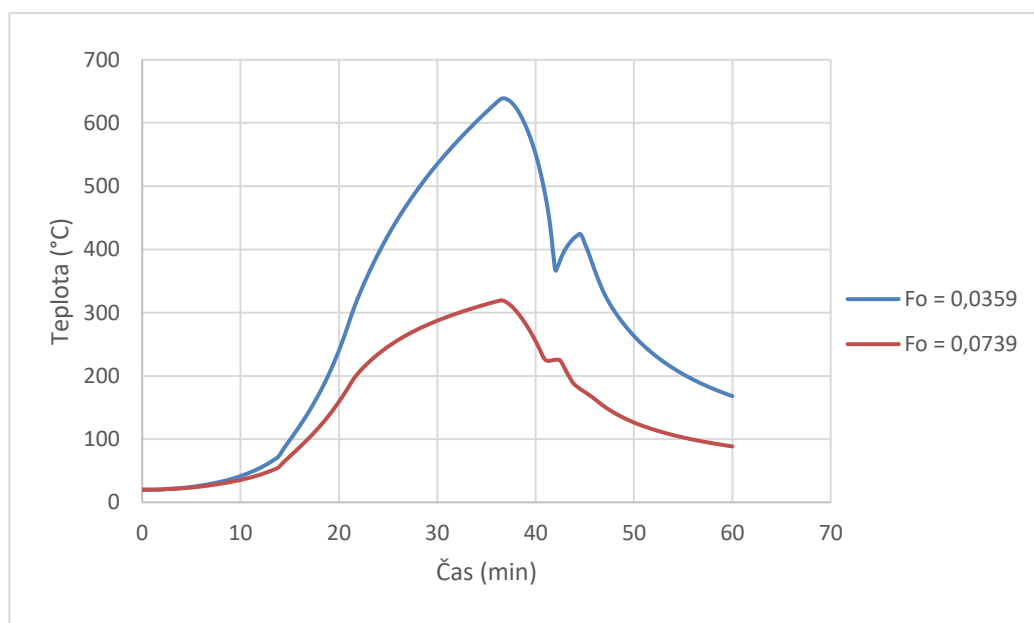
Obr. 25 - Model haly A větrané dvojnásobným počtem okenních otvorů



Obr. 26 - Teplota horní vrstvy modelu při větrání prostoru okenními otvory

Na výsledcích modelového příkladu, kdy je větrání zajištěno okenními otvory umístěnými výškově spodní hranou v polovině světlé výšky řešeného prostoru, můžeme pozorovat, že pokud se parametr větrání blíží limitně požadované hodnotě $S_o h_o^{1/2} / S_k = 0,035$, je rozdíl maximálních dosažených teplot v tomto prostoru při větrání vraty nebo okenními otvory shodný. V tomto případě je zajímavé, že bez ohledu na výškové umístění větracích otvorů v obvodovém plášti je dosaženo v prostoru stejných teplot. Teplota dosažená v řešeném prostoru pro větrání okenními otvory je 911 °C.

Pokud parametr odvětrání zvýšíme na dvojnásobnou hodnotu, jsou rozdíly teplot v řešených modelech s vraty a okny již rozdílné, a to v případě větrání okenními otvory nižší přibližně o 10 %. V tomto případě je dosaženo maximální teploty 599 °C.



Obr. 27 - Teplota spodní vrstvy modelu při větrání prostoru okenními otvory

Na výsledcích v Obr. 27 můžeme pozorovat, že ohřátý vzduch v rámci spodní vrstvy není odváděn otvory mimo řešený prostor, a tím dochází ke zvýšení teploty a k naměření vyšších hodnot, oproti větrání otvory umístěnými svou výškovou polohou na úrovni podlahy řešeného prostoru.

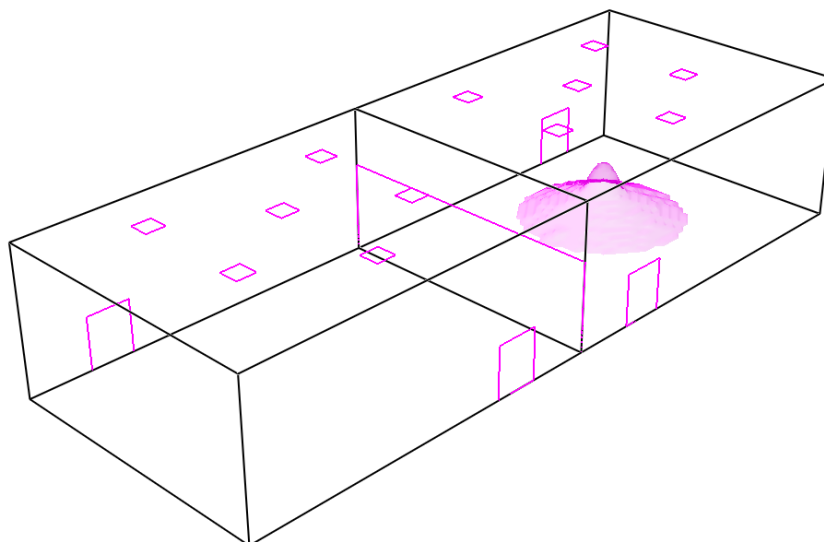
Naměřená maximální teplota spodní vrstvy v případě větrání okenními otvory, kdy parametr odvětrání se limitně blíží normové požadované hodnotě, je 639 °C. U dvojnásobné plochy větracích otvorů byla tato teplota stanovena na 320 °C. Z výsledků je patrné, že teploty spodní vrstvy, se v tomto případě oproti přirozenému větrání vraty lineárně zvyšují.

Při zvolených vstupních parametrech dle zvoleného modelu je výsledná teplota v prvním z příkladů přibližně o 15 % vyšší a v druhém příkladě o 30 % vyšší při porovnání s výsledky větrání prostoru sekčními vraty.

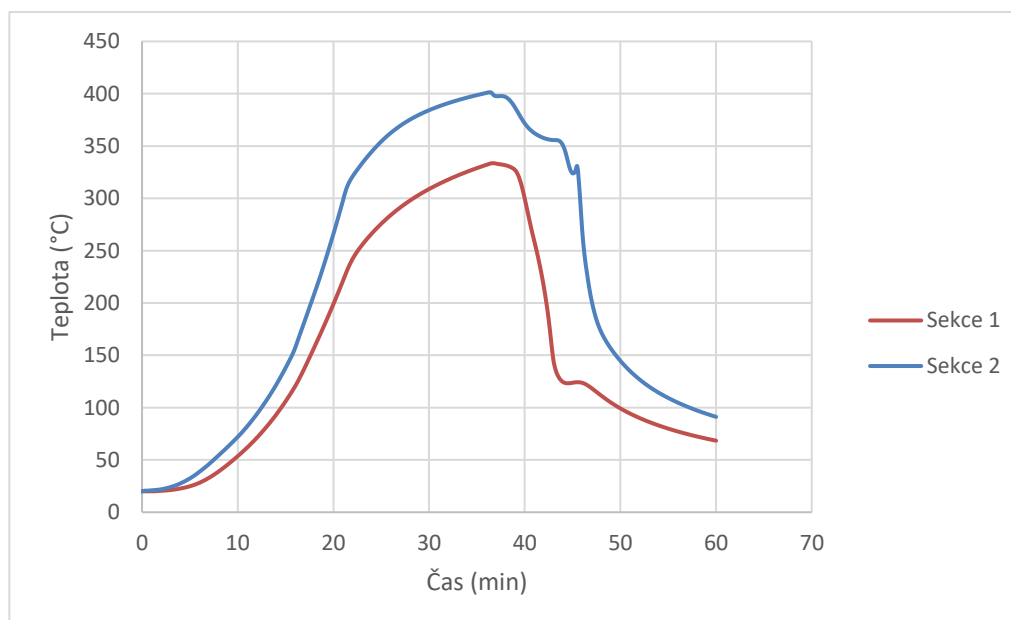
4.2.2 Hala B

Druhý z modelů byl zvolen a stanoven převážně pro ověření a porovnání výsledků s prvním modelovým příkladem této práce. V této kapitole si představíme pouze souhrn a porovnání

dosažených výsledků v rámci řešené haly B. Porovnání výsledků mezi jednotlivými halami bude následně předmětem další kapitoly.

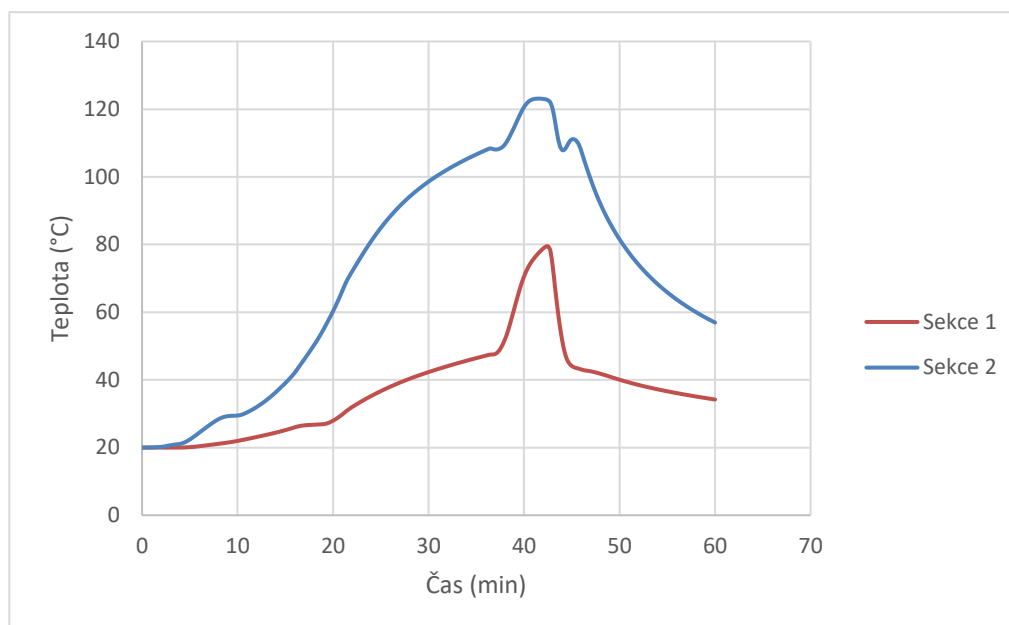


Obr. 28 - Model haly B větrané systémem ZOTK



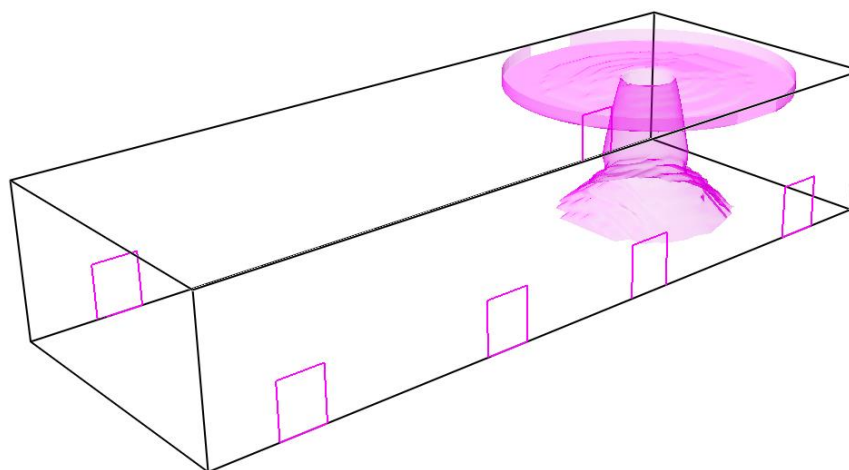
Obr. 29 - Teplota horní vrstvy modelu při větrání prostoru systémem ZOTK

V návaznosti na první z modelových příkladů, je i v tomto modelu požár dle požárního scénáře z předchozích kapitol, umístěn v druhé kouřové sekci. Maximální teplota dosažená v tomto úseku je 401 °C.

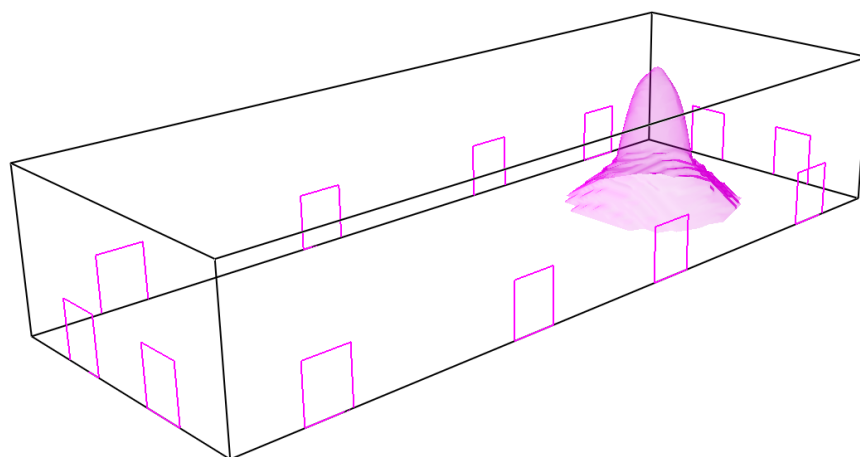


Obr. 30 - Teplota spodní vrstvy modelu při větrání prostoru systémem ZOTK

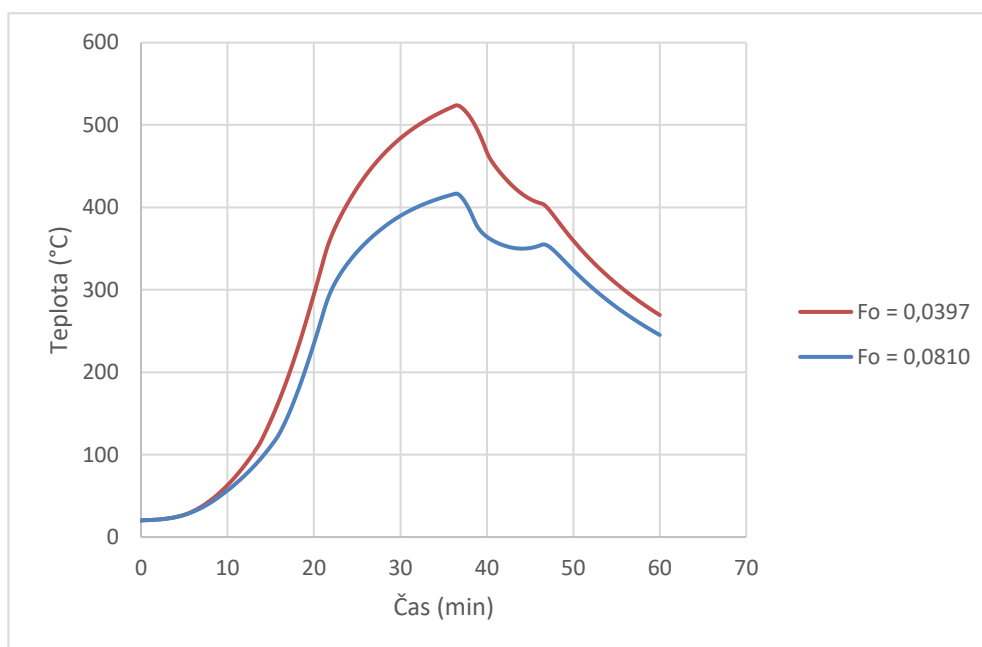
Maximální dosažená teplota ve spodní vrstvě zónového modelu v kouřové sekci exponované požárem je 123 °C.



Obr. 31 - Model haly B větrané sekčními vraty



Obr. 32 - Model haly B větrané dvojnásobným počtem sekčních vrat

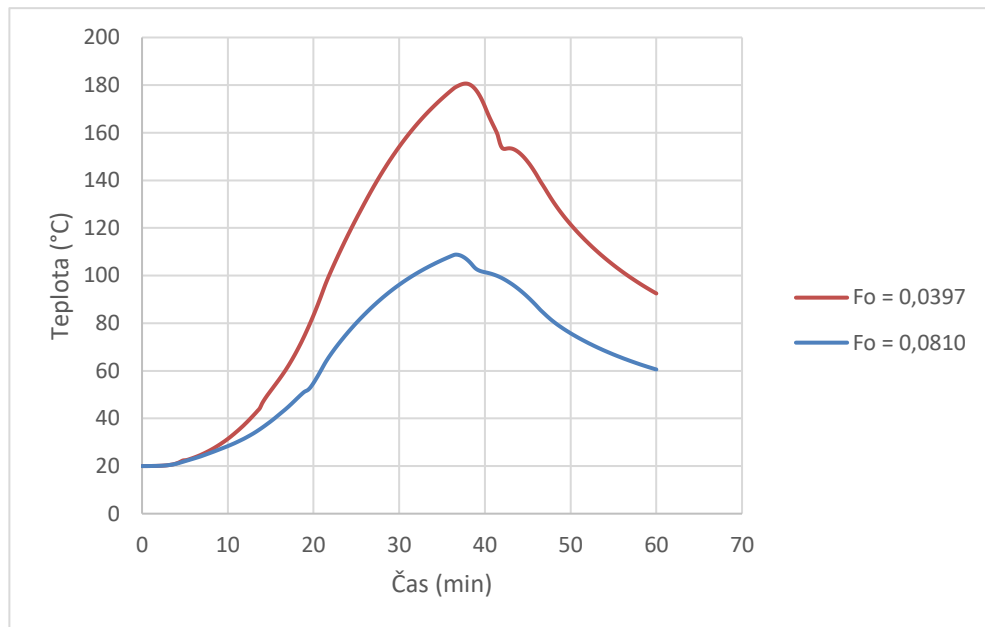


Obr. 33 - Teplota horní vrstvy modelu při větrání prostoru sekčními vraty

Maximální teplota při limitní hodnotě parametru odvětrání v řešeném prostoru je stanovena na 524 °C. U dvojnásobného počtu ventilačních otvorů je maximální teplota v totožném prostoru stanovena na 416 °C.

Proti systému zařízení odvodu tepla a kouře, je v tomto případě možné, na základě výsledných hodnot konstatovat, že teplota u limitní hodnoty parametru přirozeného odvětrání je na základě takto nastavených vstupních podmínek o 30 % vyšší než u větrání systémem ZOTK.

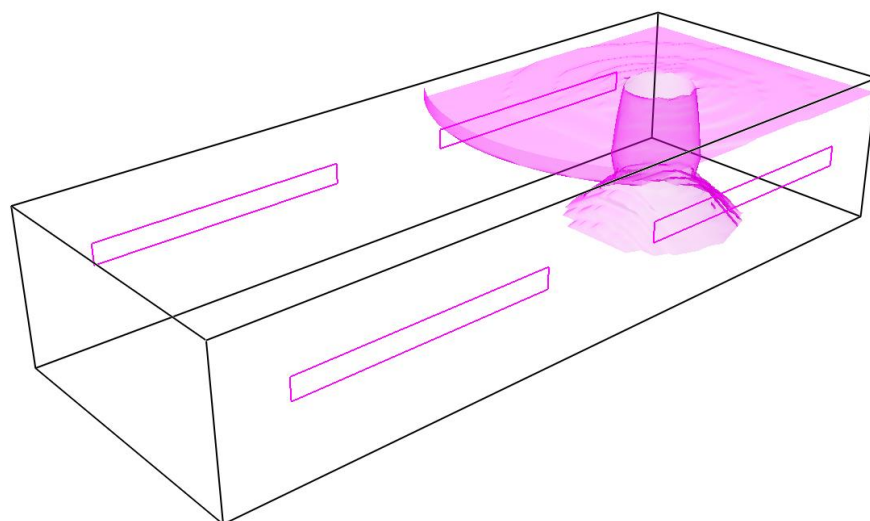
Pokud zvýšíme počet větracích otvorů tak, aby parametr odvětrání byl v tomto modelu dvojnásobný, je naměřená hodnota v tomto prostoru shodná s teplotami naměřenými při větrání prostoru zařízením odvodu tepla a kouře.



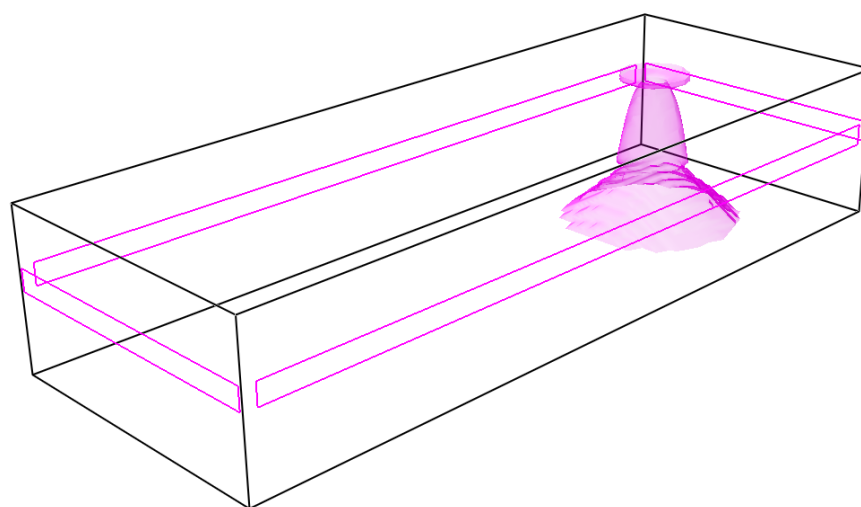
Obr. 34 - Teplota spodní vrstvy modelu při větrání sekčními vraty

Teploty spodní vrstvy při odvětrání prostoru sekčními vraty oproti systému ZOTK, dosahuje v případě limitních normových hodnot parametru odvětrání vyšší teploty o 46 %, a to 180 °C.

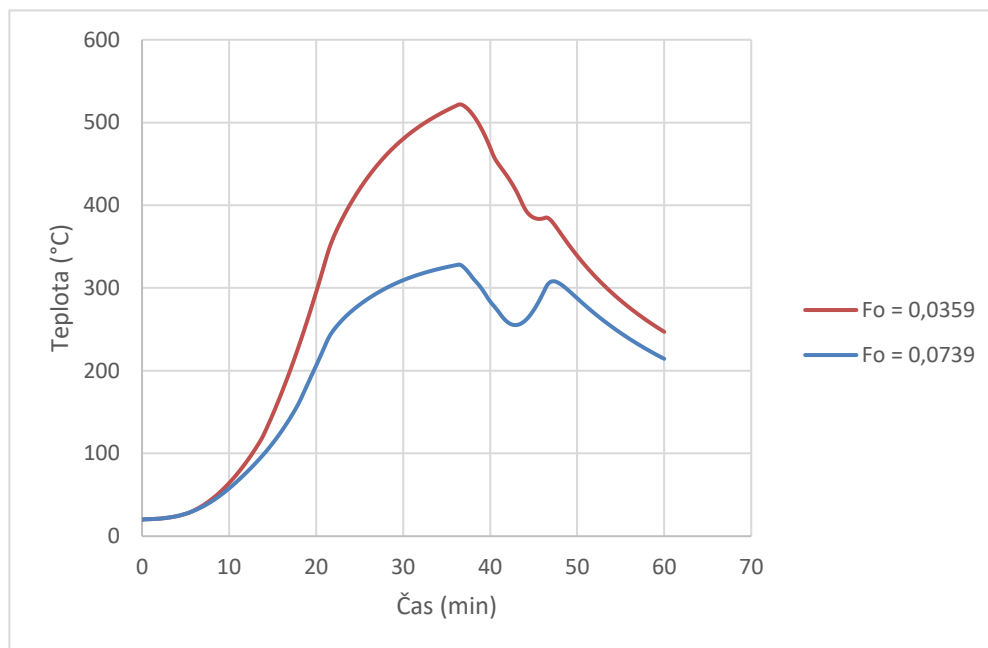
Pokud zvýšíme parametr odvětrání na dvojnásobnou hodnotu minimálního požadavku můžeme pozorovat, že teplota spodní vrstvy je nižší o 11 % než teplota spodní vrstvy při instalaci zařízením pro odvod tepla a kouře. V námi řešeném příkladu se jedná o teplotu spodní vrstvy 109 °C.



Obr. 35 - Model haly B při větrání okenními otvory



Obr. 36 - Model haly B při větrání dvojnásobným počtem okenních otvorů

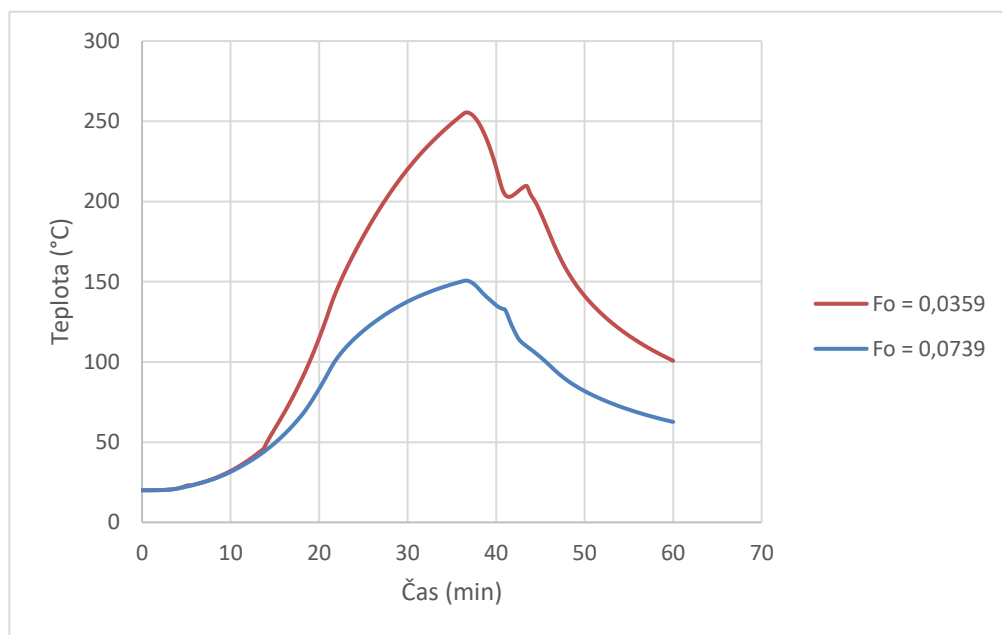


Obr. 37 - Teplota horní vrstvy modelu při větrání okenními otvory

Maximální teplota naměřená v rámci řešeného prostoru s parametrem odvětrání limitně se blíží minimální požadované hodnotě pro aplikaci záměny větrání systémem ZOTK a přirozeného odvětrání, je 523 °C. Pokud zvýšíme parametru odvětrání na dvojnásobnou hodnotu je maximální teplota stanovena na 328 °C.

Na výsledcích, kdy je větrání zajištěno okenními otvory umístěnými výškově spodní hranou otvorů v polovině světlé výšky řešeného prostoru, můžeme pozorovat, že pokud se parametr větrání blíží limitně požadované hodnotě $S_o h_o^{1/2} / S_k = 0,035$, je rozdíl maximálních dosažených teplot v tomto prostoru při větrání vraty nebo okenními otvory shodný.

Za předpokladu, že zvýšíme množství otevíravých otvorů a parametr odvětrání tím bude zvýšen na dvojnásobnou hodnotu, dochází v modelu s vyšší polohovou výškou větracích otvorů ke snížení teploty horní vrstvy oproti druhému způsobu. V našem zvoleném příkladě se jedná o snížení dosažené teploty o 21 %.



Obr. 38 - Teplota spodní vrstvy modelu větrané okenními otvory

Teplota spodní vrstvy dosahuje v případě odvětrání haly B okenními otvory, při součiniteli parametru odvětrání limitně se blížícímu minimálnímu požadavku, maximální teploty 255 °C.

Pokud množství oken zvýšíme, dojde k navýšení parametru odvětrání na dvojnásobnou hodnotu, a tím se sníží maximální teplota ve spodní vrstvě zónového modelu na 150 °C.

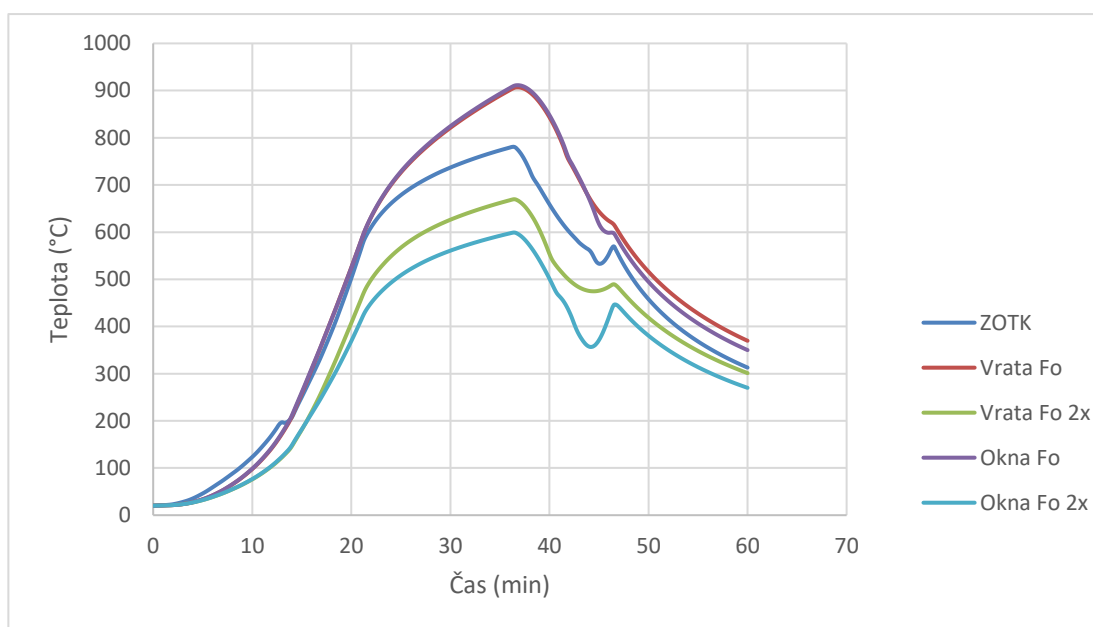
U obou těchto simulací můžeme pozorovat, že se maximální teplota spodní vrstvy, při změně polohové výšky ventilačních otvorů, zásadním způsobem liší. Pokud je prostor větrán sekčními vraty, pozorujeme na takto zvoleném příkladě, že teplota dosažená v prostoru je přibližně o 40 % vyšší, než při větrání totožné haly okenními otvory s vyšší výškovou úrovní.

4.3 Přehled a porovnání výsledků

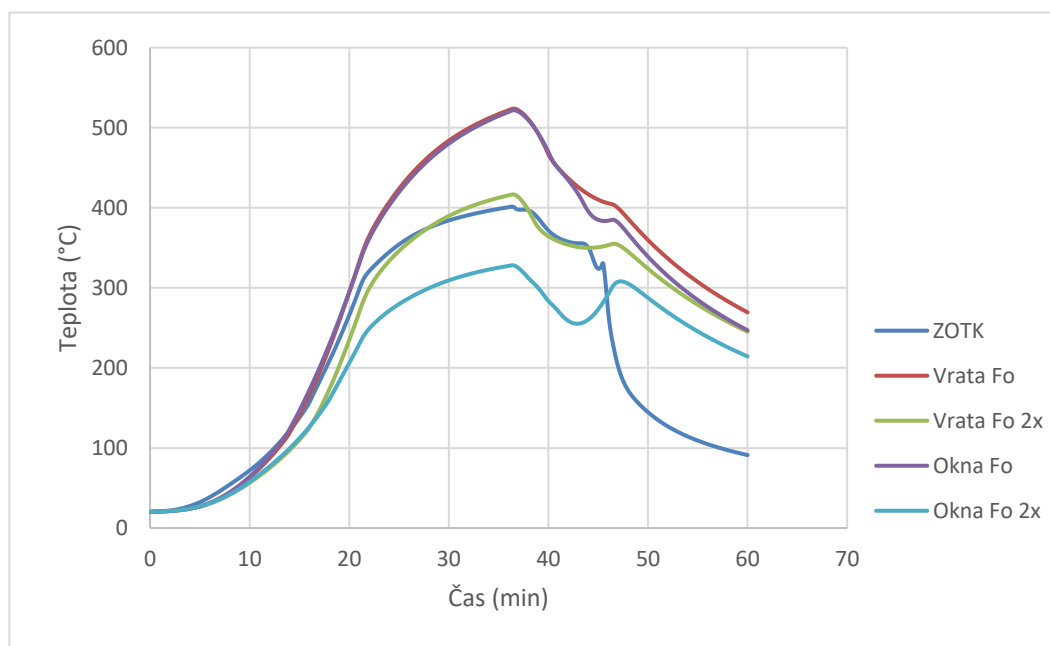
Ventilace z hlediska požární bezpečnosti má významný vliv na rozvoj teploty v řešeném prostoru. V případě vhodně zvolených podmínek odvětrání, dochází ke snížení dosažené teploty uvnitř navrhovaného úseku, které je zapříčiněno odvodem horkých plynů z vnitřního prostoru. Na tomto principu je založen systém zařízení odvodu tepla a kouře, který je v současné době nejrozšířenějším systémem požárního větrání z hlediska zajištění bezpečné evakuace osob, zlepšení podmínek zásahu jednotek HZS a také jako systém pro snížení tepelného zatížení konstrukcí a omezení rozsahu škod.

Z hlediska podmínek evakuace osob je možné tento systém požárního odvětrání nahradit systémem samočinně otevíravých ventilačních otvorů, které zajišťují přirozený odvod zplodin hoření. Na modelových příkladech v této práci jsou představeny výsledky rozvoje tepla a maximálních dosažených teplot při záměně způsobů odvětrání.

Příklady, které jsou obsahem této práce byly záměrně voleny s rozdílnými dispozičními podmínkami a různými výškovými polohami umístěných větracích otvorů. Na těchto modelech je ověřováno, zda parametr odvětrání, při dostatečném množství otevíravých otvorů pro zajištění bezpečné evakuace osob, je efektivní i z hlediska snížení tepelného namáhání a snížení případného rozsahu škod v řešeném prostoru, a zda je tento systém ventilace vhodnou alternativou ke stávajícímu řešení požárního větrání.



Obr. 39 - Souhrn výsledků teploty horní vrstvy modelu haly A



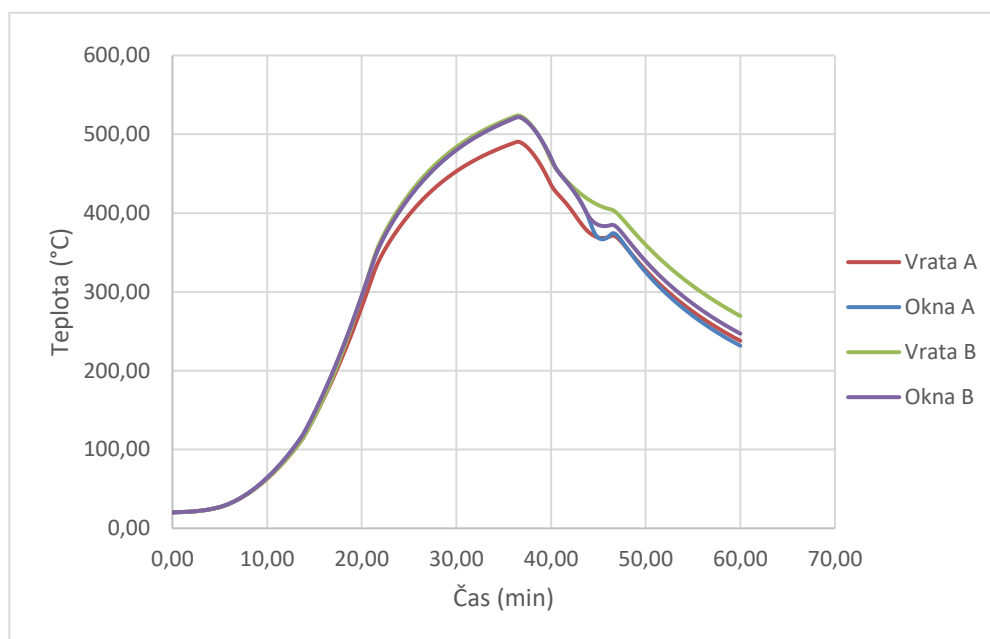
Obr. 40 - Souhrn výsledků teploty horní vrstvy modelu haly B

Na výsledcích modelování můžeme pozorovat, že v případě parametru odvětrání samočinnými otevíravými otvory, kdy se hodnota přirozeného odvětrání podle vzorce $S_o h_o^{1/2} / S_k$ limitně blíží minimálnímu požadavku zaměnitelnosti těchto systémů, je z hlediska rozvoje teplot neefektivní náhradou. V případě volby systému zařízení pro odvod tepla a kouře dosahujeme v řešených prostorech nižších naměřených maximálních teplot, a to v hale A o 16 % a v hale B o 30 %. Vzhledem k těmto výsledkům lze usuzovat, že parametr odvětrání se limitně blíží požadavkům normy, není ale tak efektivní jako odvětrání systémem zařízení odvodu tepla a kouře.

Dalším z parametrů, který můžeme pozorovat, je vliv samotného umístění samočinně otevíravých otvorů z hlediska výškové polohy osazení do obvodové konstrukce. U haly A je světlá výška modelovaného prostoru $h_s = 6,0 \text{ m}$, u haly B je tato výška $h_s = 11,74 \text{ m}$. V obou těchto případech jsou otvory svou spodní hranou umístěny vždy na úrovni $1/2 h_s$, přičemž samotné okenní otvory jsou výšky 1,6 m.

Pro ověření vlivu výškového umístění otvoru na rozvoj teploty, je nutné vytvořit další dva modelové případy. Prvním z nich je situace, kdy v hale B posuneme otevíravé okenní otvory do pozice tak, aby jejich horní hrana byla umístěna ve $2/3 h_s$, jako tomu je u haly A. Druhým případem je posun vrat do pozice, kdy horní hrana tohoto otvoru bude ve výškové úrovni jako je tomu u okenních otvorů, tedy v $2/3 h_s$.

I když je toto řešení z hlediska reálné situace nepravděpodobné, je nutné zohlednit vliv samotné plochy otvorů S_o , který je jedním ze vstupních parametrů.



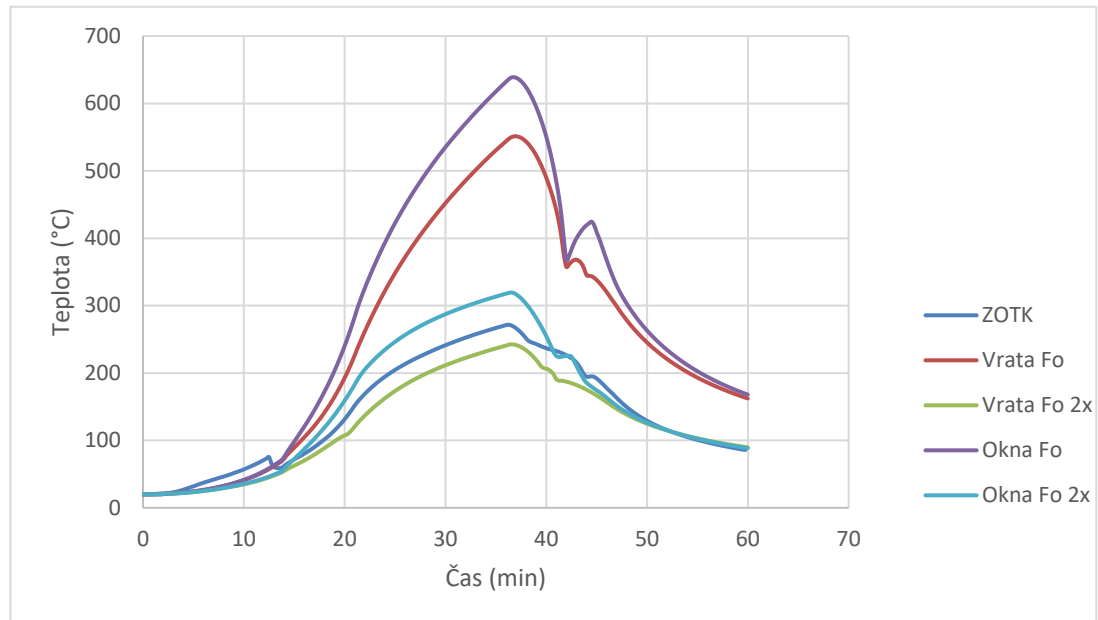
Obr. 41 - Teplota horní vrstvy při posunu horní hrany otvorů do polohy $2/3 h_s$

Na Obr. 41 můžeme vidět porovnání, kdy v rámci simulací došlo, jak u okenních otvorů, tak u navrhovaných sekčních vrat k posunu otvorů tak, aby horní hrana otvoru vycházela do $2/3 h_s$. Průběhy teplot jsou na grafu značeny popisem „A“ a původně modelované polohy otvorů jsou značeny písmenem „B“. Z výsledků je patrné, že k drobné odchylce výsledné teploty horní vrstvy došlo pouze v nerealistickém scénáři, a to při posunu sekčních vrat do nové pozice. Teplota v tomto případě dosahuje o 6 % nižších hodnot, než je tomu u všech ostatních příkladů.

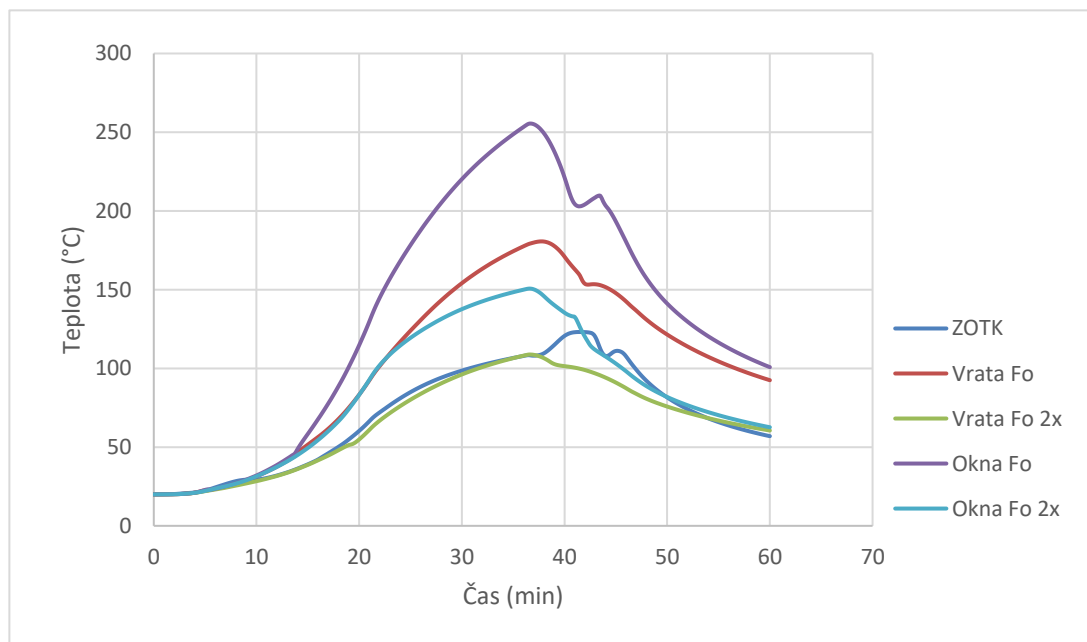
Vzhledem k tomu, že se jedná o takto malou odchylku, je možné ji zanedbat a na základě všech výsledků konstatovat, že pokud samočinné otevíravé otvory jsou umístěny do $2/3 h_s$ a jejich velikost se limitně blíží k parametru $S_o h_o^{1/2} / S_k \geq 0,035 m^{1/2}$, je maximální dosažená teplota v řešeném prostoru, bez ohledu na velikost a polohovou úroveň otvoru, vždy stejná.

Účinek zařízení odvodu tepla a kouře v porovnání se samočinně otevíravými otvory se v jednotlivých halách výrazně liší. Na výsledcích pozorujeme, že účinnost požárního větrání v hale B, s vyšší světlou výškou oproti samočinně otevíravým otvorům, je až dvojnásobná. Tento jev lze přisuzovat jedině měněné konstantě v tomto modelu, a to samotné světlé výšce jednotlivých hal.

Z těchto výsledků lze usuzovat, že čím vyšší je světlá výška h_s řešeného prostoru tím větší je rozdíl mezi účinností těchto zaměřovaných způsobů větrání. Vzhledem k tomu, že v této práci jsou porovnány pouze dva modely, není zde dostatek výsledků na parametrizaci a zjednodušení tohoto účinku.



Obr. 42 - Souhrn výsledků teploty spodní vrstvy modelu haly A



Obr. 43 - Souhrn výsledků teploty spodní vrstvy modelu haly A

U zónových modelů sledujeme nejen teplotu v horní vrstvě, ale také průběh teploty ve spodní vrstvě, kde dochází zpravidla k přívodu studeného vzduchu z vnějšího prostředí, a tím k ochlazení této vrstvy.

Na výsledcích můžeme pozorovat, že pokud zařízení odvodu tepla a kouře nahradíme systémem samočinně otevíravých otvorů v limitní požadované hodnotě kdy $S_o h_o^{1/2} / S_k \geq 0,035 m^{1/2}$, dochází v tomto prostoru z pohledu rozvoje tepla a při pozorování maximálních dosažených teplot k vyšším hodnotám.

V případě, že budeme posuzovat větrání prostoru pomocí sekčních vrat, oproti větrání systémem ZOTK, je výsledná teplota při tomto způsobu odvětrání vyšší o 103 % v hale A, a o 42 % v hale B. Rozdíly teplot mezi jednotlivými způsoby větrání jsou v tomto případě způsobeny výškovou polohou umístění přírodních otvorů chladného vzduchu do řešeného prostoru. Umístění sekčních vrat je z hlediska účinnosti na ochlazení plynu ve spodní vrstvě vhodnější, a to v souvislosti s tlakovými poměry v rámci přírodních otvorů.

Pokud bude docházet ke zvyšování počtu ventilačních otvorů, pozorujeme jak v horní, tak spodní vrstvě, pokles maximálních dosažených teplot. V námi zvolených modelech lze pozorovat, že v případě navýšení celkového množství odvodních otvorů, dochází k vyrovnání účinku systému ZOTK se samočinně otevíravými otvory a v některých simulacích i ke zlepšení výsledných hodnot.

U posuzování těchto modelů je nutné brát v úvahu, že simulace a model hal s požárním větráním viz Obr. 17 a Obr. 28 jsou rozděleny na dvě samostatné kouřové sekce. Při porovnání dosažených teplot ve spodní vrstvě druhé sekce s teplotami při větrání prostoru samočinně otevíravými otvory, je teplota ve spodní zóně vždy u požárního větrání významně nižší než u větrání samočinně otevíravými otvory.

4.4 Vyhodnocení výsledků

V závěru předchozí kapitoly bylo zmíněno, že pokud dochází ke zvýšení množství samočinně otevíravých otvorů, tedy k navyšování parametru odvětrání $S_o h_o^{1/2} / S_k$, dochází ke snížení rozdílu účinku mezi jednotlivými posuzovanými systémy odvětrání.

Z prezentace výsledků v předchozích kapitolách je možné usuzovat, že limitní hodnota parametru odvětrání, kdy $S_o h_o^{1/2} / S_k = 0,035 m^{1/2}$ dle čl. 6.6.11 ČSN 73 0802, není z pohledu rozvoje tepla, a s tím spojených možných negativních dopadů na nosné konstrukce objektu zvolena

tak, aby v případě náhrady zařízení odvodu tepla a kouře za systém samočinně otevíravých otvorů mohl být tento systém účinně zaměňován. V případě zvýšení počtu samočinně otevíravých otvorů klesá rozdíl maximálních dosažených teplot mezi systémem ZOTK a přirozeným odvětráním.

Abychom dokázali na zvolených modelech posoudit a popřípadě stanovit vhodnější parametr odvětrání, kde teplota v zadaném prostoru bude při srovnání těchto způsobů větrání stejná, je nutné na větším počtu simulací upravovat parametr $S_o h_o^{1/2} / S_k$ tak, abychom z výsledných hodnot sestavili závislost účinnosti přirozeného větrání oproti zařízení odvodu tepla a kouře.

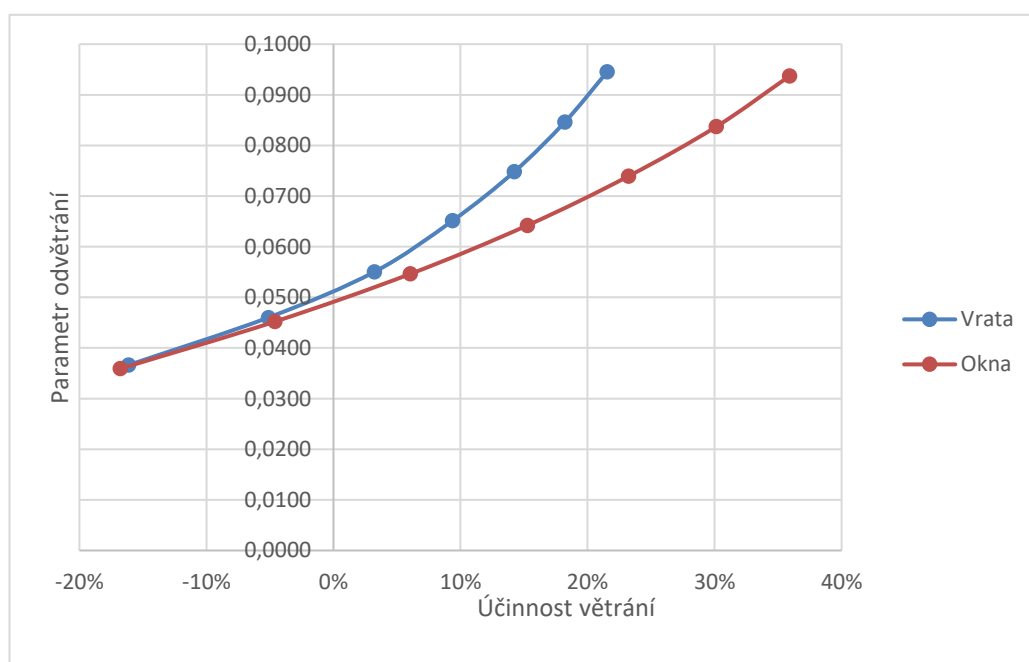
V tabulce 1 a 2 jsou uvedeny parametry odvětrání, vycházející z upravovaného množství otevíravých otvorů v jednotlivých simulacích, a to jak pro halu A, tak pro halu B. Na základě stanovení maximálních teplot v horní a spodní vrstvě každého ze zónových modelů, můžeme na následujících grafech porovnat, jak se mění maximální dosažená teplota v navrhovaném úseku při změně parametru odvětrání ve srovnání s větráním systémem zařízení odvodu tepla a kouře.

Tabulka 1 - Výsledky teplot pro halu A s odlišnými parametry odvětrání

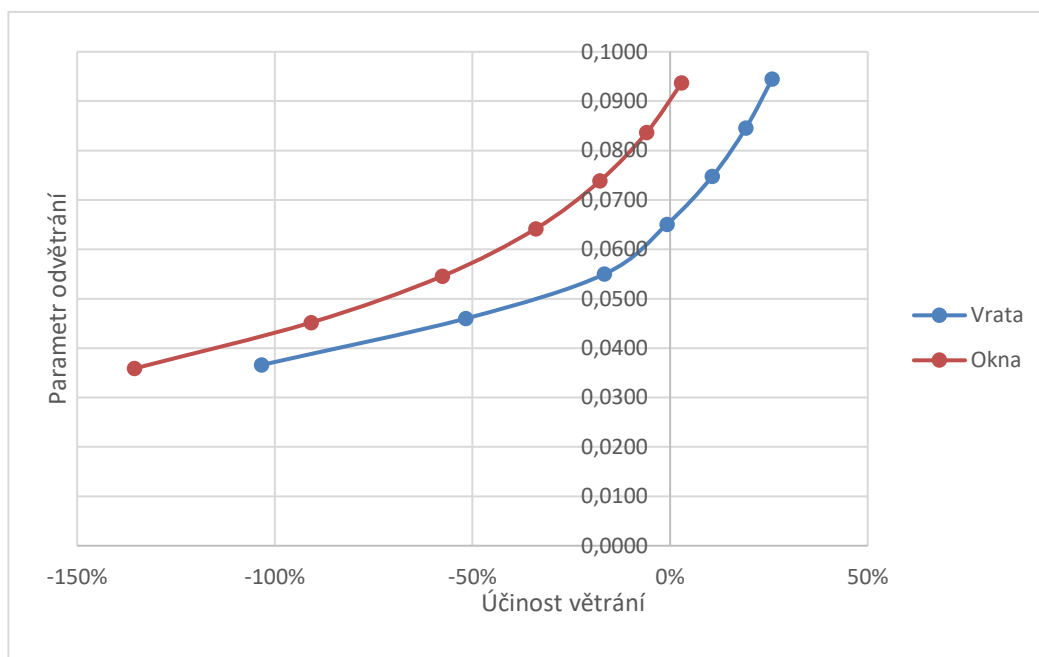
Hala A				
Popis otvoru	Počet otvorů	Parametr odvětrání	Max. teplota horní vrstva	Max. teplota spodní vrstva
Sekční vrata rozměr 4 x 3 m	4	0,0366	906	551
	5	0,0460	820	411
	6	0,0550	755	316
	7	0,0651	707	273
	8	0,0748	669	242
	9	0,0846	638	219
	10	0,0945	612	201
Okenní otvory rozměr 1 x 1,6 m	40	0,0359	911	638
	50	0,0452	816	517
	60	0,0546	733	427
	70	0,0642	661	363
	80	0,0739	599	319
	90	0,0837	545	287
	100	0,0937	500	263

Tabulka 2 - Výsledky teplot pro halu B s odlišnými parametry odvětrání

Hala B				
Popis otvoru	Počet otvorů	Parametr odvětrání	Max. teplota horní vrstva	Max. teplota spodní vrstva
Sekční vrata rozměr 3,5 x 4,2 m	6	0,0397	523	180
	7	0,0465	495	154
	8	0,0533	473	141
	9	0,0602	455	130
	10	0,0671	440	121
	11	0,0740	427	114
	12	0,0810	416	108
Okenní otvory rozměr 1 x 1,6 m	80	0,0359	522	255
	92	0,0415	481	227
	104	0,0471	446	205
	116	0,0527	415	189
	128	0,0584	387	175
	140	0,0642	362	164
	160	0,0739	328	150

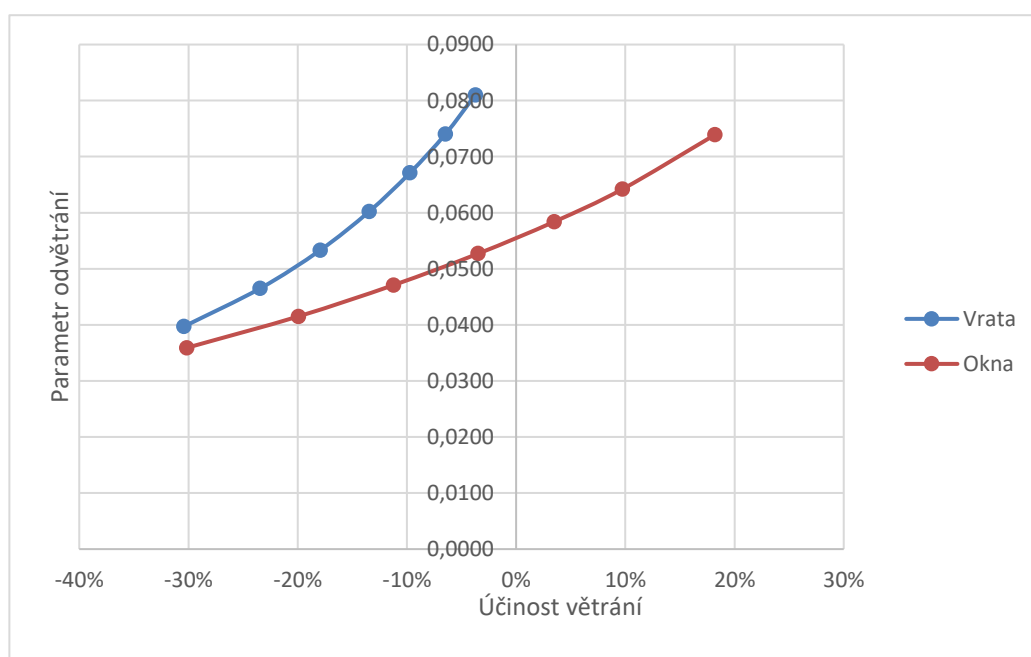


Obr. 44 - Vliv změny parametru odvětrání ve srovnání s ZOTK na maximální dosažnou teplotu v horní vrstvě zónového modelu pro halu A



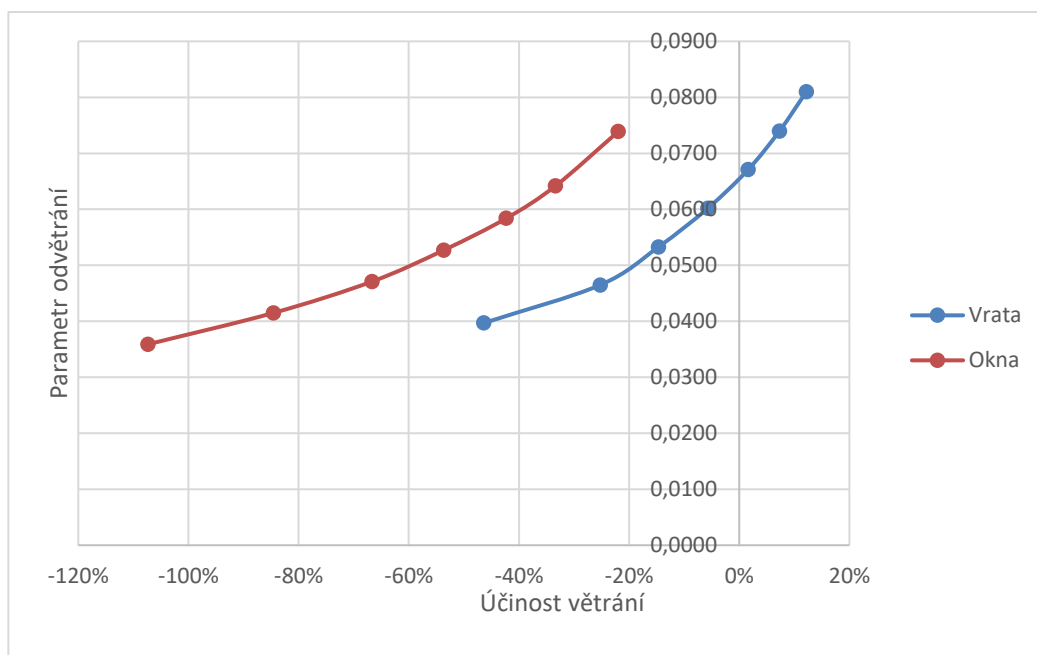
Obr. 45 - Vliv změny parametru odvětrání ve srovnání s ZOTK na maximální dosažnou teplotu ve spodní vrstvě zónového modelu pro halu A

V hale A pozorujeme, že u systému přirozeného odvětrání, bez ohledu na umístění větracích otvorů, teplota v horní vrstvě dosahuje stejných hodnot v porovnání se zařízením odvodu tepla a kouře, pokud parametr odvětrání $S_o h_o^{1/2} / S_k$ je roven hodnotě $0,051 \text{ m}^{1/2}$.



Obr. 46 - Vliv změny parametru odvětrání ve srovnání s ZOTK na maximální dosažnou teplotu v horní vrstvě zónového modelu pro halu B

Oproti tomu v hale B pozorujeme, že na výsledcích nelze jednoznačně stanovit optimální parametr odvětrání pro zvolené větrací otvory.



Obr. 47 - Vliv změny parametru odvětrání ve srovnání s ZOTK na maximální dosažnou teplotu v horní vrstvě zónového modelu pro halu B

Na základě všech výsledků nelze, z hlediska rozvoje teploty, jednoznačně stanovit optimální výslednou hodnotu parametru odvětrání pro efektivní náhradu systému zařízení odvodu tepla a kouře. Zásadní význam v tomto případě má samotná výška větracích otvorů, polohové umístění a světlá výška větraného prostoru.

Pro vytvoření zjednodušeného numerického odvození možnosti zastupitelnosti těchto systémů větrání by bylo nutné zpracovat více modelových příkladů včetně jejich ověření v jiných modelovacích softwarech, abychom dokázali sestavit základní podmínku pro účinnou záměnu těchto větracích systémů.

5 Závěr

Zařízení odvodu tepla a kouře patří z hlediska požární bezpečnosti k jednomu z aktivních požárně bezpečnostních zařízení, které se významným vlivem podílí nejen na zajištění bezpečných podmínek pro evakuaci osoba a zlepšení podmínek zásahu jednotek HZS, ale zásadním vlivem se podílí taktéž na odvádění tepla z chráněného prostoru, a tím snižuje tepelné namáhání stavebních konstrukcí a následky škod na zařízení či budově samotné. Naproti tomu systém přirozeného odvětrání, kdy není omezen odvod zplodin hoření z řešených prostor, je v současné době hojně využívanou alternativou v případě požadavků na instalaci právě tohoto prvku požární ochrany.

V této práci byly posuzovány oba způsoby větrán a jejich vliv ve zvolených stavbách, při zachování jednotného požárního scénáře. Na základě uvedených příkladů lze konstatovat, že zařízení odvodu tepla a kouře je z hlediska účinku snížení teplotního namáhání nosných konstrukcí a rozvoje tepla v řešeném prostoru jen obtížně nahraditelné. Normová hodnota, stanovená z hlediska zastupitelnosti těchto systémů, je účinná pouze z hlediska evakuace osob, pro kterou tato hodnota byla stanovena, ale nelze tímto systémem plně nahradit ostatní výhody, které v případě instalace ZOTK do stavby, tento systém bezpodmínečně má.

Zásadními parametry, na kterých bezpodmínečně záleží účinnost samočinně otevíravých otvorů v porovnání se systémem zařízení odvodu tepla a kouře jsou:

- výška otvoru
- výšková úroveň umístění otvoru
- světlá výška prostoru

Za předpokladu, že bychom provedli dostatečný počet modelových simulací s verifikací a validací v jiných softwarech, mohli bychom stanovit parametrický vzorec pro běžné využití této metodiky v praxi.

Pokud se v rámci projektování staveb rozhodneme na místo zařízení odvodu tepla a kouře využít systému samočinně otevíravých otvorů, musíme nejprve zohlednit, zda pro námi navrhovaný typ a účel stavby je tato záměna vhodná. Systémem zařízení odvodu tepla a kouře, jak bylo prokázáno touto prací, dosahujeme z hlediska rozvoje tepla nižších výsledných hodnot a můžeme tedy předpokládat, že i menších škod, a to na objektu samotném tak i na zařízení a vybavení v něm.

Z pohledu investorů se již ve fázi projektování klade důraz na maximální snížení nákladů na výstavbu budov. Právě jednou z možností je využití záměny těchto systémů. Z ne odborného pohledu se může zdát, že náklady na pořízení zařízení odvodu tepla a kouře jsou v porovnání s využitím otevíravých otvorů, daleko vyšší. Z těchto důvodů je vždy při návrhu nutné zohlednit nejen ekonomické dopady na záměnu těchto systémů, ale případné náklady na nutnost instalace dodatečné pasivní ochrany na konstrukce objektu či samotné provedení samočinně otevíravých otvorů. Příkladem je užití odvětrání prostor pomocí dveřních či okenních křídel, kdy tyto prvky musí být osazeny samootevíracím zařízením (motory), včetně elektromotorických zámků, kde se cena vybavení, pro dveřní křídlo, pohybuje okolo 80 000,- Kč.

V této práci bylo prokázáno, že splněním minimální hodnoty parametru odvětrání $S_o h_o^{1/2} / S_k$, stanoveným dle ČSN 73 0802 nelze vždy a ve všech ohledech nahradit systém zařízení odvodu tepla a kouře z pohledu rozvoje tepla v požárním úseku.

Seznam obrázků

Obr. 1 - Trojúhelník hoření	10
Obr. 2 - Fáze rozvoje požáru v uzavřeném prostoru [5;16]	12
Obr. 3 - Všeobecná klasifikace fází požáru [17].....	12
Obr. 4 - Účinnost požární ochrany v závislosti na průběhu požáru [18]	13
Obr. 5 - Schéma vývinu kouře a tepla v průběhu požáru [8]	16
Obr. 6 - Dělení požárního úseku na kouřové sekce	17
Obr. 7 - Příklad výrobku kouřové zábrany.....	18
Obr. 8 - Poloha neutrální rovina [7].....	19
Obr. 9 - Střešní světlík pro odvod kouře a tepla	20
Obr. 10 - Příklad modelu v programu CFAST.....	29
Obr. 11 - Vstupní charakteristika HRR pro model v programu CFD.....	32
Obr. 12 - Rychlost uvolňování tepla podle stanoveného požárního scénáře	33
Obr. 13 - Stěnový panel KINGSPAN KS1000/1150 FR	34
Obr. 14 - Střešní panel KINSPAN KS1000FF	34
Obr. 15 - Půdorys haly B	36
Obr. 16 - Řez halou B	36
Obr. 17 - Model haly A větrané systémem ZOTK.....	57
Obr. 18 - Teplota horní vrstvy obou kouřových sekcí při větrání objektu systémem ZOTK .	57
Obr. 19 - Teplota spodní vrstvy pro jednotlivé kouřové sekce	58
Obr. 20 - Model haly A větrané sekčními vraty.....	58
Obr. 21 - Model haly A větrané dvojnásobným počtem sekčních vrat.....	59
Obr. 22 - Teplota horní vrstvy modelu při větrání prostoru sekčními vraty	59
Obr. 23 - Teplota spodní vrstvy modelu při větrání prostoru sekčními vraty.....	60
Obr. 24 - Model haly A větrané okenními otvory.....	61
Obr. 25 - Model haly A větrané dvojnásobným počtem okenních otvorů.....	61
Obr. 26 - Teplota horní vrstvy modelu při větrání prostoru okenními otvory	62
Obr. 27 - Teplota spodní vrstvy modelu při větrání prostoru okenními otvory.....	63
Obr. 28 - Model haly B větrané systémem ZOTK.....	64
Obr. 29 - Teplota horní vrstvy modelu při větrání prostoru systémem ZOTK.....	64
Obr. 30 - Teplota spodní vrstvy modelu při větrání prostoru systémem ZOTK.....	65
Obr. 31 - Model haly B větrané sekčními vraty.....	65

Obr. 32 - Model haly B větrané dvojnásobným počtem sekčních vrat.....	66
Obr. 33 - Teplota horní vrstvy modelu při větrání prostoru sekčními vraty	66
Obr. 34 - Teplota spodní vrstvy modelu při větrání sekčními vraty	67
Obr. 35 - Model haly B při větrání okenními otvory	68
Obr. 36 - Model haly B při větrání dvojnásobným počtem okenních otvorů	68
Obr. 37 - Teplota horní vrstvy modelu při větrání okenními otvory	69
Obr. 38 - Teplota spodní vrstvy modelu větrané okenními otvory	70
Obr. 39 - Souhrn výsledků teploty horní vrstvy modelu haly A.....	71
Obr. 40 - Souhrn výsledků teploty horní vrstvy modelu haly B.....	72
Obr. 41 - Teplota horní vrstvy při posunu horní hrany otvorů do polohy $2/3 h_s$	73
Obr. 42 - Souhrn výsledků teploty spodní vrstvy modelu haly A.....	74
Obr. 43 - Souhrn výsledků teploty spodní vrstvy modelu haly A.....	74
Obr. 44 - Vliv změny parametru odvětrání ve srovnání s ZOTK na maximální dosažnou teplotu v horní vrstvě zónového modelu pro halu A.....	77
Obr. 45 - Vliv změny parametru odvětrání ve srovnání s ZOTK na maximální dosažnou teplotu ve spodní vrstvě zónového modelu pro halu A.....	78
Obr. 46 - Vliv změny parametru odvětrání ve srovnání s ZOTK na maximální dosažnou teplotu v horní vrstvě zónového modelu pro halu B	78
Obr. 47 - Vliv změny parametru odvětrání ve srovnání s ZOTK na maximální dosažnou teplotu v horní vrstvě zónového modelu pro halu B	79

Literatura

1. Ginter, Jiří. Novinky.cz. [Online] 19. 6 2019. <https://www.novinky.cz/ekonomika/clanek/cesko-zaplnuji-haly-vynaseji-pohadkove-40287185>.
2. Fleischer, Libor. Požární odolnost ocelových konstrukcí. [Online] KONSTRUKCE Media, s.r.o., 8. 8 2012. <http://old.konstrukce.cz/clanek/pozarni-odolnost-ocelovych-konstrukci/>. ISSN 1803-8433.
3. Vyhláška č. 246/2001 Sb. *o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru*. Praha : Ministerstvo vnitra České Republiky, 2021.
4. GUARD7. *Proces hoření*. [Online] G U A R D 7, v.o.s. <https://www.guard7.cz/lexikon/proces-horeni>.
5. Dvořák, Otto. TZB-INFO. *Požární bezpečnost a toxicita zplodin hoření při požárech a jejich hašení – I. díl*. [Online] ČVUT Praha, pracoviště UCEEB, 1. 10 2018. <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/17983-pozarni-bezpecnost-a-toxicita-zplodin-horeni-pri-pozarech-a-jejich-haseni-i-dil>.
6. Toman, Stanislav. Časopis VVI. *Požární větrání staveb*. 11. ročník, 2002, 5/2002.
7. Kregl, František. Zařízení k přirozenému odvodu tepla a kouře při požáru. *Nové systémy v požární ochraně*. Praha : Profesní komora požární ochrany, 2007.
8. Toman, Stanislav. Požární minimum pro vzduchotechniku (I). *TZB-info*. [Online] Časopis VVI, 19. 9 2005. <https://www.tzb-info.cz/2725-pozarni-minimum-pro-vzduchotechniku-i>.
9. ČSN 73 0802 ed. 2. *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty*. Praha : UNMZ, 2020.
10. Klote, John H. a Fothergill, John W. *Design of smoke control systems for buildings*. Washington DC : NATIONAL BUREAU OF STANDARDS, 1983. NBS Handbook 141.
11. ČSN 73 0810. *Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení*. Praha : UNMZ, 2016. + Opr.1, 2020.
12. ČSN 73 0804 ed. 2. *Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty*. Praha : UNMZ, 2020.
13. ČSN 73 0831 ed. 2. *Požární bezpečnost staveb - Shromáždovací prostory*. Praha : UNMZ, 2020.
14. ČSN 730845. *Požární bezpečnost staveb - Sklady*. Praha : UNMZ, 2012.
15. ČSN EN 1991-1-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha : UNMZ, 2004. + Opr.1, 2006; + Opr.2, 2010 + Opr.3, 2013.
16. Šenovský, Michail. *Základy požární taktiky*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2001. ISBN: 80-86111-73-3.

-
17. ISO/TR 9122-1. *Toxicity testing of fire effluents - Part 1: General*. 1989.
 18. Dobeš, Martin. Interakce požárně bezpečnostních zařízení SHZ a ZOKT. *Diplomová práce*. Praha : ČVUT Praha, 2017.