



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

POŽÁRNÍ A PROVOZNÍ VĚTRÁNÍ V PODZEMNÍCH GARÁŽÍCH

SERVICE AND FIRE VENTILATION IN UNDEGROUND CAR PARKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Volný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN WEYR

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Marek Volný
Název	Požární a provozní větrání v podzemních garážích
Vedoucí práce	Ing. Jan Weyr
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Platné zákony, vyhlášky, nařízení a normy v oblasti řešení problematiky diplomové práce. Domácí, evropská a světová literatura, sborníky vědeckých konferencí a odborných akcí v oblasti TZB. Stavební dokumentace zadané budovy. Podrobné podklady a další upřesnění stanoví vedoucí diplomové práce při konzultacích.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

- a) titulní list
- b) zadání VŠKP
- c) abstrakt v českém a anglickém jazyce, klíčová slova v českém a anglickém jazyce
- d) bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690
- e) prohlášení autora o původnosti práce, podpis autora
- f) poděkování (nepovinné)
- g) obsah
- h) úvod
- i) vlastní text práce s touto osnovou
 - A. Analýza tématu, cíle a metody řešení
 - literární rešerše ze zadaného tématu
 - analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady
 - cíl práce a zvolené metody řešení, aktuální technická řešení v praxi
 - B. Aplikace tématu na zadaném objektu
stavební řešení a specifikace technického zařízení v prostoru podzemních garáží, návrh technického řešení ve 2 variantách (větrání podzemních garáží) v rozpracovanosti projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva, hodnocení navržených variant řešení z požárního a provozního hlediska
 - C. Modelování a aplikace výpočetní techniky
aplikace software pro FDS modelování rozvoje ohně a kouře v prostoru podzemních garáží a modelování funkčnosti požárního větrání, závěr
- k) seznam použitých zdrojů
- l) seznam použitých zkratk a symbolů
- m) seznam příloh
- n) přílohy

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou požárního odvětrání podzemních garáží. V teoretické části jsou shrnuty legislativní a normové podmínky. Jsou představeny možné simulační postupy a je popsán vliv oxidu uhelnatého, který je hlavní škodlivinou vznikající během provozu v prostoru garáží, na člověka. V praktické části je proveden výpočet a návrh provozního a požárního větrání na zadaném objektu. Funkčnost návrhu požárního větrání je ověřena pomocí FDS simulací.

KLÍČOVÁ SLOVA

Požární větrání, provozní větrání, podzemní garáže, požár automobilu, posuvné JET ventilátory, simulace požáru, kouř, požár, CFD, FDS, Pyrosim

ABSTRACT

The diploma thesis deals with smoke and heat ventilation systems in underground car parks. In the theoretical part of the thesis, legislative and standard background is described. The theoretical part also contains description of fire dynamics simulation methods and effect of carbon monoxide on human health. The practical part includes the design of service, smoke and heat ventilation systems in the selected building. Functionality of particular design is verified by FDS simulations.

KEYWORDS

Heat and smoke ventilation systems, service ventilation systems, underground car parks, car fire, jet fans, fire simulation, smoke, fire, CFD, FDS, Pyrosim

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Marek Volný *Požární a provozní větrání v podzemních garážích*. Brno, 2020. 176 s., 10 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Jan Weyr

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Požární a provozní větrání v podzemních garážích* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 1. 2020

Bc. Marek Volný
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Požární a provozní větrání v podzemních garážích* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2020

Bc. Marek Volný
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucí diplomové práce Ing. Janu Weyrovi, za jeho pomoc, ochotu a rady, kterými mi pomáhal při časově náročných konzultacích v průběhu řešení této práce.

Dále bych chtěl velmi poděkovat zlínskému zastoupení firmy Colt International, s.r.o., jmenovitě panu Ing. Tomáši Mihalovi, který mi velmi ochotně poskytl předběžné normy týkající se požárního větrání, technické listy a podrobnosti výrobků této firmy, a v neposlední řadě své dlouholeté zkušenosti s projektováním systémů pro odvod tepla a kouře.



V neposlední řadě bych chtěl poděkovat firmě Thunderhead Engineering, za bezplatné a rychlé poskytnutí licence na software Pyrosim, pro potřebu vypracování této diplomové práce.



OBSAH

ÚVOD	12
A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ.....	13
A.1 CFD.....	14
A.1.1 Úvod	14
A.1.2 Přístupy k numerickému řešení.....	14
A.1.2.1 Rovnice kontinuity	14
A.1.2.2 Rovnice zachování hybnosti – Cauchyho rovnice	15
A.1.2.3 Přehled matematických modelů turbulence.....	15
A.1.2.3.1 Direct Numerical Simulation (DNS).....	17
A.1.2.3.2 Large Eddy Simulation (LES).....	18
A.1.2.3.3 Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS)	19
A.1.1 Druhy SW pro FDS.....	19
A.2 Normové a legislativní požadavky.....	20
A.2.1 ČSN 73 6058 Jednotlivé, řadové a hromadné garáže.....	20
A.2.1.1 Provozní větrání.....	20
A.2.1.2 Havarijní větrání.....	22
A.2.1.3 Požární větrání	22
A.2.2 Požadavky zahraničních norem.....	24
A.3 Oxid uhelnatý a jeho vliv na člověka.....	24
A.4 Cíl práce a zvolené metody řešení, aktuální technická řešení v praxi	27
A.4.1 Klasické systémy OTK.....	28
A.4.2 Systémy s posuvnými ventilátory	28
A.4.2.1 Posuvné ventilátory impulzní.....	30
A.4.2.2 Posuvné ventilátory indukční.....	30
B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉM OBJEKTU	33
B.1 Popis objektu.....	34
B.2 Výpočet a návrh	34
B.2.1 Provozní větrání.....	35
B.2.1.1 Výpočet průtoku vzduchu	37
B.2.1.1.1 Vstupní údaje	37
B.2.1.1.2 Výpočet provozních údajů	37
B.2.1.2 Výpočet tlakových ztrát	42
B.2.1.3 Návrh odtahových ventilátorů	46
B.2.2 Požární větrání	50
B.2.2.1 Výpočet parametru odvětrání dle ČSN 73 0804 – 6.4.....	51

B.2.2.2	Výpočet průtoku vzduchu	52
B.2.2.2.1	Návrhový požár	52
B.2.2.2.2	Množství uvolněného tepla sdíl. prouděním Q_1 dle ČSN 73 0802	53
B.2.2.2.3	Výpočet hmotnostního toku kouře dle ČSN EN 12101-5.....	54
B.2.2.3	Kouřové sekce.....	56
B.2.2.4	Kouřová zástěna.....	59
B.2.2.5	Bezkouřová výška	61
B.2.2.6	Návrh odtahových ventilátorů	62
B.2.2.6.1	Výpočet tlakových ztrát	64
B.2.2.6.2	Návrh ventilátorů	67
B.2.2.7	Návrh posuvných ventilátorů.....	72
B.2.2.7.1	Varianta s impulzními ventilátory	72
B.2.2.7.2	Varianta s indukčními ventilátory	76
C.	MODELOVÁNÍ A APLIKACE VÝPOČETNÍ TECHNIKY.....	82
C.1	Ověření navržené varianty pomocí FDS analýzy	83
C.1.1	Stanovená kritéria simulací	83
C.1.2	Okrajové podmínky simulace.....	84
C.1.2.1	Parametry simulace.....	84
C.1.2.2	Parametry modelu	84
C.1.2.3	Mesh.....	85
C.1.2.4	Doba trvání simulace	86
C.1.2.5	Modelování požáru	87
C.1.2.5.1	Přístupy dle různých norem.....	87
C.1.2.5.2	Křivka požáru (Total Heat Release Rate curve)	88
C.1.2.5.3	Zvolené parametry simulovaného požáru.....	89
C.1.2.5.4	Polyurethane GM27	90
C.1.2.6	Výpočtová doba požáru.....	90
C.1.2.7	Celkový přehled – časová osa	92
C.1.3	Modelování ventilátorů	93
C.1.3.1	Posuvné	93
C.1.3.2	Odtahové.....	93
C.1.4	Modelování přívodních otvorů	94
C.1.5	Model automobilů.....	95
C.1.6	Simulované scénáře	96
C.1.6.1	Scénář 1	98
C.1.6.2	Scénář 2	99

C.1.6.3	Scénář 3	100
C.1.6.4	Scénář 4	100
C.1.6.5	Scénář 5	101
C.1.7	Přehled provedených simulací	102
C.1.8	Sledované veličiny	103
C.2	Výsledky	106
C.2.1	Navrhované řešení (scénář 2) – Sekce 1 – Grafická část	107
C.2.1.1	Výskyt kouře (zplodin hoření)	107
C.2.1.2	Viditelnost [m] v různých rovinách	108
C.2.1.3	Viditelnost [m] v rovině XY ve výšce 1,75 m	109
C.2.1.4	Rychlost vzduchu [m/s] v rovině XY ve výšce 1,75 m	110
C.2.1.5	Rychlost vzduchu [m/s] v rovině XY ve výšce 2,5 m	111
C.2.1.6	Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 1,75 m	112
C.2.1.7	Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 2,75 m	113
C.2.2	Navrhované řešení (scénář 2) – Sekce 1 – Textová část	114
C.2.2.1	Vývoj teploty [°C] nad středem požáru, výška 2,75 m	118
C.2.2.2	Vývoj teploty [°C] na nejbližším posuv. ventilátoru, výška 2,5 m	119
C.2.2.3	Výška spodní hr. kouřové vrstvy ve vzdál. 10 m od ložiska požáru	120
C.2.2.4	Tepelný výkon požáru v závislosti na době (HRR)	121
C.2.3	Porovnání scénářů – Sekce 1	121
C.2.3.1	Vliv anglických dvorců	122
C.2.3.1.1	Viditelnost [m] v rovině XY ve výšce 1,75 m	122
C.2.3.1.2	Rychlost vzduchu [m/s] v rovině XY ve výšce 2,5 m	123
C.2.3.1.3	Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 2,75 m	124
C.2.3.2	Vliv Jetů	125
C.2.3.2.1	Viditelnost [m] v rovině XY ve výšce 1,75 m	125
C.2.3.2.2	Rychlost vzduchu [m/s] v rovině XY ve výšce 2,5 m	126
C.2.3.2.3	Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 1,75 m	127
C.2.3.2.4	Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 2,5 m	128
C.2.3.2.5	Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 2,75 m	129
C.2.3.3	Vývoj teploty [°C] nad středem požáru, výška 2,75 m	131
C.2.3.3.1	Vývoj teploty [°C] na nejbližším posuv. ventilátoru, výška 2,5 m ...	132
C.2.3.4	Vliv použití 10 h ⁻¹ výměny vzduchu	134
C.2.3.4.1	Viditelnost [m] v rovině XY ve výšce 1,75 m	134
C.2.3.4.2	Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 2,75 m	135
C.2.3.5	Vliv obsazenosti garáží	137

C.2.3.5.1	Viditelnost [m] v rovině XY ve výšce 1,75 m.....	137
C.2.4	Navrhované řešení (scénář 2) – Sekce 2 – Grafická část	139
C.2.4.1	Výskyt kouře (zplodin hoření)	139
C.2.4.2	Viditelnost [m] v různých rovinách.....	140
C.2.4.3	Viditelnost [m] v rovině XY ve výšce 1,75 m.....	141
C.2.4.4	Rychlost vzduchu [m/s] v rovině XY ve výšce 1,75 m.....	142
C.2.4.5	Rychlost vzduchu [m/s] v rovině XY ve výšce 2,5 m	143
C.2.4.6	Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 1,75 m.....	144
C.2.4.7	Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 2,75 m.....	145
C.2.5	Navrhované řešení (scénář 2) – Sekce 2 – Textová část.....	146
C.2.5.1	Vývoj teploty [°C] nad středem požáru, výška 2,75 m	150
C.2.5.2	Vývoj teploty [°C] na nejbližším posuv. ventilátoru, výška 2,5 m.....	151
C.2.5.3	Výška spodní hr. kouřové vrstvy ve vzdál. 10 m od ložiska požáru	152
C.2.5.4	Tepelný výkon požáru v závislosti na době (HRR).....	153
C.2.6	Porovnání scénářů – Sekce 2	154
C.2.7	Hodnocení jednotlivých řešení z hlediska doby odvětrání.....	155
ZÁVĚR	.....	156
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	.....	158
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	.....	160
SEZNAM OBRÁZKŮ	.....	162
SEZNAM TABULEK	.....	164
SEZNAM GRAFŮ	.....	165
SEZNAM PŘÍLOH	.....	166
PŘÍLOHA Č. 1	Varianta s impulzními ventilátory.....	167

ÚVOD

Cílem mé diplomové práce je navržení provozního a požárního systému větrání v podzemních garážích. Podzemní garáže jsou součástí novostavby administrativního komplexu tří budov v Liberci. Projekt bude navržen ve dvou variantách. Účinnost požárního větrání bude ověřena simulacemi CFD.

V teoretické části budou představeny možné simulační postupy v CFD včetně jednotlivých druhů matematických modelů turbulencí a numerických přístupů. Dále se bude věnovat legislativním a normovým podmínkám pro návrh provozního a požárního (ZOKT) větrání v podzemních garážích a účinkům oxidu uhelnatého na člověka.

V praktické části se přesuneme k výpočtu a návrhu provozního a požárního větrání podzemních garáží na zadané administrativní budově.

Funkčnost variant bude ověřena pomocí FDS simulací. Pro zjištění faktorů, které mají vliv na dobu úplného odvětrání garáží, změnu rychlosti vzduchu nebo průběh teplot. Výsledky z těchto simulací se následně shrnou a vyhodnotí.

Obor zabývající se technickým zařízením budov jsem si vybral jako svou specializaci už v průběhu bakalářského studia. Po jeho úspěšném absolvování jsem se v tomto oboru rozhodl pokračovat v rámci magisterského studia.

Toto téma diplomové práce jsem si vybral, protože jsem se chtěl dozvědět více o CFD simulacích, a hlavně si vyzkoušet jejich aplikaci při řešení reálných technických problémů. Taktéž problematika systémů ZOKT je pro mne osobně velice zajímavá, a jak jsem později zjistil, je velmi specifickým odvětvím TZB.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Volný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN WEYR

BRNO 2020

A.1 CFD

A.1.1 Úvod

CFD je nástrojem sloužícím k simulacím chování systémů v nichž dochází k proudění tekutin, sdílení tepla a jiným doplňujícím procesům. Je založena na řešení rovnic metodou konečných prvků mechaniky tekutin ve výpočtové oblasti se specifikovanými okrajovými podmínkami.

FDS je nejčastěji využívaný model CFD pro problematiku přenosu tepla a kouře během požáru.

A.1.2 Přístupy k numerickému řešení

Při řešení přenosu hybnosti proudění se používají rovnice kontinuity a rovnice zachování hybnosti. Pokud se jedná o proudění, které je stlačitelné, nebo zahrnuje přenos tepla, je potřeba řešit rovnici zachování energie. Pokud dochází ke směšování, hoření nebo chemickým reakcím, používají se další bilanční rovnice.

A.1.2.1 Rovnice kontinuity

Rovnice kontinuity vyjadřuje zákon zachování hmoty. [2]

Je popsána vztahem: $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m$

kde: S_m – je zdroj hmoty přidané do spojitě fáze z dispergované druhé fáze, např. odpaření kapek

ρ – prostorová hustota zachovávaných se veličin

$\frac{\partial}{\partial t}$ – derivace podle času

$(\rho \vec{v})$ – hustota toku zachovávaných se veličin

$\nabla \cdot (\rho \vec{v})$ – divergence hustoty toku

A.1.2.2 Rovnice zachování hybnosti – Cauchyho rovnice

Pokud proudění zahrnuje přenos tepla (neboj je proudění stlačitelné), je potřeba řešit i rovnici zachování energie. [1]

$$\text{Výpočet dle vzorce: } \frac{\partial \rho}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot \vec{\tau} + \rho \vec{g} + \vec{F}$$

kde: p – statický tlak

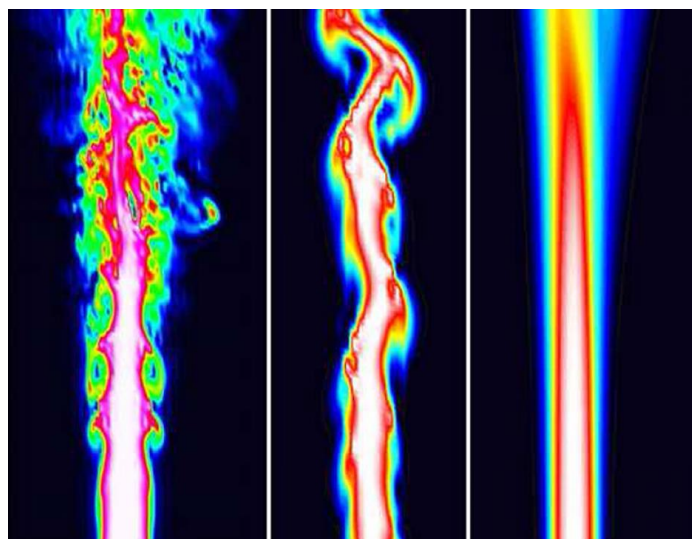
$\vec{\tau}$ – tenzor smykových napětí

$\rho \vec{g}$ – gravitační objemové síly

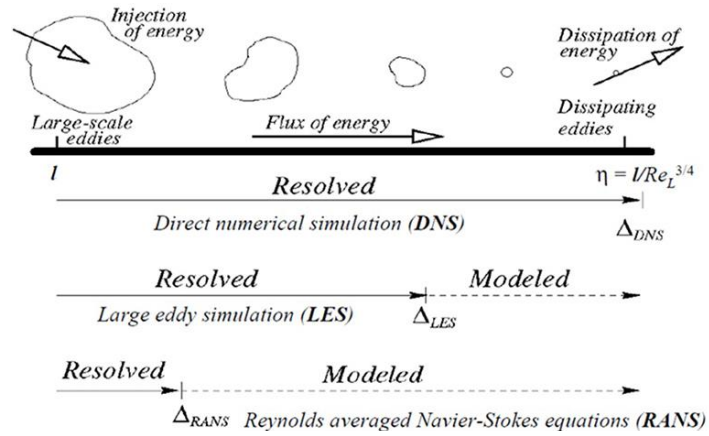
\vec{F} – další vnější objemové síly

A.1.2.3 Přehled matematických modelů turbulence

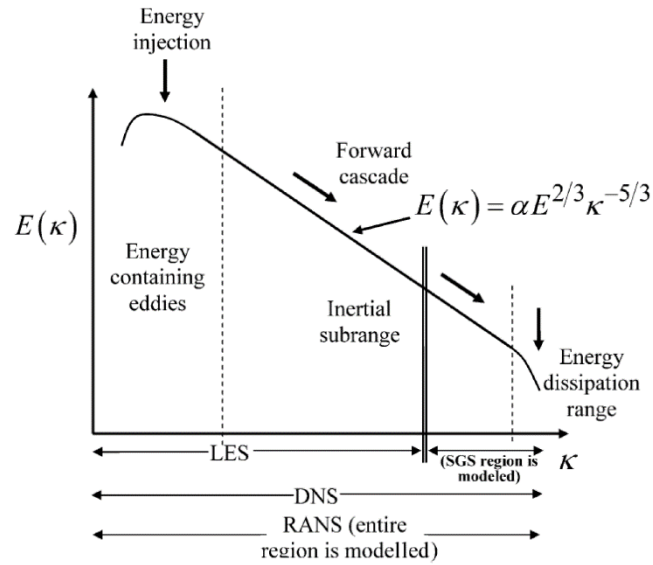
Turbulence je náhodný pohyb částic tekutiny nebo plynu. Turbulentní proudění se skládá z množství různě velkých turbulentních vírů. Jejich velikost je závislá na množství energie, kterou obsahují. Největší víry se v závislosti na čase postupně dělí na menší víry, které se taktéž postupně rozpadají na menší, a to až do chvíle, kdy dojde k disipaci energie nejmenších vírů v teplo. Pro modelování turbulence existuje několik modelů, z nichž každý je vhodný pro rozdílné případy v závislosti na množství času pro simulaci, výkonu výpočetní techniky, způsobu toku a hlavně na požadované přesnosti řešení. [1]



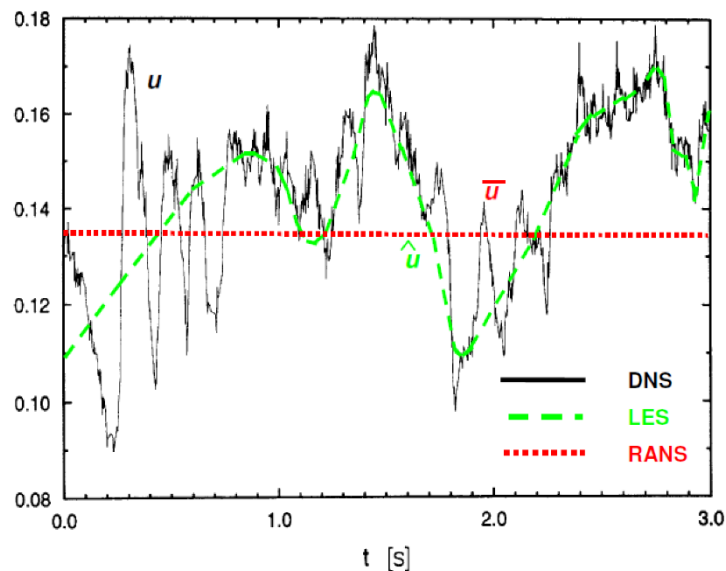
Obrázek 1 – DNS (vlevo), LES (uprostřed), RANS (vpravo) [10]



Obrázek 2 – Možnosti řešících modelů podle měřítka vírů v modelu [11]



Obrázek 3 – Princip metod modelování turbulence [1]



Obrázek 4 – Energetické spektrum turb. vírů pro modely RANS, LES a DNS [1]

A.1.2.3.1 Direct Numerical Simulation (DNS)

Tato metoda má velké výpočetní nároky (většinou však není potřeba řešit všechny velikosti fluktuací, to ve k zjednodušení a zrychlení výpočtu. Pomocí ní lze totiž řešit teoreticky celou škálu velikostí turbulentních fluktuací. Při použití této metody nedochází k modelování turbulence, ale řešení Navier-Stokesovy rovnice s vysokou přesností. Poskytuje tak dokonalý obraz fyziky proudící tekutiny.

Pro použití této metody je nezbytná velmi jemná síť modelu. Velikost buněk odpovídá velikosti nejmenších vírů (tzv. Kolmogorovo mikroměřítko turbulence). Počet buněk výpočetní sítě pak velmi rychle narůstá s Reynoldsovým číslem $N_{DNS} \approx Re^{9/4}$. Takto vytvořená výpočetní síť s mnoha elementy pak spolu s malým časovým krokem simulace vede k nereálnosti inženýrských výpočtů, z důvodů časové a výkonové náročnosti. Z těchto důvodů se DNS simulace používá jen ve zvláštních případech pro vědecké účely.

Pokud je simulace správně provedena, jsou její výsledky považovány za ekvivalentní k výsledkům získaných pomocí experimentů. [1]

A.1.2.3.1.1 Reynoldsovo číslo

Vyjadřuje vztah setrvačných a vazkých sil v rychlostní mezní vrstvě. Setrvačné síly navyšují hybnostní tok tekutiny, vazké síly naopak hybnost brzdí a brání rozruchům v toku, aby zesílily v turbulentní víry, udržují tak laminární režim proudění. [2]

$$Re = \frac{\text{setrvačné síly}}{\text{vazké síly}} = \frac{uL}{\nu}$$

A.1.2.3.1.2 Prandtlovo číslo

Prandtlovo číslo vyjadřuje poměr hybnostní difuzivity k tepelné difuzivitě v mezní vrstvě, tedy jaký způsob přenosu energie v proudící tekutině převládá – hybnosti nebo tepla v rychlostní a tepelné mezní vrstvě.

$$\text{Výpočet dle vzorce: } Pr = \frac{\text{hybnost}}{\text{tepelná difuze}} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\frac{\mu}{\rho}}{\frac{k}{\rho \times c_p}} = \frac{c_p \times \mu}{k} \quad [-]$$

kde: ν – kinematická viskozita [m^2/s]

α – součinitel teplotní vodivosti [m^2/s]

μ – dynamická viskozita [N·s/m²]

C_p – měrná tepelná kapacita [J/kg·K]

ρ – hustota [kg/m³]

k – tepelná vodivost [W/m·K]

Menší hodnoty Prandtlova čísla (např. u tekutých kovů) $Pr \ll 1$ znamenají, že dominantní je tepelná difuze nad hybnostní. Při velkých hodnotách (u olejů) $Pr \gg 1$ je tomu naopak, převládá kinematičká viskozita. Hodnota Pr , míra difuzního přenosu od povrchu do proudu, ovlivňuje vývoj tloušťky rychlostní mezní vrstvy [2]

$$\text{Výpočet dle vzorce: } Pr = \frac{\text{hybnost}}{\text{tepelná difuze}} = \frac{v}{\alpha} = \frac{\frac{\mu}{\rho}}{\frac{k}{\rho \times C_p}} = \frac{C_p \times \mu}{k} [-]$$

kde: v – kinematičká viskozita [m²/s]

α – součinitel teplotní vodivosti [m²/s]

μ – dynamická viskozita [N·s/m²]

C_p – měrná tepelná kapacita [J/kg·K]

ρ – hustota [kg/m³]

k – tepelná vodivost [W/m·K]

Menší hodnoty Prandtlova čísla (např. u tekutých kovů) $Pr \ll 1$ znamenají, že dominantní je tepelná difuze nad hybnostní. Při velkých hodnotách (u olejů) $Pr \gg 1$ je tomu naopak, převládá kinematičká viskozita. Hodnota Pr , míra difuzního přenosu od povrchu do proudu, ovlivňuje vývoj tloušťky rychlostní mezní vrstvy. [2]

A.1.2.3.2 Large Eddy Simulation (LES)

Jedná se o metodu postihující velké víry, která filtruje malé fluktuace a řeší pouze část turbulentního spektra. Veličiny jako hybnost, hmota a energie jsou přenášeny hlavně velkými víry. Základem této metody je řešení vírů jako časově a prostorově závislých útvarů, které lze obsáhnout výpočtovou sítí. Při simulaci je řešena filtrovaná 3D

nestacionární Navier-Stokesova rovnice. Malé víry, které jsou považovány za izotropní, jsou modelovány pomocí subgridních modelů a odstraněny filtrací turbulentního pole. Díky odstranění malých vírů se řeší pouze velké víry. Proto je pro LES možné použít hrubší síť a delší časový krok, než u metody DNS. V porovnání s metodou RANS musí být výpočetní síť jemnější, a výpočty jsou více časově náročné. [1]

Nevýhodou této metody je nutnost velmi jemné sítě u stěn, ve všech třech směrech, protože se zde nachází velká měřítko v turbulentním spektru geometricky velmi malá. Tento problém vede na hybridní modely RANS/LES, které se snaží tento nedostatek odstranit.

A.1.2.3.3 Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS)

Metoda časového středování časově střeďuje veličiny turbulentního proudění pomocí Reynoldsovy rovnice. Reynolds vyšel z předpokladu, že okamžité hodnoty veličin popisující turbulentní proudění lze rozložit na část časově středovanou a flukтуаční složku. Tato metoda je nejčastěji používána pro řešení inženýrských úloh. Nabízí nejlepší kompromis, co se týká doby výpočtu a přesnosti získaných výsledků. Používá se v technických aplikacích, které by kvůli složitému turbulentnímu proudění a velikosti Reynoldsova čísla nebylo možné řešit metodami LES a DNS, pro jejich vysoké nároky na výpočetní techniku. [1]

A.1.1 Druhy SW pro FDS

Firmou Thunderhead Engineering je vytvořen software Pyrosim. Ten v současné verzi používá řešič FDS verze 6.6.0, který poskytuje National Institute of Standards and Technology (NIST) of the United States Department of Commerce. Tento software řeší Navier-Stokesovu rovnici pomocí metody LES nebo DNS. Je vhodný pro pro nízkorychlostní toky s důrazem na přenos kouře a tepla z ohně. Jak už bylo uvedeno, tato metoda řeší víry v závislosti na velikosti meshe. Víry, které mají velikost buňky meshe, jsou řešeny dle N-S rovnice. Účinek vírů, které jsou menší než jednotlivé buňky meshe, je aproximován. [12]

Dalšími SW používající řešič FDS jsou ASPIRE Smoke Detection Simulation, nebo WizFDS – Mateusz Fliszkiewicz. Všechny tyto SW jsou v podstatě GUI (graphical user interface) pro zvýšení uživatelského komfortu a usnadnění práce s řešičem FDS.

A.2 Normové a legislativní požadavky

A.2.1 ČSN 73 6058 Jednotlivé, řadové a hromadné garáže

Tato norma slouží pro navrhování jednotlivých, řadových a hromadných garáží. Je platná od září 2011. Obsahuje informace o typologii a druzích garáží, požadavky na stavební konstrukce a požární bezpečnost – s odkazem na normu ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty. Dále také uvádí požadavky na systémy TZB. Mezi tyto systémy patří větrání, osvětlení a odvodňovací systémy (sloužící pro odvod vody, která se do garáží dostane provozem automobilů).

V hromadných garážích se navrhuje celkem tři druhy větrání – provozní, požární a havarijní.

Nutnost provozního větrání je řešena touto normou, v případě uzavřených podzemních garáží (uzavřených dle normy ČSN 730804) je minimální hodnota výměny vzduchu stanovena na hodnotu půlnásobnou ($0,5 \text{ h}^{-1}$) s použitím nuceného větrání, přirozené provozní větrání je možno navrhovat pouze pro nadzemním podlaží.

Jak už bylo uvedeno, požární větrání hromadných garáží je navrhováno dle normy ČSN 730804. Jeho nutnost je posouzena projektantem PBR na základě většího množství kritérií. Havarijní větrání se navrhuje v případě garáží určených pro parkování vozidel s LPG nebo CNG.

A.2.1.1 Provozní větrání

Prvním je provozní větrání, které slouží k odvětrání škodlivin vznikajících při provozu automobilů v garáži, a zajišťuje tak splnění hygienických limitů koncentrací škodlivin v prostoru garáže pro pohyb osob. Z hlediska požadavků na provozní větrání lze prostory garáží rozdělit na:

- prostory stání a komunikací v samoobslužných garážích s pohybem vozidel vlastní silou
- prostory stání a komunikací v garážích s obsluhou s pohybem vozidel vlastní silou

- prostory automatických parkovacích systémů
- prostory provozní a administrativní
- prostory hygienických zařízení

Toto větrání je nutné navrhnout v garážích, kde se auta pohybují vlastní silou – tedy při pohybu aut dochází k produkci škodlivin z běžících vznětových či zážehových motorů. Hlavními produkovanými škodlivinami jsou CO (oxid uhelnatý), NO_x (oxidy dusíku), C₆H₆ (benzen) a prachové částice. Provozní větrání lze provést jako přirozené, nebo nucené. Přirozené větrání však lze uvažovat pouze pro nadzemní podlaží garáží. Pro podzemní podlaží je vždy nutné navrhnout nucené větrání.

Pro určení podzemního a nadzemního podlaží platí následující – pokud je niveleta podlahy více než 1,5 m pod nejvyšším bodem přilehlého terénu, jedná se o podzemní podlaží. U nadzemního podlaží nesmí být niveleta podlahy níže než 1,5 m pod nejvyšším bodem přilehlého terénu.

Provozní větrání je řízeno systémem MaR, podle měřené koncentrace CO. Nejvyšší přípustná koncentrace CO závisí na tom, zda se jedná o garáž s obsluhou, a tudíž se v prostoru garáže dlouhodobě vyskytují zaměstnanci, nebo se jedná o garáž bez obsluhy.

Nejvyšší přípustná výpočtová koncentrace CO pro nucené větrání v samoobslužných garážích je definována pro 30 minutový pobyt osob v garáži hodnotou 50 ppm. O této maximální době pobytu musí být osoby pohybující se v garáži informovány.

Prostory stání a komunikací v garážích s obsluhou a pohybem vozidel vlastní silou jsou pro zaměstnance navrhovány jako pracoviště. Provozní větrání se tedy musí navrhnout podle požadavků právního předpisu Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., a podle článku A.4 přílohy A (ČSN 73 6058). Pro osmi hodinovou pracovní dobu je nejvyšší přípustná koncentrace CO dána jako přípustný expoziční limit (PEL) C_{PEL} = 26 ppm (30 mg/m³).

V prostorech s automatickými parkovacími systémy nevznikají škodliviny z provozu motorových vozidel. Provozní větrání se proto navrhuje podle požadavků na větrání skladů bez trvalého pobytu osob.

A.2.1.2 Havarijní větrání

Dalším druhem je havarijní větrání. To slouží ke snížení koncentrace hořlavých a výbušných látek v ovzduší garáže tak, aby nedošlo k dosažení hranice výbušnosti. Mezi nebezpečné plyny z hlediska výbuchu v garážích patří CNG (Compressed Natural Gas), LPG (Liquified Petroleum Gas) a H₂ (vodík). Pro vyhrazené parkovací stání na plynná paliva (dle 5.4) se navrhuje systém havarijního větrání. Výjimkou jsou jednotlivé garáže s výjezdem přímo na volné prostranství.

Při zjištěném úniku plynného paliva ze zaparkovaného vozidla musí havarijní větrání zajistit nejméně šestinásobnou výměnu vzduchu za hodinu, a to ve vyhrazeném úseku, nebo v celé garáži, pokud je celá určena pro parkování vozidel s pohonem na plynná paliva.

A.2.1.3 Požární větrání

Požární větrání slouží k odvodu tepla a kouře z prostoru garáží při požáru. Navrhuje se dle ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty.

Z důvodů zajištění provozní spolehlivosti systému požárního větrání se doporučuje propojení systému provozního a požárního větrání (příp. i havarijního). Tento společný systém však musí splňovat dílčí požadavky na jednotlivé druhy větrání.

Každé požární odvětrání – odvod tepla a kouře – je dimenzováno na určitý rozsah požáru, který je označován jako „návrhový požár“. Cílem požárního odvětrání je usměrnit tok zplodin hoření a kouře tak, aby tyto plyny neohrožovaly osoby při evakuaci a zásahu. Zároveň jde o odvedení podstatného množství tepla vně objektu a snížení tepelného namáhání stavebních konstrukcí, jakož i omezení hmotných ztrát. Požární odvětrání je buď přirozené (vztlakem horkých plynů), nebo nucené (pomocí elektrických odtahových ventilátorů).

Požární odvětrání se týká hlavně prostorů s požárním rizikem a je zajišťováno SOZ. Kromě toho jsou požárně větrány i prostory bez požárního rizika, v nichž se předpokládá

požár, jako jsou chráněné únikové cesty či jiné prostory. V tomto případě je cílem požárního odvětrání zabránění proniku zplodin hoření a kouře do těchto prostor.

Značná variabilita případů požárního odvětrání stavebních objektů neumožňuje postupovat podle jedné rovnice či výpočetní metodiky. Kromě ČSN P CEN/TR 12101-5 jsou metodiky řešení požárního odvětrání zahrnuty v mezinárodně uznávaných pracích uvedených v technických dokumentech (např. NFPA 92B, NFPA 204, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA Fire Protection Handbook).

Problematika návrhu ZOTK je roztržena mezi velké množství předpisů s různou právní vahou. České návrhové normy ČSN 73 08xx udávají pouze základní požadavky. V dané chvíli není specifická norma pro návrh a chybí výpočtové metody pro dimenzování. Proto jsou často používány zahraniční normy Německé, Velké Británie a Spojených států amerických. Důležité jsou podklady výrobců protipožárních zařízení, odborné publikace, aj. [4]

Pro návrh ZOTK přímo v garážích je už však zpracovaný (v tuto chvíli již 19.) návrh předběžné normy prCEN TS 12101-11 Smoke and heat control systems, Part 11: Horizontal powered ventilation systems for enclosed car parks, z 21.10.2015. Tento návrh normy však není běžně dostupný.

O tom, jestli bude daný požární úsek odvětrán, a zda-li přirozeně či nuceně rozhoduje projektant PBR na základě více aspektů návrhu prostoru a daného provozu. Při svém rozhodování postupuje dle národního kodexu požárních návrhových norem (ČSN 73 0804, Příloha I), kde je vzájemně provázaný soubor rozhodovacích kritérií, jako:

- druh garáže (hromadné, zakladačové)
- hodnota požárního rizika, hodnota ekonomického rizika – mezní velikost požárního úseku garáže (počet stání, půdorysná plocha)
- požární parametr odvětrání F_o
- výšková poloha, počet podlaží
- ohrožení evakuovaných osob zplodinami hoření na únikových cestách

- instalace EPS (elektrická požární signalizace) a sprinklerů (SHZ) [5]

Požární odvětrání podzemních podlaží se zpravidla řeší jen pomocí odvětrávacích šachet (či potrubí), přičemž pokud není výška šachet dostatečná (obvykle více než 10 m) je nutné volit zpravidla nucené odvětrání s elektrickými odtahovými ventilátory – z důvodu nedostatečného přirozeného vztlaku.

A.2.2 Požadavky zahraničních norem

Z hlediska požárního větrání uvádí britská norma BS 7346-7:2013 Components for smoke and heat control systems udává pro požární větrání minimálně desetinásobnou výměnu vzduchu pro každý požární (kouřový) úsek garáží. Z hlediska účinnosti požárního odvětrání je stanoven požadavek na dobu kompletního odvětrání zakouřeného prostoru. Ten udává, že prostor by měl být kompletně odvětrán do 10 minut od uhašení požáru.

V rakouské normě ÖNORM H 6003 Lüftungstechnische Anlagen für Garagen, Grundlagen, Planung, Dimensionierung jsou stanoveny limitní koncentrace CO pro návrh provozního větrání v garážích podle rakouské normy je 100 ppm. Doporučuje se však používat výpočtovou koncentraci CO 50 ppm. Minimální průtok větracího vzduchu stanovuje na 0,5 h⁻¹. [6]

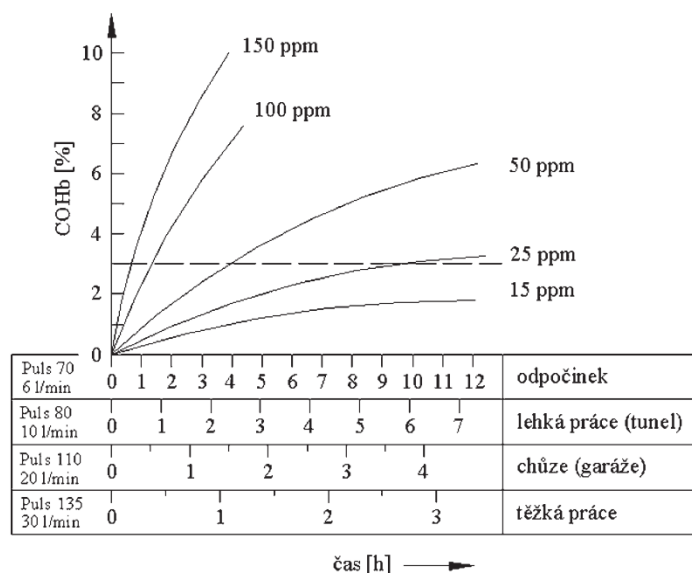
Německá norma VDI 2053 Blatt 1 Raumluftechnische Anlagen für Garagen und Tunnel stanovuje limitní koncentraci CO pro provozní větrání jako půlhodinový průměr 100 ppm. V případě garáží s trvalou obsluhou je limitní koncentrace jiná. Dle předpisu TRGS 900, který udává mezní hodnoty koncentrace CO na pracovišti, nesmí průměrná koncentrace během čtvrt hodiny překročit 60 ppm. [7]

A.3 Oxid uhelnatý a jeho vliv na člověka

Mezi nejvýznamnější škodlivinu vznikající při provozu vozidel se spalovacími motory patří oxid uhelnatý. Návrh větrání v garážích se proto řídí podle výpočtové koncentrace CO. Oxid uhelnatý je bezbarvý jedovatý plyn, bez chuti a zápachu, který se volně mísí se vzduchem, a je jen mírně lehčí než vzduch. Proto jeho šíření ve zcela nebo částečně uzavřených prostorech závisí hlavně na proudění vzduchu v daných prostorech. Tento plyn vzniká jako produkt nedokonalého spalování. Kvůli těmto vlastnostem je těžko

identifikovatelný pouhými vjemovými smysly člověka, a proto se pro jeho detekci používají detektory. Škodlivé účinky CO na živé organismy způsobuje jeho silná chemická afinita k hemoglobinu. Afinita je schopnost chemických látek slučovat se s jinými látkami nebo částicemi. Při jeho vdechování tak vzniká v krvi karboxylhemoglobin (karboxyhemoglobin) (COHb), v jehož důsledku se omezuje okysličování tkání. Vazba CO na hemoglobin je cca 200x silnější než vazba kyslíku, proto jeho odbourání z krve trvá mnoho hodin. [6]

Důsledkem působení oxidu uhelnatého na člověka je snížení pozornosti, nevolnost, zvracení, bolesti hlavy a při vysokých koncentracích či dlouhodobém vystavení i ztráta vědomí či smrt. Obsah COHb v krvi závisí na době vdechování CO, koncentraci ve vdechované směsi a na intenzitě dýchání osob.



Obrázek 5 – Koncentrace COHb v závislosti na čase [6]

Běžná koncentrace COHb v krvi je cca 0,4 %, přípustná mezní hodnota je 3 %. Následující tabulka uvádí dobu chůze, po které je dosažena mezní hodnota koncentrace COHb, v závislosti na koncentraci CO ve vdechovaném vzduchu. [6]

Dosažení 3 % koncentrace COHb v krvi	
Koncentrace CO ve vzduchu	Doba chůze [min]
250 ppm	10
150 ppm	15
100 ppm	30
50 ppm	60

Tabulka 1 – Koncentrace COHb v krvi [6]

A.4 Cíl práce a zvolené metody řešení, aktuální technická řešení v praxi

Cílem práce je navržení provozního a požárního větrání v podzemních garážích. Pro dosažení tohoto cíle byl zvolen alternativní systém vzduchotechniky. Tento systém využívá impulzních nebo indukčních ventilátorů rozmístěných pod stropem garáže tak, aby odvedly teplo a kouř přímo ven, nebo směrem k odtahovým šachtám, které jej následně odvedou ven z uzavřeného prostoru. V současné době neexistuje žádný ucelený a jednoznačný postup, jak navrhovat požární větrání v podzemních garážích pomocí posuvných ventilátorů. Norma požární bezpečnosti staveb a norma pro navrhování hromadných garáží pro automobily taktéž nepopisují metodu pro návrh tohoto druhu větrání. V praxi se proto vždy účinnost navržených řešení alternativních způsobů požárního odvětrání ověřují pomocí programů FDS, ještě před samotnou realizací systémů.

Jedním z běžně používaných programů pro ověření je SW Pyrosim od firmy Thunderhead Engineering. Díky CFD lze předvídat proudění vzduchu, šíření kouře a průběh vývoje teplot v celé dispozici garáží. [8]

Ověření funkčnosti reálného systému větrání se provádí po instalaci všech nezbytných VZT zařízení a systémů MaR, ještě před zkolaudováním stavby. Test probíhá formou kouřové zkoušky, kdy se na vytipovaném místě určeným požárníky zapálí dýmavnice simulující vznikající kouř při požáru auta. Systém pro odvod tepla a kouře je pak automaticky aktivován systémem EPS. Systém EPS však musí být aktivován ručně, z důvodů absence reálného zvýšení teploty/vzniku kouře, které by bylo zaznamenáno čidly EPS.

Cílem této práce je tedy navržení provozního a požárního větrání. Součástí je vytvoření půdorysů dvou technických variant, ve stupni dokumentace pro povolení stavby. Účinnost a správnost požárního větrání bude ověřena CFD simulacemi.

A.4.1 Klasické systémy OTK

V současnosti lze požární větrání rozdělit na dvě oblasti. První je požární odvětrání běžných požárních úseků, a druhá požární větrání chráněných únikových cest. Větrání únikových cest má ve velký význam, protože více než 90 % poškození osob je způsobeno kouřem a zplodinami hoření, nikoliv ohněm samotným. Chráněné únikové cesty jsou větrány nuceně nebo přirozeně, podle daného typu. [8]

Násobnost výměny vzduchu je dána typem CHCÚ. V nevýrobních objektech jsou CHÚC rozříděny, podle doby bezpečného pobytu osob, a podle způsobu větrání na tři typy:

- Cesta typu A (max. doba bezpečného pobytu 4 minuty)
- Cesta typu B (max. doba bezpečného pobytu 15 minut)
- Cesta typu C (max. doba bezpečného pobytu 30 minut) [13]

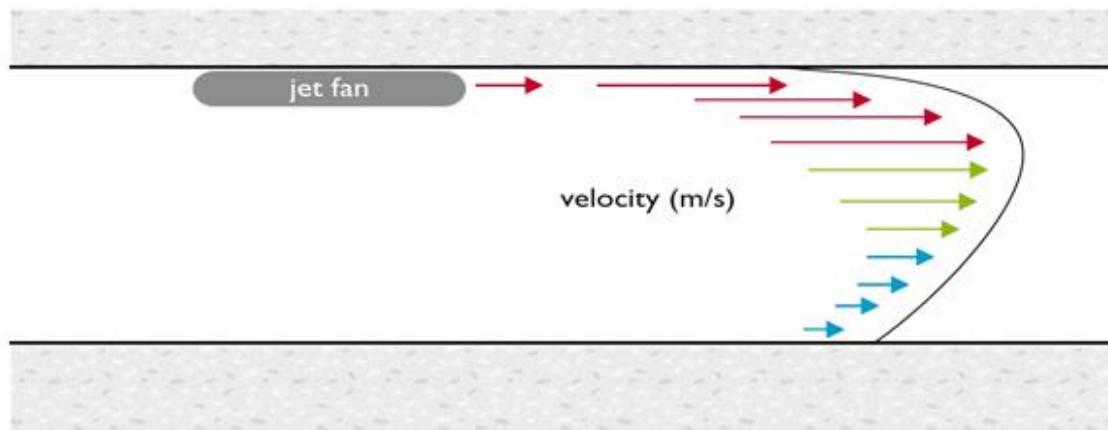
V rámci přirozeného systému ZOKT je využíváno účinku vztlaku kouře o vysoké teplotě. Tím pádem je tento systém vždy ovlivněn aktuálními meteorologickými podmínkami (teplota, tlak, vlhkost vzduchu, směr větru, atd.).

Systémy ZOKT s nuceným větráním se rozdělují na podtlakové a přetlakové.

A.4.2 Systémy s posuvnými ventilátory

Druhým typem používaným pro odvětrání garáží je systém s posuvnými ventilátory. Jeho hlavní výhodou je současná funkce jak pro provozní, tak i požární větrání. Skládá se z již zmíněných posuvných ventilátorů rozmístěných pod stropem garáží, které odvádí a směřují znečištěný vzduch (teplo a kouř v případě požárního větrání) přímo ven z prostoru garáží (pokud jsou ve fasádě garáží větrací otvory), nebo směrem k odtahovým šachtám, které jej následně odvedou ven z uzavřeného prostoru. V uzavřených garážích se proto používají spolu s odtahovými ventilátory, umístěními v odvodních šachtách.

Hlavní úlohou posuvných ventilátorů je v případě provozního větrání usměrnění a posun vzduchu k odvodním otvorům či odtahovým šachtám. V případě požárního větrání plní tuto úlohu také, avšak jejich hlavní úlohou je promíchání vzduchu nad podlahou (chladnější) se vzduchem pod stropem (teplejší), čímž dojde ke snížení, respektive rovnoměrnějšímu rozložení teplot po výšce garáže, které negativně působí na stavební konstrukce.

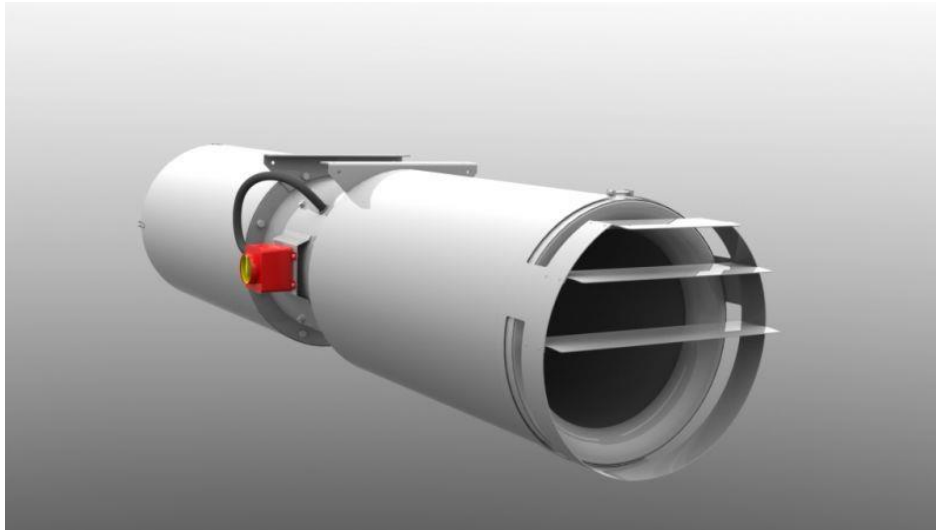


Obrázek 6 – Teorie působení Jet ventilátorů [14]

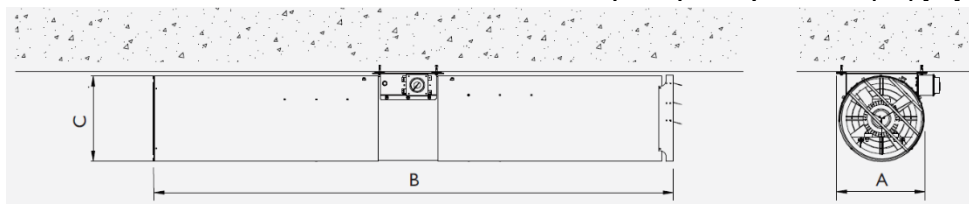
Tento systém tak díky relativně malým rozměrům posuvných ventilátorů pomáhá snížit zastavěnost prostoru pod stropem, a tím vytvořit více místa pro ostatní technologické rozvody. Odpadá také nutnost realizace rozměrově objemného rozvodu klasické vzduchotechniky, a z hlediska údržby odpadají náklady na čištění potrubních rozvodů. Celkově tedy tyto systémy pomohou snížit montážní a provozní náklady (v porovnání při aplikaci klasické VZT) a v prostoru garáží vytvořit prostornější a vzdušnější prostředí.

A.4.2.1 Posuvné ventilátory impulzní

Posuvné impulzní ventilátory slouží k odvětrání garáží a jiných prostor, kde snižují koncentraci znečištěného vzduchu v rámci provozního větrání, a taktéž pomáhají při odvětrání kouře v případě požáru. Tento systém pro odvětrání parkovišť používá stejnou technologii, která je používána pro odvětrání tunelů.



Obrázek 7 – Impulzní posuvný ventilátor (JET) [15]



Obrázek 8 – Bokorys a nárys impulzního ventilátoru [15]

Pro impulzní ventilátory existují modely jednosměrné, nebo reverzibilní, které jsou schopny posouvat vzduch oběma směry, dle potřeby (např. při umístění na hranici kouřové sekce začne ventilátor posouvat vzduch tím směrem, ve které kouřové sekci došlo k vyhlášení poplachu).

Dle typu mohou pracovat ve dvourychlostním režimu, nebo v režimu s proměnnou rychlostí provozu. Proměnná rychlost je výhodná z důvodů snižování spotřeby elektrické energie.

A.4.2.2 Posuvné ventilátory indukční

Tento druh posuvných ventilátorů má stejnou funkci jako impulzní ventilátory. Tedy posun a směřování vzduchu v rámci provozního větrání, a promíchání vzduchu a odvod kouře v rámci požárního větrání. Jejich výhodou oproti impulzním ventilátorům je

větší výkon. Jsou schopny odvětrat větší plochu, tudíž při jejich použití namísto impulzních ventilátorů pro odvětrání stejného prostoru je potřeba menší množství indukčních ventilátorů. Tím dojde ke snížení potřeby množství kabelů a součástí řídicích systémů. Nižší jsou i náklady na montáž a údržbu.

Další výhodou je jejich zástavbová výška. Dle výkonnostního typu je pouze 333 mm nebo 271 mm, což umožňuje zvýšit světlou výšku garáží. Zástavbová výška impulzních ventilátorů se pro porovnání pohybuje v závislosti na výkonu mezi 330,5 mm a 433 mm.

Jejich nevýhodou je nemožnost reverzního chodu – z technických a konstrukčních důvodů. Musí tedy být vždy navrženy jako jednosměrné.

Stejně jako u impulzních ventilátorů, jsou dle typu schopny fungovat ve dvourychlostním, nebo variabilním provozu. Variabilní ovládání napomáhá ke snížení spotřeby el. energie.



Obrázek 9 – Indukční posuvný ventilátor [16]



Obrázek 10 – Umístění indukčního ventilátoru pod stropem [16]



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉM OBJEKTU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Volný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN WEYR

BRNO 2020

B.1 Popis objektu

Jedná se o novostavbu administrativního komplexu tří budov, která je umístěna v centru města Liberce, v Libereckém kraji. Tento komplex je tvořen soustavou tří osmipodlažních budov obdélníkového půdorysu s plochými vegetačními střechami. Budovy mají 7 nadzemních a 1 společné podzemní podlaží. V podzemním podlaží se nachází hromadné samoobslužné garáže, určené pouze osobním automobilům. V posledních dvou patrech jsou byty. V ostatních nadzemních patrech jsou kanceláře.

Budova je založená na soustavě plovoucích pilot typu RC (replacement concrete piles) různých délek. Soustava je doplněná o základovou desku tloušťky 400 mm, která společně s obvodovými stěnami tloušťky 300 mm tvoří vodo-nepropustnou bariéru podzemního podlaží proti kolísavé hladině spodní vody, tzv. „bílou vanu“. Konstruktivní nosný systém nadzemních podlaží je tvořený železobetonovými deskami vyztuženými v obou směrech o tloušťce 250 mm. Tyto desky jsou podepřeny soustavou sloupů, šachet a štítových stěn výšky: 2,75 m v podzemním podlaží, 3,95 m v prvním nadzemním podlaží a výškou 3,40 m v typických podlažích objektů. Obvodový plášť objektu tvoří soustava předizolovaných lehčených obvodových panelů se zabudovanou skleněnou výplní v místě oken. Mezi podzemním podlažím a prvním nadzemním podlažím je ve skladbě konstrukce stropu požadovaná tepelná a kročejová izolace. Tepelné ztráty se v prostoru garáží neřeší.

B.2 Výpočet a návrh

Větrání je navrženo pomocí systému JET ventilátorů v kombinaci s odtahovými ventilátory. Technické řešení odtahových šachet provozního a požárního větrání je v tomto objektu řešeno odděleně. Posuvné ventilátory však slouží provoznímu i požárnímu větrání. Podzemní garáž je vybavena SHZ – sprinklerový systém. Jako hasící médium je použita voda.

Smyslem požárního větrání v garážích není odkouření okolí vchodů do CHÚC, které slouží k evakuaci osob. Hlavním cílem je co nejrychleji a v co největším rozsahu odkouřit celý prostor garáží, před příjezdem zasahujících hasičů. Dalším velmi důležitým úkolem systémů ZOTK je snížení vysokých teplot, které při požáru negativně zatěžují stavební konstrukce.

Jak už bylo zmíněno v teoretické části, hlavním úkolem posuvných ventilátorů je v případě provozního větrání usměrnění a posun vzduchu k odtahovým šachtám. V případě požárního větrání plní tuto úlohu také, nicméně hlavní úlohou je promíchání vzduchu nad podlahou (chladnějším) se vzduchem pod stropem (teplejším). Tím dojde ke snížení negativního tepelného namáhání stavebních konstrukcí a také k rovnoměrnějšímu rozložení teplot po výšce garáže.

B.2.1 Provozní větrání

Provozní větrání je navrženo dle ČSN 73 6058. Provozní větrání je zajištěno pomocí nuceného větrání. Jedná se o hromadné samoobslužné podzemní garáže, s pohybem vozidel vlastní silou. V garážích tedy není žádná stálá obsluha. Do garáže je zakázán vjezd vozidlům na CNG a LPG pohon. Ve výfukových plynech, které produkují automobily či motocykly, jsou jako hlavní škodliviny považovány sloučeniny CO (oxid uhelnatý), NO_x, C₆H₆ a dále pak také saze a prachové částice. Rozhodující pro dimenzování nuceného větrání je koncentrace CO.

Nejvyšší přípustná výpočtová koncentrace CO pro nucené větrání je stanovena na 50 ppm pro 30 minutový pobyt osob v garáži.

Nucené větrání je řešeno jako podtlakové, s přirozeným přívodem venkovního vzduchu a nuceným odvodem znehodnoceného vzduchu. Průtok vzduchu je stanoven výpočtem pro předpokládanou frekvenci výměny vozidel f [h⁻¹]. V garáži je předpokládána průběžná výměna vozidel, bez výrazných provozních špiček. Špičkový provoz se zohledňuje u společenských objektů, kde se pořádají společenské či sportovní akce.

Přívod vzduchu pro provozní větrání do obou sekcí je zajištěn vjezdem/výjezdem u rampy, který je opatřen rolovací mříží. Samotná rampa se nachází v exteriéru budovy. Pro odvod vzduchu slouží ventilátory v šachtách provozního větrání, které se nachází v každém ze dvou kouřových úseků. Tyto odtahové ventilátory budou ve stálém provozu. Při překročení koncentrace CO 50 ppm (hlídáno čidly) se zapnou do prvního výkonnostního stupně posuvné ventilátory (impulzní nebo indukční). Tyto posuvné ventilátory jsou schopny fungovat ve dvou výkonnostních stupních. První stupeň slouží

pro provozní větrání a druhý stupeň, kdy ventilátory poskytují plný výkon, slouží pro požární větrání.



Obrázek 11 – Rolovací mříž [17]

Pokud je v prostoru garáže dosažena přípustná koncentrace oxidu uhelnatého CO (50 ppm):

- Je tento stav signalizován do řídicího místa (obsluha garáže, správce objektu, automatický řídicí a informační systém)
- Mimo odtahových ventilátorů (které jsou stále zapnuty) se spustí do režimu polovičních otáček i posuvné ventilátory, dokud nedojde ke snížení koncentrace CO pod stanovenou úroveň (50 ppm)
- Je zastaven vjezd vozidel do garáže
- Je maximálně omezen provoz vozidel v garáži a osoby musí opustit prostor garáže

B.2.1.1 Výpočet průtoku vzduchu

B.2.1.1.1 Vstupní údaje

- Počet úseků: $i = 1$ (v tomto případě je podzemní garáž tvořena pouze jedním podzemním podlažím); úsekem je myšleno podlaží
- Počet stání vozidel v úseku: $P_{1,PP} = 89$
- Celkový počet stání v garáži: $\Sigma P = 89$
- Parkovací doba jednoho vozidla: $\tau_p = 2,5$ hodiny
- Frekvence výměny vozidel na stání: $f = 1/\tau_p = 0,4 \text{ h}^{-1}$ (uvažovaná hodnota pro administrativní budovu)
- Rychlost jízdy: $w = 10 \text{ km/h} = 2,78 \text{ m/s}$

B.2.1.1.2 Výpočet provozních údajů

Sklon rampy pro vjezd a výjezd vozidel do podzemní garáže je 14,86 %.

- Délka trasy jednoho vozidla:
 - Délka trasy po rovině (stanoveno jako aritmetický průměr nejdelší a nejkratší trasy): $s_{rovina} = 67,9 \text{ m}$
- Doba volnoběhu jednoho vozidla:
 - Při vjezdu do garáže: $t_v = 20 \text{ s}$
 - Při výjezdu z garáže: $t_v = 20 \text{ s}$
 - Při parkování na stání: $t_v = 10 \text{ s}$
 - Při výjezdu ze stání: $t_v = 20 \text{ s}$
 - Celkem: $\Sigma t_v = 70 \text{ s}$
- Doba jízdy jednoho vozidla trasou s v jednotlivých úsecích:

Výpočet dle vzorce: $t_j = \frac{s}{w} [\text{s}]$

kde: s – délka trasy daného úseku [m]

w – rychlost jízdy vozidla [m/s]

- $t_{j,rovina} = 67,9/2,78 = 24,43$ s

- Celkem: $\Sigma t_j = 24,43$ s

- Počet vozidel vjíždějících (vyjíždějících) do jednotlivých úseků v intervalu 1 hodiny:

Výpočet dle vzorce: $p = P \times f$ [h^{-1}]

kde: P – počet stání pro vozidla v úseku [-]

f – frekvence výměny vozidel na stání [h^{-1}]

- $p = 89 \times 0,4 = 35,6 \rightarrow 36$ h^{-1}

- Doba chodu motorů za jízdy všech vozidel projíždějících jednotlivými úseky v intervalu 1 hodiny:

Výpočet dle vzorce: $t_{jc} = p \times t_j$ [s/h]

kde: p – počet vozidel vjíždějících (vyjíždějících) do jednotlivých úseků v intervalu 1 hodiny [h^{-1}]

t_j – doba jízdy jednoho vozidla trasou s v jednotlivých úsecích [s]

- $t_{jc,rovina} = 36 \times 24,43 = 879,48$ s/h

- Celkem: $\Sigma t_{jc} = 879,48$ s/h

- Doba volnoběhu všech vozidel v jednotlivých úsecích v intervalu 1 hodiny:

Výpočet dle vzorce: $t_{vc} = p \times t_v$ [s/h]

kde: p – počet vozidel vjíždějících (vyjíždějících) do jednotlivých úseků v intervalu 1 hodiny [h^{-1}]

t_v – doba volnoběhu jednoho vozidla [s]

- $t_{vc} = 36 \times 70 = 2520 \text{ s/h}$

- Objemové emise CO jednoho vozidla při jízdě a volnoběhu - pro skupinu vozidel 1 (dle tab. A.2):

Jízda po rovině a klesání: $V_{CO \text{ j rov. voz.}} = 5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{voz}$

Volnoběh: $V_{CO \text{ v voz.}} = 2,2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{voz}$

- Objemová emise CO všech vozidel při jízdě po rovině a klesání v úseku garáže:

Výpočet dle vzorce: $V_{CO \text{ j rov.}} = V_{CO \text{ j rov. voz.}} \times t_{j \text{ rov.}} [\text{m}^3/\text{h}]$

kde: $V_{CO \text{ j rov. voz.}}$ - objemová emise CO jednoho vozidla při jízdě po rovině/klesání [$\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{voz}$]

$t_{j \text{ rov.}}$ - doba jízdy všech vozidel po rovině/klesání [s/h]

- $V_{CO \text{ j rov.}} = 5 \times 10^{-5} \times 879,48 = 0,043974 \text{ m}^3/\text{h}$

- Objemová emise CO všech vozidel při volnoběhu v úseku garáže:

Výpočet dle vzorce: $V_{CO \text{ v}} = V_{CO \text{ v voz.}} \times t_{vc} [\text{m}^3/\text{h}]$

kde: $V_{CO \text{ v voz.}}$ - objemová emise CO jednoho vozidla při volnoběhu [$\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{voz}$]

t_{vc} - celková doba volnoběhu všech vozidel v úseku [s/h]

- $V_{CO \text{ v}} = 2,2 \times 10^{-5} \times 2520 = 0,05544 \text{ m}^3/\text{h}$

- Celková objemová emise (objemový průtok) CO v úseku garáže:

Výpočet dle vzorce: $V_{CO} = V_{CO \text{ j rov.}} + V_{CO \text{ v}} [\text{m}^3/\text{h}]$

- $V_{CO} = 0,043974 + 0,05544 = 0,099414 \text{ m}^3/\text{h}$

- Průtok vzduchu odváděného z úseku samoobslužné garáže (za předpokladu rovnoměrné emise CO, tj. při průběžné výměně vozidel):

Výpočet dle vzorce: $V = \frac{V_{CO}}{(C_p - C_e) \times 10^{-6}} \text{ [m}^3/\text{h]}$

kde: V_{CO} – je celková objemová emise (objemový průtok) oxidu uhelnatého emitovaného všemi vozidly při jízdě a volnoběhu v úseku [m^3/h]

C_p – nejvyšší přípustná výpočtová koncentrace oxidu uhelnatého v garáži; podle 5.3.2 je $C_p = 50 \text{ ppm}$ [$\text{ppm}, \text{cm}^3/\text{m}^3$]

C_e – výpočtová koncentrace oxidu uhelnatého ve venkovním (přiváděném) vzduchu; $C_e = 5 \text{ ppm}$ v menších městech, resp. $C_e = 10 \text{ ppm}$ ve velkoměstech [$\text{ppm}, \text{cm}^3/\text{m}^3$]

$$\circ V = \frac{0,099414}{(50-10) \times 10^{-6}} = \mathbf{2485,35 \text{ m}^3/\text{h} = 0,69 \text{ m}^3/\text{s}}$$

- Měrný průtok vzduchu V_m (vyjadřuje náročnost větrání v jednotlivých úsecích):

Výpočet dle vzorce: $V_m = \frac{V}{P} \text{ [m}^3/\text{h} \cdot \text{stání]}$

kde: V – je průtok vzduchu v úseku garáže [m^3/h]

P – počet stání v úseku [-]

$$\circ V_m = \frac{V}{P} = \frac{2485,35}{89} = \mathbf{27,925 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{stání}}$$

- Intenzita větrání v úseku:

Výpočet dle vzorce: $I = \frac{V}{O} \text{ [h}^{-1}\text{]}$

kde: V – je průtok vzduchu v úseku garáže [m^3/h]

O – objem vnitřního prostoru úseku [m^3]

$$\circ I = \frac{V}{O} = \frac{2485,35}{9493,069} = \mathbf{0,2618 \text{ h}^{-1} \Rightarrow \text{zvýšení na } 0,5 \text{ h}^{-1}}$$

Dle ČSN 73 6058 nesmí intenzita nuceně větraných samoobslužných garáží i garáží s obsluhou klesnout pod hodnotu $0,5 \text{ h}^{-1}$. Návrhová hodnota intenzity provozního větrání **$I = 0,5 \text{ h}^{-1}$** .

- Navržený celkový průtok odváděného vzduchu pro provozní větrání:
 - I – intenzita větrání v úseku [h^{-1}]
 - O – objem vnitřního prostoru úseku [m^3]
 - $V = O \times I = 9493,069 \times 0,5 = 4746,53 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{1,3185 \text{ m}^3/\text{s}}$

Z hlediska požárního větrání je garáž rozdělena na dvě kouřové sekce. Protože provozní větrání zajišťují i posuvné ventilátory, které byly navrženy podle kouřových sekcí, je i pro potřeby provozního větrání garáž rozdělena na dvě sekce. Toto rozdělení je vhodné i z důvodů umístění přírodních a odsávacích otvorů. Celkový vypočtený objem odváděného vzduchu je rozdělen pro každou část zvlášť.

- SEKCE 1 – průtok odváděného vzduchu pro provozní větrání:
 - Půdorysná plocha: $2143,579 \text{ m}^2$
 - Vnitřní objem: $5996,422 \text{ m}^3$
 - $V = O \times I = 5996,422 \times 0,5 = 2998,211 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{0,8328 \text{ m}^3/\text{s}}$
 - 2x odtahová šachta – každá průtok: **$Q = 0,4164 \text{ m}^3/\text{s}$**
- SEKCE 2 – průtok odváděného vzduchu pro provozní větrání:
 - Půdorysná plocha: $1246,803 \text{ m}^2$
 - Vnitřní objem: $3485,447 \text{ m}^3$
 - $V = O \times I = 3485,447 \times 0,5 = 1742,724 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{0,484 \text{ m}^3/\text{s}}$
 - 1x odtahová šachta: **$Q = 0,484 \text{ m}^3/\text{s}$**

B.2.1.2 Výpočet tlakových ztrát

Odtahové šachty jsou umístěny v každé kouřové sekci. Odtahové ventilátory jsou umístěny v železobetonových šachtách před jejich výfukem. V sekci 1 slouží pro provozní větrání šachta č. 1 a šachta č. 2. V sekci 2 je navržena šachta č. 3. Všechna vyústění provozních šachet jsou ukončena protidešťovými žaluziemi MANDÍK (rozměry viz. řez / technická zpráva).

Ztráty třením po délce pro kruhové potrubí:

$$\Delta p_{\text{tr}} = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{w^2}{2} \times \rho \quad [\text{Pa}]$$

Přepočet obdélníkového průřezu na ekvivalentní průměr:

$$d_e = \frac{2a \times b}{a + b} \quad [\text{m}]$$

Kinematická viskozita:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$$

Relativní drsnost stěn při hydraulicky drsných stěnách:

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \geq \frac{30}{\text{Re}^{0,875}} \geq \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,14 - 2 \log e \quad [-]$$

- Kde k je absolutní drsnost stěn, pro železobetonové potrubí je k = 0,5 mm

Rychlost:

$$w = \frac{Q}{a \times b} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Reynoldsovo číslo:

$$\text{Re} = \frac{w \times d_e}{\nu} \quad [-]$$

Součinitel tření:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad [-]$$

Ztráty vřazenými odpory:

$$\Delta p_{\xi} = \xi \times \frac{w^2}{2} \times \rho \quad [\text{Pa}]$$

- Kde ξ je součinitel vřazeného odporu

Celková tlaková ztráta (třením + vřazenými odpory):

$$\Delta p_z = \Delta p_{\text{tr}} + \Delta p_{\xi} = \left(\lambda \times \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{w^2}{2} \times \rho \quad [\text{Pa}]$$

ŽELEZOBETONOVÉ ŠACHTY			PROVOZNÍ	
SEKCE			1	2
OZNAČENÍ			ŠACHTA 1+2	ŠACHTA 3
ROZMĚRY ŠACHTY [mm]			400x400	400x400
Hustota	kg·m ⁻³	ρ =	1,2	1,2
			pro 20 °C	pro 20 °C
Dynamická viskozita	Pa·s	η =	1,81E-05	1,81E-05
			pro 20 °C	pro 20 °C
Délka šachty	m	L =	31,55	5,8
Rozměr šachty	m	a =	0,4	0,4
	m	b =	0,4	0,4
Ekvivalentní průměr	m	d =	0,4	0,4
Absolutní drsnost	mm	k =	0,5	0,5
Průtok	m ³ ·s ⁻¹	Q =	0,4164	0,484
Vřazený odpor	-	ξ =	1,2	1,2
Kinematická viskozita	m ² ·s ⁻¹	ν =	0,00001505	0,00001505
Relativní drsnost	-	ε =	0,00125	0,00125
Rychlost	m·s ⁻¹	w =	2,60	3,03
			vyhovuje (max 5 m/s)	
Reynoldsovo číslo	-	Re =	69169	80399
Třecí součinitel	-	λ =	0,0240	0,0236
Tlaková ztráta třením + vřazenými odpory	Pa	ρ _{zi} =	12,56	8,47

Tabulka 2 – Tlakové ztráty třením provozních šachet

PROVOZNÍ VĚTRÁNÍ - Šachta 1 a 2	
Tlaková ztráta třením a vřaz. odpory - 400x400 mm	12,56
VZT síto na sání - 800x2600 mm	25
Protidešťová žaluzie Mandík na výfuku	60
Celková tlaková ztráta	97,56 Pa

Tabulka 3 – Tlaková ztráta šachty 1 a 2

PROVOZNÍ VĚTRÁNÍ - Šachta 3	
Tlaková ztráta třením a vřaz. odpory - 400x400 mm	8,47
VZT síto na sání - 800x2600 mm	25
Protidešťová žaluzie Mandík na výfuku	60
Celková tlaková ztráta	93,47 Pa

Tabulka 4 – Tlaková ztráta šachty 3



Obrázek 12 – Větrací sekce provozního větrání

B.2.1.3 Návrh odtahových ventilátorů

B.2.1.3.1.1 Ventilátor v šachtě 1 a 2

Požadovaný pracovní bod ventilátoru

- Průtok vzduchu $Q = 0,4164 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tlaková ztráta $p = 97,56 \text{ Pa}$

Pro každou šachtu navržen ventilátor SODECA HCT-31-2T/PL

- Celkem 2 ks

Skutečný pracovní bod

- Průtok vzduchu $Q = 0,506 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tlaková ztráta $p = 144,02 \text{ Pa}$

B.2.1.3.1.2 Ventilátor v šachtě 3

Požadovaný pracovní bod ventilátoru

- Průtok vzduchu $Q = 0,484 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tlaková ztráta $p = 93,47 \text{ Pa}$

Pro šachtu navržen ventilátor SODECA HCT-31-2T/PL

- Celkem 1 ks

Skutečný pracovní bod

- Průtok vzduchu $Q = 0,559 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tlaková ztráta $p = 124,81 \text{ Pa}$

HCT-31-2T/PL



Extremely robust tubular axial fans

Tubular wall-mounted fans. PL version fitted with a plastic impeller and AL version with an aluminium impeller.



Fan:

- Airflow direction from motor to impeller.
- PL version in fibreglass-reinforced polyamide-6 rots and AL version in cast aluminium.
- Models 40-2T and HCT-45-2T only in AL version.
- Tubular casing in sheet steel with external terminal box.

Motor:

- IE3 efficiency motors for powers equal to or higher than 0.75kW except single-phase. 2-speed and 8-pole.
- Class F motors with ball bearings. IP55 protection. except single-phase models from size 45 to size 56. IP54 protection. 1 or 2 speeds. depending on model.
- Single-phase 230V-50Hz and three-phase 230/400V-50Hz (up to 4kW) and 400/690V-50Hz (powers higher than 4kW).
- Operating temperature: -25°C+ 50°C.

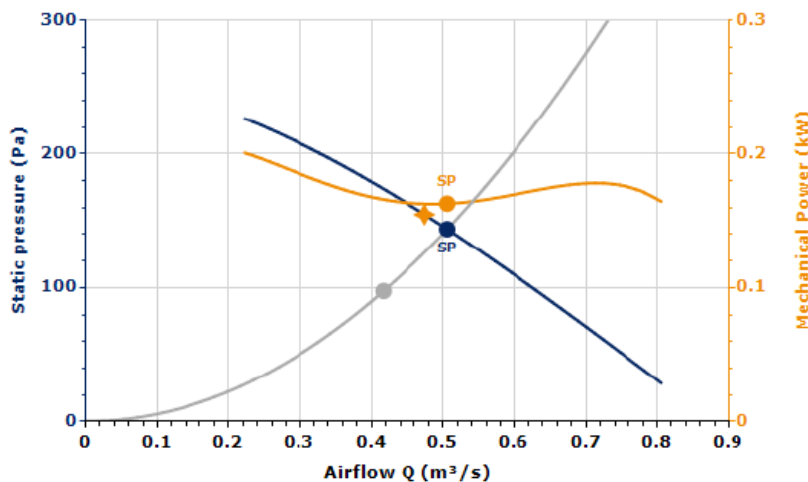
Finish:

- Anti-corrosive finish of polyester resin polymerised at 190°C. previously degreased with phosphate-free nanotechnological treatment.

On request:

- Airflow direction from impeller to motor.
- 100% reversible impellers.
- Special windings for different voltages.
- ATEX-certified Category 2.

CHARACTERISTIC CURVE AND ACOUSTICS AT 1.2KG/M³

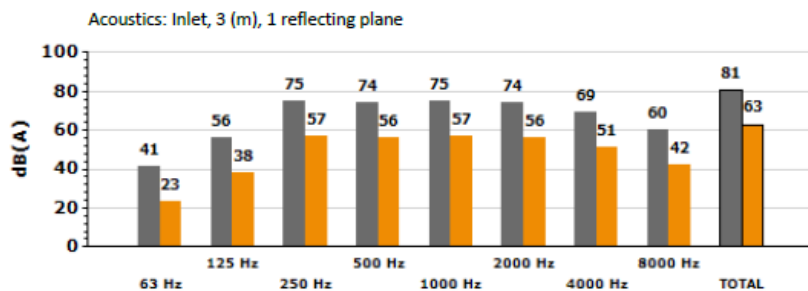


Design Point

Q (m ³ /s)	0.4164
Ps (Pa)	97.56

Service Point (SP)

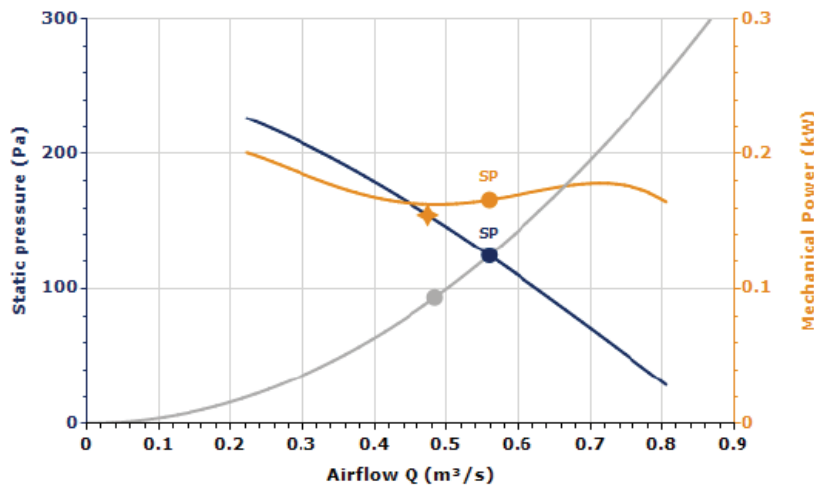
Q (m ³ /s)	0.5059
Ps (Pa)	144.02
Pd (Pa)	26.96
Pt (Pa)	170.98
Impeller (rpm)	2710
Max. Temp. (°C)	40
Outlet air speed (m/s)	6.70
SFP (kW/m ³ /s)	0.51
Mechanical Power (kW)	0.16



Band	Lw dB(A)	Lp dB(A)
63 Hz	41	23
125 Hz	56	38
250 Hz	75	57
500 Hz	74	56
1000 Hz	75	57
2000 Hz	74	56
4000 Hz	69	51
8000 Hz	60	42
TOTAL	81	63

Obrázek 13 – Technická specifikace provozního odtah. ventilátoru

CHARACTERISTIC CURVE AND ACOUSTICS AT 1.2KG/M³

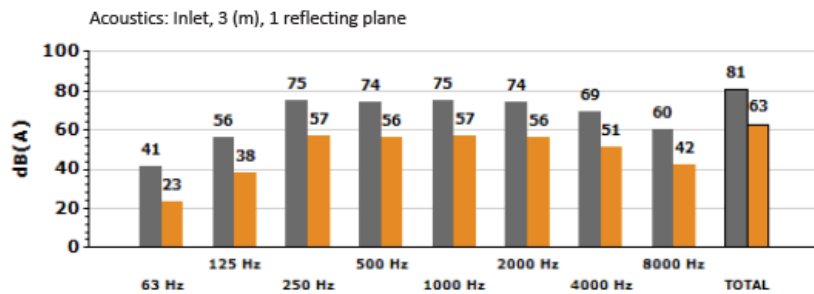


Design Point

Q (m ³ /s)	0.484
Ps (Pa)	93.47

Service Point (SP)

Q (m ³ /s)	0.5593
Ps (Pa)	124.81
Pd (Pa)	32.94
Pt (Pa)	157.76
Impeller (rpm)	2710
Max. Temp. (°C)	40
Outlet air speed (m/s)	7.41
SFP (kW/m ³ /s)	0.47
Mechanical Power (kW)	0.17



Band	Lw dB(A)	Lp dB(A)
63 Hz	41	23
125 Hz	56	38
250 Hz	75	57
500 Hz	74	56
1000 Hz	75	57
2000 Hz	74	56
4000 Hz	69	51
8000 Hz	60	42
TOTAL	81	63

TECHNICAL CHARACTERISTICS

Airflow maximum (m ³ /s)	0.81
Speed (rpm)	2710
Approx. weight (kg)	8

ERP

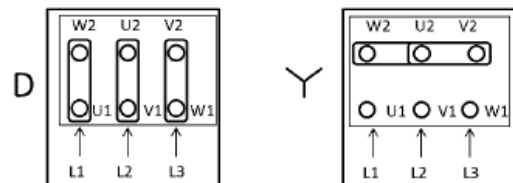
Efficiency	30.2%
Efficiency grade N	40.5
Measurement category	A
Efficiency category	Static
Specific ratio	1.00
Flowrate (m ³ /h)	1708

Pressure (Pa)	155
Input power (kW)	0.243
Speed (rpm)	2781
Variable speed drive	VSD not necessary
ErP compliance	2015

◆ Data established at point of optimum efficiency

MOTOR DATA

Rated Mechanical Power (kW)	0.18
Hz/phases	50/3
Motor (rpm)	2710
Poles	2P
Max. current (A) 380-415 V Y	0.58
Max. current (A) 220-240 V D	1
Motor protection	IP55
Motor frame size	63



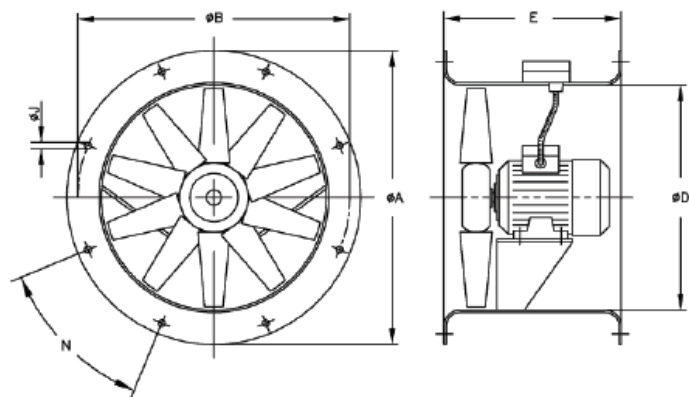
Data can change, please check motor plate

Obrázek 14 – Technická specifikace provozního odťah. ventilátoru

DIMENSIONS

$\varnothing A$	$\varnothing B$	$\varnothing D$	E	$\varnothing J$	N
350	320	280	270	10	4x90°

Dimensions without explicitly defined units are shown in millimeters (mm). Dimensions depending on the motor are approximate



Obrázek 15 – Rozměry provozního odtah. ventilátoru

B.2.2 Požární větrání

Požární větrání v garážích je navrženo dle ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty. Na tuto normu odkazuje přímo ČSN 73 6058 Jednotlivé, řadové a hromadné garáže. Výpočet hmotnostní produkce kouře, ze kterého vyplývá návrhový větrací objem vzduchu je proveden dle ČSN EN 12101-5, na kterou odkazuje ČSN 73 0804.

Nucené ZOTK je vždy řešeno jako podtlakové. Požární úsek je potřeba rozdělit na kouřové (odvětrávané) sekce, přičemž každá z nich je vybavená autonomním větracím zařízením.

Postup pro stanovení větracího výkonu:

- $M_{odv} = M_{př}$ [kg/s] – hmotnostní rovnováha
- $V_{odv} \gg V_{př}$ [m³/s] – objem odváděného vzduchu musí být větší než objem přiváděného
- Dle M_{odv} se stanoví V_{odv} (objem odváděného vzduchu)
- Stanovení tlakové ztráty odvětrávací šachty (potrubí)
 - Dle průtoku a tlakové ztráty návrh ventilátoru

O tom, jestli bude daný požární úsek odvětrán a zda-li přirozeně či nuceně rozhoduje projektant PBŘ na základě více aspektů návrhu prostoru a daného provozu (podrobně rozvedeno v teoretické části A).

Samočinným odvětracím zařízením musejí být vybaveny požární úseky s požárním rizikem, jejichž půdorysná plocha je větší než $0,5 S_{max}$, ve kterých je omezen přirozený odvod zplodin hoření a kouře podle dále uvedených hodnot F_o - např. okny, světlíky.

V požárních úsecích hromadných garáží, kde parametr odvětrání **F_o je menší než $0,025 \text{ m}^{1/2}$ a je požadován alespoň částečně požárně otevřený úsek** (viz. 1.2.5 b), musí být zřízeno samočinné požární odvětrání (podle 7.2.6) a podle přílohy H, ČSN 73 0802:2009. Jde-li o požární úseky v podzemních garážích, navrhuje se zpravidla nucené požární odvětrání, které je z provozních důvodů vhodné i v ostatních případech SOZ. Samočinné požární odvětrání (přirozené nebo nucené) může být z provozních či

jiných důvodů zřízeno i v jiných případech. Běžné vzduchotechnické odvětrání nenahrazuje SOZ (ČSN 73 0804 – I.4.6.).

Obecně lze říci, že podzemní garáže mají většinou nízkou konstrukční výšku. To znamená, že prostor je velice rychle zakouřený, a proto je nutné požární větrání. Konečné rozhodnutí o jeho nutnosti je ale na projektantovi PBŘ.

B.2.2.1 Výpočet parametru odvětrání dle ČSN 73 0804 – 6.4.

$$\text{Výpočet dle vzorce: } F_o = \frac{\sum_{i=1}^j S_{oi} \times h_{oi}^{1/2}}{S_k} \text{ [m}^{1/2}\text{]}$$

kde: S_{oi} , h_{oi} – je plocha a výška i -tých otvorů v obvodových a střešních konstrukcích požárního úseku, podle 6.4.2 a 6.4.3 [m^2 ; m]

S_k – povrchová plocha stavebních konstrukcí, podle 6.4.4 [m^2] (plochy st. konstrukcí ohraničující PÚ – požární stěny, stropy, podlahy, střechy a obvodové stěny)

j – počet otvorů

- povrchová plocha stavebních konstrukcí: $S_k = 8732,214 \text{ m}^2$
- 3x odvětrávací šachta: $S_{o1} = 3 \times (0,4 \times 0,8) = 0,96 \text{ m}^2$, $h_{o1} = 0,8 \text{ m}$
- vjezdová a výjezdová rampa: $S_{o3} = 6,2 \times 2,3 = 14,26 \text{ m}^2$, $h_{o3} = 2,3 \text{ m}$
- $F_o = \frac{(0,96 \times 0,8^{1/2}) + (14,26 \times 2,3^{1/2})}{8732,214} = \mathbf{0,00257 \text{ m}^{1/2}}$
- $F_o = 0,00257 < 0,03 \text{ m}^{1/2}$ -> přirozený odvod zplodin hoření **je omezen -> požární větrání**

B.2.2.2 Výpočet průtoku vzduchu

Výpočet proveden dle ČSN 73 0802 Zásady pro navrhování požárního odvětrání stavebních objektů, příloha H. Tato norma uvádí výpočet hmotnostního toku kouře podle normy ČSN EN 12101-5.

Výpočet potřebného výkonu SOZ dle ČSN EN 12101-5 a ČSN 730802:2009

B.2.2.2.1 Návrhový požár

Návrhový požár je pravděpodobný rozvoj a průběh požáru v požárním úseku. Pro požární odvětrání je rozhodující zpravidla etapa rozvoje požáru začínající okamžikem tepelného výkonu 1 kW, přičemž podíl tepla sdílený prouděním plynů (Q_1 v kW) je většinou v rozsahu $k_c = 0,6$ až $0,8$ z celkového uvolněného tepla (Q_c v kW).

Množství uvolněného tepla závisí na:

- Požárním zatížením a charakteru hořlavých látek (ρ v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, součinitel a), nebo skupině výrob a provozů či skupině provozů skladů (I. až VII. sk.)
- Době (t_v), pro kterou je návrhový požár určován (nejméně podle doby evakuace a zásahu jednotek HZS), což je časový interval nejméně 300 sekund; do časového intervalu evakuace se započítává i doba mezi vznikem požáru a začátkem evakuace (nejméně 90 sekund, zpravidla 180 sekund a to v případě instalace EPS); pro výpočet odváděného kouře a tepla jakož i dimenzování požárního odvětrání je časový interval nejméně 5 minut a zpravidla nejvýše 15 minut, v závislosti na velikosti návrhového požáru
- Součinnosti samočinného stabilního hasícího zařízení, pokud v posuzovaném prostoru existuje SHZ popř. DHZ apod.; tímto zařízením se omezuje rozsah požáru, množství uvolněného tepla, popř. limituje se množství uvolněného tepla maximální hodnotou bez ohledu na časový interval

B.2.2.2.2 Množství uvolněného tepla sdíl. prouděním Q_1 dle ČSN 73 0802

Množství uvolněného tepla lze vypočítat dle dále uvedeného vzorce, nebo určit podle zatřídění daného prostoru do skupiny provozu.

Výpočet dle vzorce: $Q_1 = \left(\frac{t_v}{k_v}\right)^2 \times k_c \times 10^3$ [kW] (pro nevýrobní objekty)

kde: k_v – parametr vyjadřující dynamiku rozvoje požáru

- $k_v = 2000 / (a \times p^{0,5})^2$ [MW^{-0,5}/s]

- $k_v = \frac{2000}{(a \times p^{0,5})^2} = 230 \text{ MW}^{-0,5}/\text{s}$

- Součinitel $a_n = 0,9$ (pro garáže)

- Požární zatížení $p_n = 10 \text{ kg/m}^2$ (pro garáže)

k_c – součinitel konvekce návrhového požáru

- $k_c = 0,6$ až $0,8$

t_v – doba pro kterou je návrhový požár určován

- $t_v = 560 \text{ s}$ (dle časové osy uvedené části C této práce)

$$Q_1 = \left(\frac{560}{230}\right)^2 \times 0,8 \times 10^3 = 4574,67 \text{ kW}$$

Podle zatřídění do skupiny provozu (IV. skupina) by návrhová hodnota množství uvolněného tepla činila 4300 kW. Pro následující výpočet hmotnostního toku kouře je použita vypočtená hodnota (strana bezpečná).

B.2.2.2.3 Výpočet hmotnostního toku kouře dle ČSN EN 12101-5

Součinitel vyjadřující schopnost okolního vzduchu vstupovat do stoup. oblaku kouře nad ohněm ze všech stran:

$$C_e = \frac{0,9}{(A_v^{0,5} \times h_s)^{0,3}}$$

kde: A_v – půdorysná plocha kouřové sekce [m²]

h_s – světlá výška kouřové sekce [m]

limit $0,17 < C_e < 0,35$

- Kouřová sekce 1

$$C_e = \frac{0,9}{(A_v^{0,5} \times h_s)^{0,3}} = \frac{0,9}{(2143,579^{0,5} \times 2,75)^{0,3}} = \mathbf{0,21}$$

- Kouřová sekce 2

$$C_e = \frac{0,9}{(A_v^{0,5} \times h_s)^{0,3}} = \frac{0,9}{(1246,803^{0,5} \times 2,75)^{0,3}} = \mathbf{0,228}$$

Hmotnostní tok kouře:

$$M_f = C_e \times P \times Y^{1,5} \text{ [kg/s]}$$

kde: P – obvod návrhového požáru [m]

$$\blacksquare P = 2 \times (A_f \times \pi)^{0,5} = 2 \times (10,58 \times \pi)^{0,5} = \mathbf{11,53 \text{ m}}$$

$$\blacksquare \text{ Půdorysná plocha požáru } A_f = Q_1 \times \frac{a_n^2}{350} = 4574,67 \times \frac{0,9^2}{350} = \mathbf{10,58 \text{ m}^2}$$

a_n – součinitel dle A.1 ČSN 73 0802 (0,9 pro garáže)

Y – výška mezi ložiskem požáru a akumulací vrstvou kouře [m]

- Kouřová sekce 1

$$M_f = 0,21 \times 11,53 \times 2^{1,5} = \mathbf{6,848 \text{ kg/s}}$$

- Kouřová sekce 2

$$M_f = 0,228 \times 11,53 \times 2^{1,5} = \mathbf{7,43 \text{ kg/s}}$$

Teplota plynů v akumulární vrstvě T_g :

- Kouřová sekce 1

$$T_g = \frac{Q_1}{M_f' \times C_p} + T_o = \frac{4574,67}{6,848 \times 1,05} + 20 = \mathbf{636,22 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

- Měrné teplo plynů lze předpokládat hodnotou $C_p = 1,0$ až $1,05 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Teplota plynů v akumulární vrstvě nemá přesáhnout $550 \text{ } ^\circ\text{C}$ z důvodu zabránění šíření požáru – flashover
- T_o je teplota okolního prostředí: $20 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Q_1 dle výpočtu $4574,67 \text{ kW}$

- Kouřová sekce 2

$$T_g = \frac{Q_1}{M_f' \times C_p} + T_o = \frac{4574,67}{7,43 \times 1,05} + 20 = \mathbf{606,38 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Objemové množství odváděných plynů V_v [m^3/s] s teplotou T_g :

- Kouřová sekce 1

$$V_v = \frac{M_f'}{\rho_g} = \frac{6,848}{0,388} = \mathbf{17,65 \text{ m}^3/\text{s} = 63538 \text{ m}^3/\text{h}}$$

- kde $\rho_g = 353 / (T_g + 273) = 353 / (636,22 + 273) = \mathbf{0,388 \text{ kg/m}^3}$

- Kouřová sekce 2

$$V_v = \frac{M_f'}{\rho_g} = \frac{7,43}{0,4} = \mathbf{18,575 \text{ m}^3/\text{s} = 66870 \text{ m}^3/\text{h}}$$

- kde $\rho_g = 353 / (T_g + 273) = 353 / (606,38 + 273) = \mathbf{0,4 \text{ kg/m}^3}$

Intenzita požárního větrání:

- Kouřová sekce 1 (vnitřní objem = 5996,422 m³)

$$I = \frac{V}{O} = \frac{63538}{5996,422} = \mathbf{9,33 \text{ h}^{-1}} \Rightarrow \mathbf{\text{zvýšení na } 20 \text{ h}^{-1}}$$

- Kouřová sekce 2 (vnitřní objem = 3485,447 m³)

$$I = \frac{V}{O} = \frac{66870}{3485,447} = \mathbf{19,1 \text{ h}^{-1}} \Rightarrow \mathbf{\text{zvýšení na } 20 \text{ h}^{-1}}$$

Je nutno podotknout, že tento výpočet uvádí norma pouze pro přirozené požární odvětrání posledních nadzemních podlaží, nicméně jednotlivé kroky výpočtu, jako například množství uvolněného tepla se pro tento případ neliší. Pro porovnání britská norma BS 7346-7:2013, která je z hlediska návrhu systémů OTK na rozdíl od české mnohem více podrobná a propracovaná, uvádí požadavek na minimálně deseti násobnou výměnu vzduchu.

Dle zkušeností firmy Colt International, s.r.o., se kterou nad tímto tématem byla vedena diskuse, ani deseti násobná výměna vzduchu nefunguje ideálně, a proto vždy provádí návrh na dvaceti násobnou výměnu vzduchu. Po konzultaci s p. Mihalem jsem se pro toto řešení rozhodl také. Pro zjištění rozdílů v účinnosti systémů s 10 h⁻¹ a 20 h⁻¹ a ověření významnosti návrhu uvažující dvacetinásobnou výměnu byly provedeny simulace pro obě varianty – viz. část C, Modelování a aplikace výpočetní techniky. Přesné hodnoty objemových průtoků jsou uvedeny v následující kapitole.

B.2.2.3 Kouřové sekce

Prostor garáží je tvořen jedním požárním úsekem. Ten je rozdělen na dvě kouřové sekce, a to osou číslo 8 (viz. výkresová část), která přiléhá k vjezdové a výjezdové rampě. Rozdělení na dvě sekce v tomto místě je z důvodů umístění rampy. Ta sice je už v exteriéru budovy, ale svou pozicí zasahuje do více než poloviny šířky garáže, a značně tak předěluje prostor garáží na dvě nesouměrné části. Rampa slouží jako hlavní přívod větracího vzduchu.

Jiné rozdělení garáží - např. symetrické mezi osami 5 a 6 by vedlo ke značnému zhoršení rovnoměrnosti proudění vzduchu pro sekci č. 2. Vzniklo by tak těžce

odvětratelné místo na levé straně od rampy, za předpokladu že by muselo být odvětráno přes sekci č. 2.

Dle ČSN 73 0802 je maximální půdorysná plocha kouřové sekce při nuceném požárním větrání 2600 m², a její délka nemá překračovat 70 m.

- KOUŘOVÁ SEKCE 1 – průtok odváděného vzduchu pro požární větrání:
 - Půdorysná plocha: 2143,579 m²
 - Vnitřní objem: 5996,422 m³
 - $V = Q \times I = 5996,422 \times 20 = 119928,44 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{33,32 \text{ m}^3/\text{s}}$
 - 2x odtahová šachta – každá průtok: **Q = 16,66 m³/s**

- KOUŘOVÁ SEKCE 2 – průtok odváděného vzduchu pro požární větrání:
 - Půdorysná plocha: 1246,803 m²
 - Vnitřní objem: 3485,447 m³
 - $V = Q \times I = 3485,447 \times 20 = 69708,94 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{19,36 \text{ m}^3/\text{s}}$
 - 2x odtahová šachta – každá průtok: **Q = 9,68 m³/s**

Obě kouřové sekce jsou od sebe rozděleny automatickou kouřovou zástěnou Colt Smokemaster SM5, která se aktivuje až po přijatém signálu z EPS.



Obrázek 16 – Kouřové sekce

B.2.2.4 Kouřová zástěna

Zástěna slouží k ohraničení kouře a zplodin hoření v daném kouřovém úseku a zabraňuje tím rozšíření požáru a kouře do vedlejšího úseku. Taktéž vytváří bariéru, která zabraňuje nekontrolovanému šíření a ochlazování kouře.

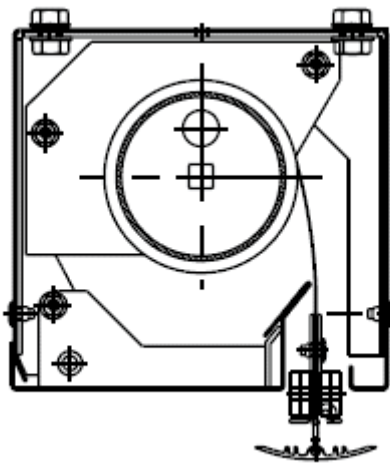
Navržena automatická kouřová zástěna Colt Smokemaster SM5 SI

Kouřová zástěna Smokemaster SM5 SI je certifikována v souladu s normou EN 12 101-1 (Smoke and heat control systems) a splňuje klasifikační třídu D120/600 °C (čas v minutách/teplota). Zástěna je automaticky aktivována signálem EPS při požáru detekovaném v sekci č. 1 nebo sekci č. 2. Její spuštění zajišťuje elektromotor typu D (drive-up/drive-down – ASB2/4). Výška spuštění zástěny je 700 mm (spodní hrana 2100 mm nad úrovní podlahy po aktivaci). Zástěna je vybavena ukončovacím profilem, který ji vyrovnává, napíná a při proudění vzduchu stabilizuje.

Technické parametry:

- Výška: 700 mm (po aktivaci)
 - spodní hrana 2100 mm nad úrovní podlahy
- Šířka: 7150 mm
- Materiál rolety: nehořlavá tkanina ze skelných vláken, na obou stranách opatřena zpevňující polyuretanovou vrstvou (odpovídá třídě mat. A2-s1-d0 podle ČSN 13501-1)
- Měrná hmotnost tkaniny: 455 g/m²
- Tloušťka tkaniny: 0,4 mm
- Rychlost spuštění: 0,08 m/s
- Trubkový elektromotor – vestavěn v hřídeli (pozinkovaná ocel) o průměru 70 mm
 - El. napájení: 230 V AC/50 Hz

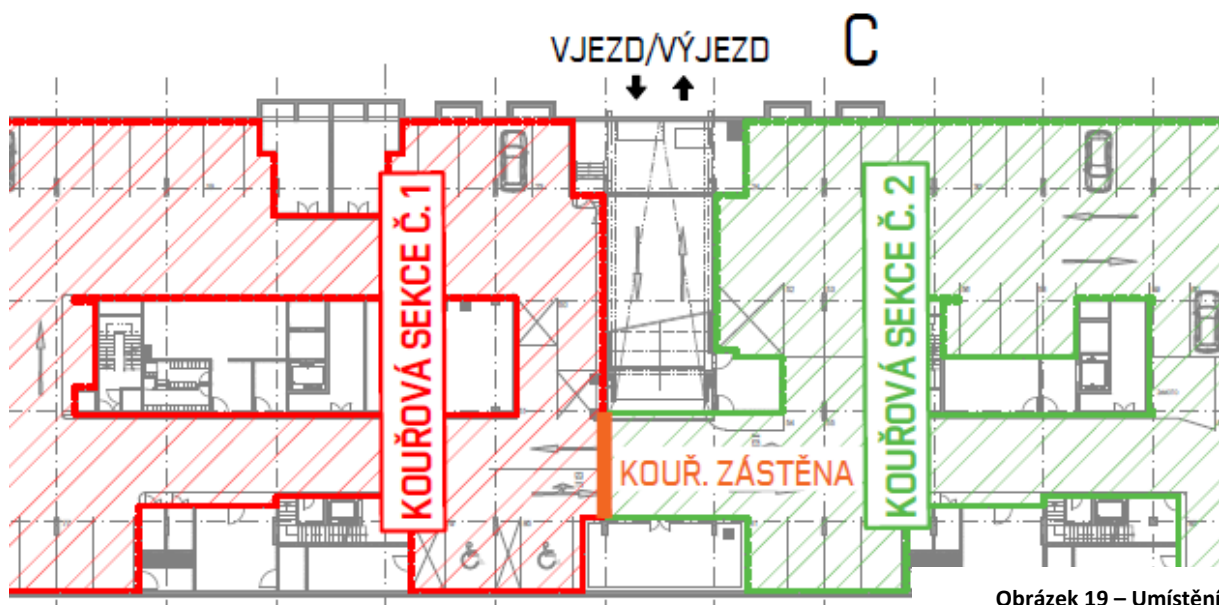
- Jmenovitý výkon: 126 W
- El. proud: 0,55 A
- Stupeň krytí: IP 44



Obrázek 17 – Schematický řez kouř. zástěny



Obrázek 18 – Spuštěná kouřová zástěna



Obrázek 19 – Umístění kouřové zástěny v půdorysu

Varianta automatické zástěny byla vybrána z více důvodů. Prvním je dosažení lepšího proudění vzduchu v garážích při provozním větrání, kdy je zástěna zasunuta. Druhým důvodem je větší oddělovací účinnost díky možnosti hlubšího spuštění, což fixní zástěny neumožňují.

Kouřové zábrany musí být těsné a dotažené až ke spodní ploše stropní konstrukce (viz 10.4.2 ČSN 73 0810:2016).

Stanovení výšky zástěny po spuštění dle ČSN 73 0802:

Spodní úroveň kouřových zábran musí být nejméně v úrovni spodní plochy akumulární vrstvy (vrstva zplodin hoření a kouře vytvořená zpravidla pod stropem), a doporučuje se navíc alespoň +0,1 m.

Výška akumulární vrstvy (h_k v metrech) s přirozeným systémem odvětrání je zpravidla v rozmezí od $0,2 h_v$ do $0,5 h_v$, nejméně však $0,15 h_v$, kde h_v je výška prostoru (od podlahy popř. od úrovně nahodilého požárního zatížení k ose odvětracích klapek).

$$h_{\text{zástěny}} = h_k = 0,5 \times h_v = 0,5 \times 2,75 = 0,56 + 0,1 = 0,66 \text{ m} \Rightarrow \mathbf{0,7 \text{ m}}$$

B.2.2.5 Bezkouřová výška

Vzhledem ke světlé výšce garáží 2,75 m a použitému systému požárního větrání je nemožné dodržet bezkouřovou výšku. V prostorách s nízkou konstrukční výškou – např. 2,5 m by byla bezkouřová vrstva okolo 1,4 m, což nemá smysl dodržovat, protože bezkouřová výška má hlavně zajistit bezpečnost osob a dobré podmínky pro jejich evakuaci.

Z hlediska principu fungování posuvných ventilátorů, které promíchávají vzduch (mísení vzduchu po celé výšce místnosti – garáží) v oblasti před sebou, je také nemožné tuto výšku dodržet.

Proto se vždy při použití JET ventilátorů a prostorů s nízkou konstrukční výškou počítá s nedodržením této bezkouřové oblasti.

B.2.2.6 Návrh odtahových ventilátorů

Odtahové šachty pro požární větrání jsou umístěny v každé kouřové sekci. Odtahové ventilátory jsou umístěny v železobetonových šachtách před jejich výfukem. Pro odvětrání kouřové sekce č. 1 slouží dvě šachty, umístěné na koncích obou slepých uliček – šachta č. 4 a šachta č. 5. V sekci 2 jsou navrženy šachty č. 6 a č. 7.

Pro každou kouřovou sekci jsou záměrně navrženy minimálně dvě odtahové šachty – tzn. dva odtahové ventilátory. Z hlediska rychlosti odkouření prostoru je potřebná doba závislá hlavně na odtahových ventilátorech. Proto jsou vždy navrženy minimálně dva pro případ, že by jeden z nich selhal. Docházelo by tak alespoň k poloviční požadované výměně vzduchu. Dvě odtahové šachty pro každou kouřovou sekci jsou v tomto případě také vhodné pro rychlejší a rovnoměrnější odvod kouře a tepla ze značně členitého prostoru, jako v případě této dispozice.

Umístění odtahových šachet je v návaznosti na posuvné ventilátory. Sací otvory jsou široké dle průřezu odtahové šachty. Výška otvorů je pro všechny stejná - 2600 mm. To je téměř přes celou světlou výšku garáží (2750 mm). Uvažovány jsou odstupy 50 mm od horní a 100 mm od spodní hrany otvorů vůči podlaze a stropu.

Přívod vzduchu je zajištěn více otvory. Prvním a společným přívodem vzduchu pro obě sekce je vjezdová/výjezdová rampa o celkové ploše 14,26 m². Pro každou sekci pak pro přívod vzduchu slouží také dvojice anglických dvorců – každý z nich o ploše 2,5 m². Tyto otvory jsou umístěny poblíž vjezdové a výjezdové rampy – viz. následující obrázek. V exteriéru jsou anglické dvorce opatřeny klapkami, které se otevrou v případě vyhlášení poplachu EPS. Pokud dojde k vyhlášení poplachu v jedné z kouřových sekcí, otevrou se klapky anglických dvorců určených pro příslušný úsek.



Obrázek 20 – Přívod a odvod vzduchu

B.2.2.6.1 Výpočet tlakových ztrát

Pro odvod kouře v obou sekcích slouží železobetonové šachty. Vzhledem k tomu, že prostor garáží je tvořen jen jedním požárním úsekem, a tyto šachty slouží pouze pro požární odvětrání tohoto úseku, nemusí být šachty na straně sání opatřeny požárními klapkami/roletami. Šachty pro provozní větrání se stávají součástí odvětrávaného požárního úseku i v případě, že následně prochází přes více pater – požárních úseků. Musí však být splněn požadavek požární odolnosti dané stavební konstrukce (šachty).

Na straně sání jsou opatřeny pouze VZT sítě, které odpovídá rozměrům otvoru. Šachty č. 4 a č. 5 vedou vnitřkem budovy a prochází přes všech 8 podlaží. Vyústíjí nad střechou objektu. Šachty č. 6 a č. 7 v sekci č. 2 vedou vně budovy a vyústíjí 2 metry nad úroveň přilehlého terénu. Všechna vyústění požárních šachet jsou opatřena žaluziovými krycími klapkami Colt Euroco se servopohonem na 230 V.

Ztráty třením po délce pro kruhové potrubí:

$$\Delta p_{\text{tr}} = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{w^2}{2} \times \rho \quad [\text{Pa}]$$

Přepočítání obdélníkového průřezu na ekvivalentní průměr:

$$d_e = \frac{2a \times b}{a + b} \quad [\text{m}]$$

Kinematická viskozita:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$$

Relativní drsnost stěn při hydraulicky drsných stěnách:

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \geq \frac{30}{R_e^{0,875}} \geq \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,14 - 2 \log e \quad [-]$$

- Kde k je absolutní drsnost stěn, pro železobetonové potrubí je k = 0,5 mm

Rychlost:

$$w = \frac{Q}{a \times b} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Reynoldsovo číslo:

$$\text{Re} = \frac{w \times d_e}{\nu} \quad [-]$$

Součinitel tření:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad [-]$$

Ztráty vřazenými odpory:

$$\Delta p_\xi = \xi \times \frac{w^2}{2} \times \rho \quad [\text{Pa}]$$

- Kde ξ je součinitel vřazeného odporu

Celková tlaková ztráta (třením + vřazenými odpory):

$$\Delta p_z = \Delta p_{\text{tr}} + \Delta p_\xi = \left(\lambda \times \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{w^2}{2} \times \rho \quad [\text{Pa}]$$

ŽELEZOBETONOVÉ ŠACHTY			POŽÁRNÍ	
SEKCE			1	2
OZNAČENÍ			ŠACHTA 4+5	ŠACHTA 6+7
ROZMĚRY ŠACHTY [mm]			1500x1500	1250x1250
Hustota	kg·m ⁻³	ρ =	1,2	1,2
			hodnota pro 20 °C, obsah sazí a škodlivin naopak zvýší hustotu (strana bezpečná)	
Dynamická viskozita	Pa·s	η =	1,95E-05	1,95E-05
			pro 50 °C	pro 50 °C
Délka šachty	m	L =	30,75	5,55
Rozměr šachty	m	a =	1,5	1,25
	m	b =	1,5	1,25
Ekvivalentní průměr	m	d =	1,5	1,25
Absolutní drsnost	mm	k =	0,5	0,5
Průtok	m ³ ·s ⁻¹	Q =	16,666	19,36
Vřazený odpor	-	ξ =	0,6	0,6
Kinematická viskozita	m ² ·s ⁻¹	ν =	0,00001625	0,00001625
Relativní drsnost	-	ε =	0,000333333	0,0004
Rychlost	m·s ⁻¹	w =	7,41	12,39
			vyhovuje (max 15 m/s)	
Reynoldsovo číslo	-	Re =	683733	953108
Třecí součinitel	-	λ =	0,0163	0,0166
Tlaková ztráta třením + vřazenými odpory	Pa	ρ _{zi} =	30,77	62,06

Tabulka 7 – Tlakové ztráty třením požárních šachet

POŽÁRNÍ VĚTRÁNÍ - Šachta 4 a 5	
Tlaková ztráta třením a vřaz. odpory - 1500x1500 mm	30,77
VZT síto na sání - 1500x2600 mm	50
Žaluziová klapka Colt EUROCO na výfuku	150
Celková tlaková ztráta	230,77 Pa

Tabulka 6 – Tlaková ztráta šachty 4 a 5

POŽÁRNÍ VĚTRÁNÍ - Šachta 6 a 7	
Tlaková ztráta třením a vřaz. odpory - 1250x1250 mm	62,06
VZT síto na sání - 1250x2600 mm	50
Žaluziová klapka Colt EUROCO na výfuku	150
Celková tlaková ztráta	262,06 Pa

Tabulka 5 – Tlaková ztráta šachty 6 a 7

B.2.2.6.2 Návrh ventilátorů

Vypočtené celkové tlakové ztráty pro odtahové šachty se pohybují v rozmezí od 230 až 262 Pa. Na doporučení při konzultaci s firmou Colt International, s.r.o., se kterou byl návrh odtahových ventilátorů diskutován, byly tyto ventilátory navrženy na hodnotu tlakové ztráty 300 Pa.

Toto navýšení je z bezpečnostních důvodů. Dle jejich zkušeností odtahové ventilátory běžně navrhují na hodnotu 300 Pa, čímž sice dojde k mírnému předimenzování návrhu, ale zároveň k získání jistoty, že požární větrání bude správně a účinně fungovat i v případě, že skutečné provedení bude provedeno odlišně a z hlediska tlakových ztrát by došlo k jejich navýšení.

Požární ventilátory musí vyhovovat certifikaci dle ČSN EN 12101-3. Dle té jsou zkoušeny při zvolené teplotě vzduchu po stanovenou dobu, např. F400/120 nebo F300/120 (teplota [°C]/čas [min]).

B.2.2.6.2.1 Ventilátor v šachtě 4 a 5

Požadovaný pracovní bod ventilátoru

- Průtok vzduchu $Q = 16,66 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tlaková ztráta $p = 300 \text{ Pa}$

Pro každou šachtu navržen ventilátor SODECA THT-125-6T/6-15-F-400 IE3

- Celkem 2 ks

Skutečný pracovní bod

- Průtok vzduchu $Q = 17,4 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tlaková ztráta $p = 327,19 \text{ Pa}$

Požární certifikace F400/120 dle ČSN EN 12101-3.

THT-125-6T/6-15-F-400 IE3



400°C/2h and 300°C/2h tubular axial extractor fans with short casing

Fan:

- Tubular sheet steel casing.
- Variable angle rotors made of cast aluminium.
- Approved in accordance with standard EN 12101-3. With certifications no.: 0370- CPR-0305 (F-400) and 0370 CPR-0973 (F-300).
- Airflow direction from motor to impeller.

Motor:

- Class H motors for S1 continuous operation and S2 emergency use. With ball bearings. IP55 protection and 1 or 2 speeds, depending on model.
- IE2 or IE3 efficiency motors depending on model, except 2 speed and 8 poles.
- Three-phase 230/400V-50Hz (up to 3kW) and 400/690V-50Hz (powers higher than 3kW).
- Maximum temperature of air to be carried: S1 continuous operation -20°C +40°C. S2 operation 300°C/2h, 400°C/2h. Also suitable for hot climates with temperatures up to 50°C. S2 operation 300°C/2h, 400°C/2h.

Finish:

- Anti-corrosive finish of polyester resin polymerised at 190°C, previously degreased with phosphate-free nanotechnological treatment.

Available versions:

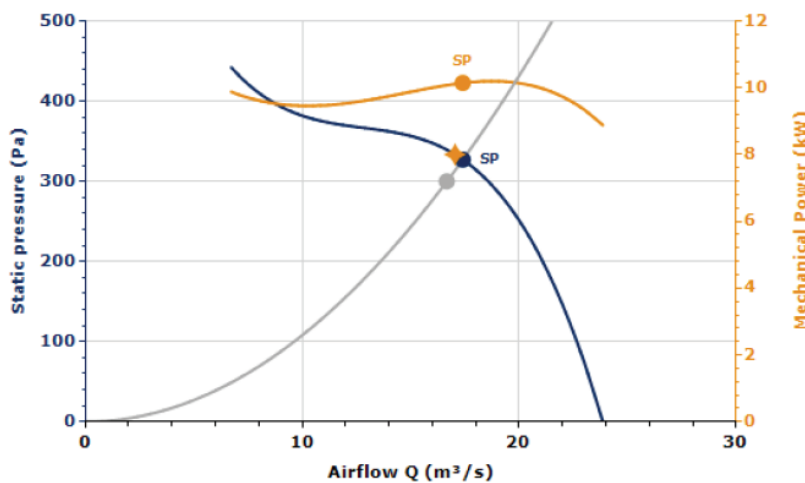
- THT/CL: tubular axial fans with long casing fitted with an inspection hatch.

On request:

- Airflow direction from impeller to motor.
- Rotors 100% reversible.



CHARACTERISTIC CURVE AND ACOUSTICS AT 1.2KG/M³

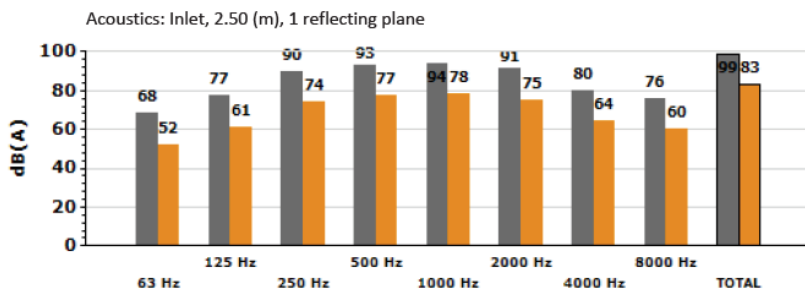


Design Point

Q (m³/s)	16.66
Ps (Pa)	300

Service Point (SP)

Q (m³/s)	17.40
Ps (Pa)	327.19
Pd (Pa)	120.60
Pt (Pa)	447.79
Impeller (rpm)	955
Blade Inclination (°)	26
Max. Temp. (°C)	40
Outlet air speed (m/s)	14.18
Efficiency (%)	76.77
SFP (kW/m³/s)	0.65
Mechanical Power (kW)	10.15



Band	Lw dB(A)	Lp dB(A)
63 Hz	68	52
125 Hz	77	61
250 Hz	90	74
500 Hz	93	77
1000 Hz	94	78
2000 Hz	91	75
4000 Hz	80	64
8000 Hz	76	60
TOTAL	99	83

Obrázek 21 – Technická specifikace požárního odtah. ventilátoru

TECHNICAL CHARACTERISTICS

Airflow maximum (m ³ /s)	23.85
Speed (rpm)	955
Approx. weight (kg)	285

ERP

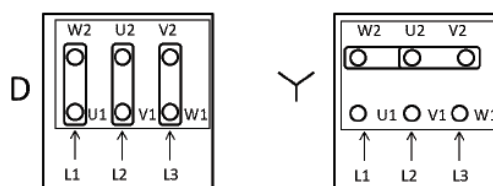
Efficiency	50.6%
Efficiency grade N	50.6
Measurement category	C
Efficiency category	Static
Specific ratio	1.00
Flowrate (m ³ /h)	61349

Pressure (Pa)	334
Input power (kW)	11.243
Speed (rpm)	968
Variable speed drive	VSD not necessary
ErP compliance	2015

★ Data established at point of optimum efficiency

MOTOR DATA

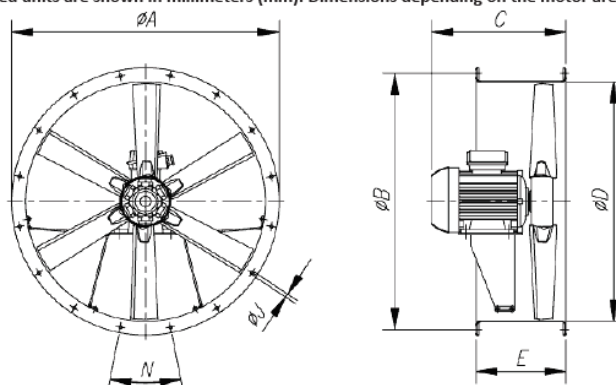
Rated Mechanical Power (kW)	11
Hz/phases	50/3
Motor (rpm)	970
Poles	6P
Max. current (A) 380-400 V D	22.50
Max. current (A) 660-725 V Y	13.07
Motor protection	IP55
Motor class	F400
Motor frame size	160



DIMENSIONS

ØA	ØB	C	ØD	E	ØJ	N
1365	1320	695	1250	500	15	20x18°

Dimensions without explicitly defined units are shown in millimeters (mm). Dimensions depending on the motor are approximate



Obrázek 22 – Technická specifikace a rozměry požárního odtah. ventilátoru

B.2.2.6.2.2 Ventilátor v šachtě 6 a 7

Požadovaný pracovní bod ventilátoru

- Průtok vzduchu $Q = 9,68 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tlaková ztráta $p = 300 \text{ Pa}$

Pro každou šachtu navržen ventilátor SODECA THT-100-4T-10-F-400 IE3

- Celkem 2 ks

Skutečný pracovní bod

- Průtok vzduchu $Q = 10,73 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tlaková ztráta $p = 368,29 \text{ Pa}$

Požární certifikace F400/120 dle ČSN EN 12101-3.

THT-100-4T-10-F-400 IE3



400°C/2h and 300°C/2h tubular axial extractor fans with short casing

Fan:

- Tubular sheet steel casing.
- Variable angle rotors made of cast aluminium.
- Approved in accordance with standard EN 12101-3. With certifications no.: 0370- CPR-0305 (F-400) and 0370 CPR-0973 (F-300).
- Airflow direction from motor to impeller.

Motor:

- Class H motors for S1 continuous operation and S2 emergency use. With ball bearings. IP55 protection and 1 or 2 speeds, depending on model.
- IE2 or IE3 efficiency motors depending on model, except 2 speed and 8 poles.
- Three-phase 230/400V-50Hz (up to 3kW) and 400/690V-50Hz (powers higher than 3kW).
- Maximum temperature of air to be carried: S1 continuous operation -20°C +40°C. S2 operation 300°C/2h, 400°C/2h. Also suitable for hot climates with temperatures up to 50°C. S2 operation 300°C/2h, 400°C/2h.

Finish:

- Anti-corrosive finish of polyester resin polymerised at 190°C, previously degreased with phosphate-free nanotechnological treatment.

Available versions:

- THT/CL: tubular axial fans with long casing fitted with an inspection hatch.

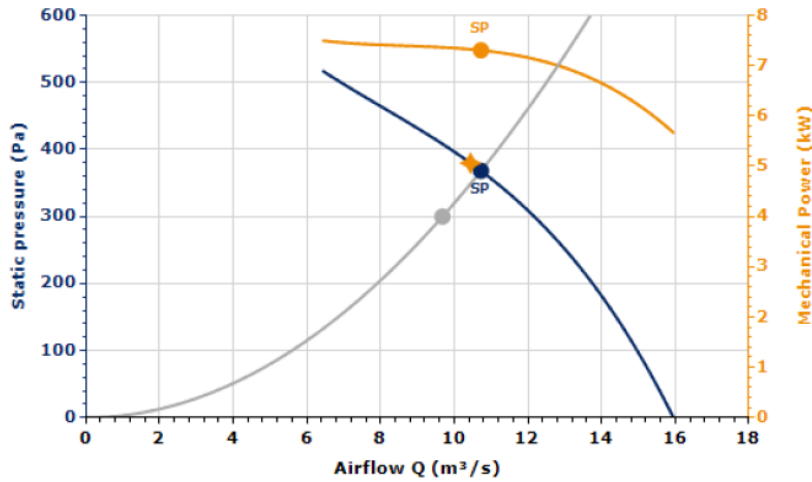
On request:

- Airflow direction from impeller to motor.
- Rotors 100% reversible.



Obrázek 23 – Technická specifikace požárního odtah. ventilátoru

CHARACTERISTIC CURVE AND ACOUSTICS AT 1.2KG/M³



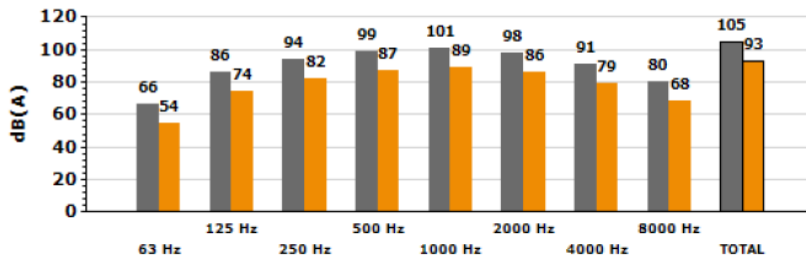
Design Point

Q (m ³ /s)	9.68
Ps (Pa)	300

Service Point (SP)

Q (m ³ /s)	10.73
Ps (Pa)	368.29
Pd (Pa)	111.89
Pt (Pa)	480.18
Impeller (rpm)	1460
Blade Inclination (°)	16
Max. Temp. (°C)	40
Outlet air speed (m/s)	13.66
Efficiency (%)	70.45
SFP (kW/m ³ /s)	0.76
Mechanical Power (kW)	7.31

Acoustics: Inlet, 1.50 (m), 1 reflecting plane



Band	Lw dB(A)	Lp dB(A)
63 Hz	66	54
125 Hz	86	74
250 Hz	94	82
500 Hz	99	87
1000 Hz	101	89
2000 Hz	98	86
4000 Hz	91	79
8000 Hz	80	68
TOTAL	105	93

TECHNICAL CHARACTERISTICS

Airflow maximum (m ³ /s)	15.94
Speed (rpm)	1460
Approx. weight (kg)	142

ERP

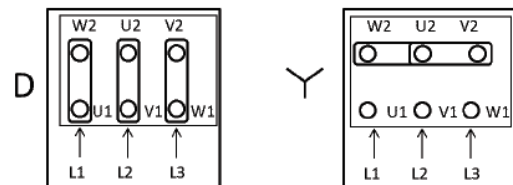
Efficiency	48.7%
Efficiency grade N	49.3
Measurement category	C
Efficiency category	Static
Specific ratio	1.00
Flowrate (m ³ /h)	37591

Pressure (Pa)	380
Input power (kW)	8.144
Speed (rpm)	1476
Variable speed drive	VSD not necessary
ErP compliance	2015

★ Data established at point of optimum efficiency

MOTOR DATA

Rated Mechanical Power (kW)	7.50
Hz/phases	50/3
Motor (rpm)	1460
Poles	4P
Max. current (A) 380-400 V D	14.20
Max. current (A) 660-725 V Y	8.17
Motor protection	IP55
Motor class	F400
Motor frame size	132

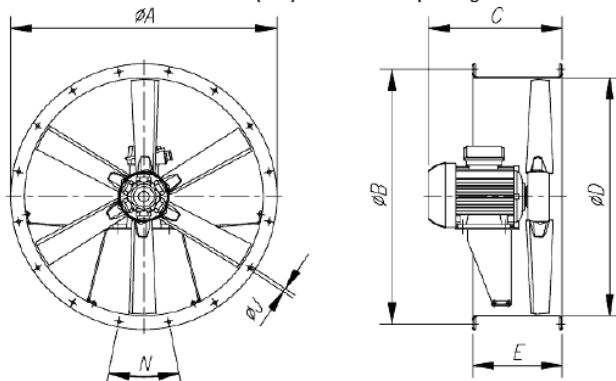


Obrázek 24 – Technická specifikace požárního odtah. ventilátoru

DIMENSIONS

$\varnothing A$	$\varnothing B$	C	$\varnothing D$	E	$\varnothing J$	N
1115	1070	565	1000	450	15	16x22°30'

Dimensions without explicitly defined units are shown in millimeters (mm). Dimensions depending on the motor are approximate



Obrázek 25 – Rozměry požárního odtah. ventilátoru

B.2.2.7 Návrh posuvných ventilátorů

Návrh počtu posuvných ventilátorů se řídí vcelku jednoduchým pravidlem. Podle velikosti tahu ventilátoru (hodnota tahu je udávána v Newtonech) se vydělením této hodnoty dvěma získá přibližná velikost prostoru před ventilátorem (po směru průtoku), který je schopný obsloužit.

Dalším důležitým pravidlem z hlediska umístování je zásada neumístovat tyto posuvné ventilátory nad parkovací stání – tzn. aby nesměřovaly vzduch přímo na auta, a v případě požáru nedošlo k rozšíření na sousední automobil. Díky svým konstrukčním vlastnostem posouvají. Správná pozice jejich umístění je nad komunikační prostory, s dostatečnou vzdáleností jejich sacího otvoru od obvodových či vnitřních stěn.

Požární ventilátory musí vyhovovat certifikaci dle ČSN EN 12101-3. Dle té jsou zkoušeny při zvolené teplotě vzduchu po stanovenou dobu, např. F400/120 nebo F300/120 (teplota [°C]/čas [min]).

B.2.2.7.1 Varianta s impulzními ventilátory

Pro tuto variantu byly vybrány ventilátory Colt Jetstream VeJe 415 T, tedy ty nejúčinnější z celé řady. Jedná se o provedení se dvěma výkonnostními stupni – slabší pro provozní a silnější pro požární větrání, v jednosměrném provedení (bez možnosti reverzibilního chodu). Při požárním režimu provozu má tah 50 N.

Světle modré řádky uvádí výkonnostní parametry pro první provozní stupeň. Bílé řádky pak popisují parametry pro druhý výkonnostní stupeň při požárním větrání.

Type	Motor Power kW	Nominal Current A	Starting Current A	Air flow	Air volume m ³ /s	Low/ High	Speed RPM	Air Speed m/s	Thrust N	LpA 3m dB(A)
VeJe 315 T	0.2	0.6	2.7	i - m	0.41	low	1400	6.2	3	48
VeJe 315 T	0.8	1.91	11.46	i - m	0.8	high	2820	12.1	12	64
VeJe 350 RT	0.25	0.75	2.9	i - m	0.53	low	1483	9.9	7	51.5
VeJe 350 RT	1.1	2.41	14.5	i - m	1.00	high	2921	19.1	24	68.9
VeJe 350 RT	0.25	0.75	2.9	m - i	0.53	low	1479	10.1	7	53.2
VeJe 350 RT	1.1	2.41	14.5	m - i	1.03	high	2915	19.2	24	72.3
VeJe 350 T	0,25	0,75	2,9	i - m	0,56	low	1484	10,2	7	49,9
VeJe 350 T	1,1	2,41	14,5	i - m	1,11	high	2933	20,1	27	66
VeJe 415 RT	0.37	1.25	5.7	i - m	0.80	low	1477	10.1	10	57.5
VeJe 415 RT	1.5	3.54	23.1	i - m	1.63	high	2897	20.6	42	76.5
VeJe 415 RT	0.37	1.25	5.7	m - i	0.81	low	1480	10.7	11	58.9
VeJe 415 RT	1.5	3.54	23.1	m - i	1.67	high	2902	20.8	43	78.2
VeJe 415 T	0.37	1.25	5.7	i - m	0.89	low	1480	11.2	13	51.9
VeJe 415 T	1.5	3.54	23.1	i - m	1.81	high	2903	22.6	50	68.0

The values for RT VeJe 315 have yet to be determined.

Direction of the air stream
 i = impeller
 m = motor

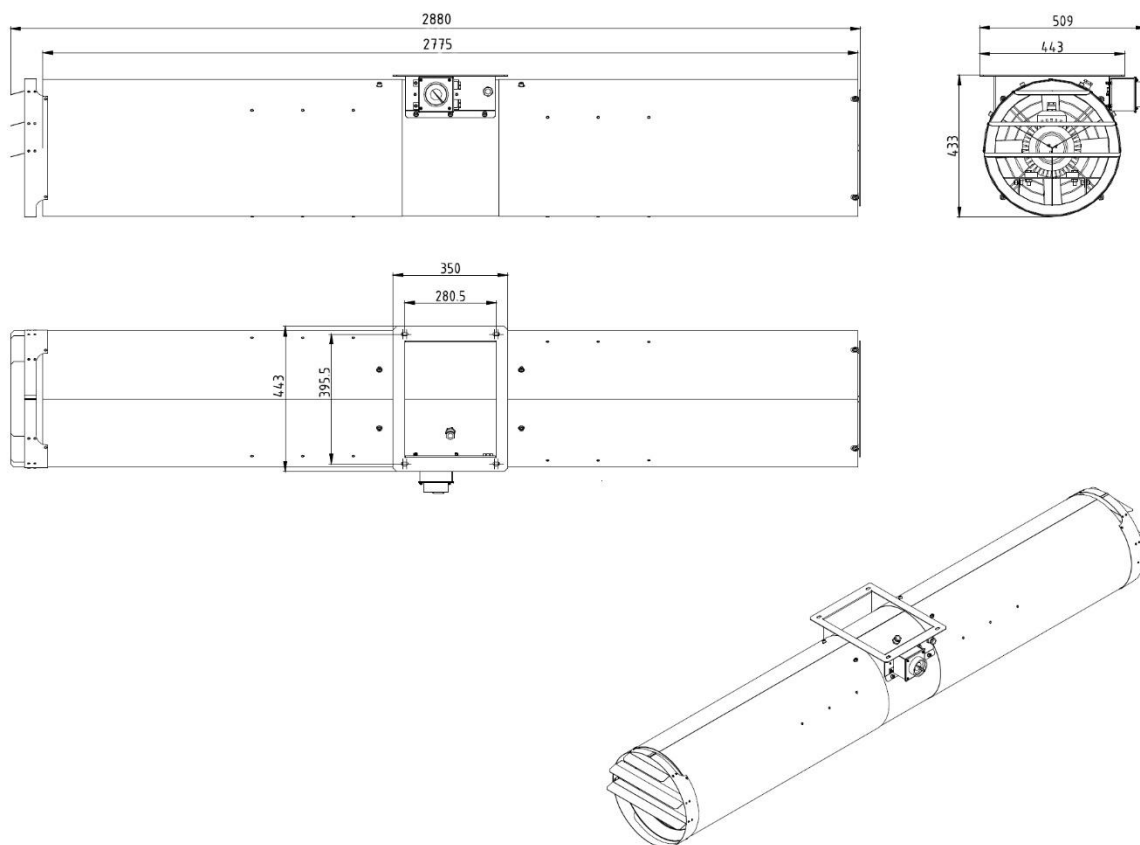
Obrázek 26 – Technická specifikace požárního impulzního ventilátoru [15]

- Tah v požárním režimu: 50 N
 - 50/2 => 25 m účinnost

Dle daných zásad umístování a geometrie prostoru byl navržen příslušný počet ventilátorů.

- Počet – celkem 10 ks
 - Kouřová sekce 1: 6 ks
 - Kouřová sekce 2: 4 ks
- Hladina akustického tlaku v provozním režimu Lp(A) 3 m = 51,9 dB(A)
 - **VYHOVUJE POŽADAVKŮM INVESTORA: 51,9 < 55 dB(A)**
- Požární certifikace F300/120 dle ČSN EN 12101-3.

- Rozměry: Průměr 400 mm, délka 2880 mm



Obrázek 27 – Rozměry požárního impulzního ventilátoru [15]

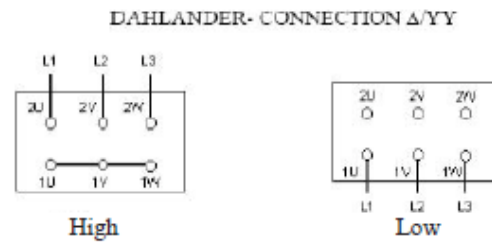


Obrázek 28 – Umístění požárního impulzního ventilátoru pod stropem [15]

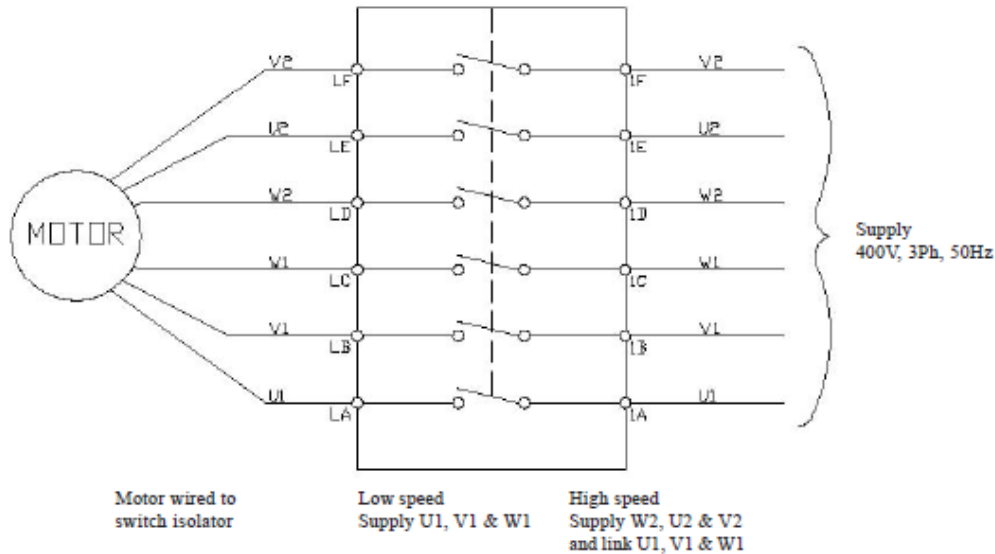
Technical specifications VeJe 415 T & RT

Connection diagram, motor

Rotational direction may be switched by reversing the 2 phases.



Connection diagram, F 300 maintenance switch, Dahlander 2/4 pole



Technical data:	n [min ⁻¹]	: 2800/1400 YY/Y	I_{nom} [A]	: 3.45 / 1.25
	P [Kw]	: 1.5 / 0.37	IP class	: 55
	U [V]/ph/F [Hz]	: 400/3/50 YY/Y	Ins CL	: H

Weight: Total weight incl. packaging per unit: 75 kg.

Maintenance interval for bearings:

Bearings must be replaced after 20,000-40,000 hours.

Motor / impeller maintenance:

Special care must be given to the maintenance of F300 motors.

See chapter 8 (item 8.6 in particular) of the instruction manual - see section 4 of this GPTS.

Obrázek 29 – Technická specifikace požárního impulzního ventilátoru [15]

B.2.2.7.2 Varianta s indukčními ventilátory

Pro tuto variantu byly vybrány ventilátory Colt Cyclone 300 S2 100N a Cyclone 250 S2 50N. Tedy dvě výkonnostní varianty, a to z důvodů velikosti rozměrů odvětrávaného prostoru.

B.2.2.7.2.1 Cyclone 300 S2 100N

První sloupec (1400 RPM) uvádí parametry pro druhý (výkonnější) požární režim. Druhý sloupec (700 RPM) pak popisuje parametry pro první výkonnostní stupeň, který je určený pro provozní větrání.

Cyclone CPV 300 S2 100N			
Nominal speed	RPM	1400	700
Thrust	Newtons	98	24
Volume flow rate	m ³ / sec	2.45	1.21
Outlet velocity	m/ sec	32.6	16.1
Provisional noise data			
Sound pressure level @3m (free field)	dB(A)	71.3	55.5
Running current			
	A	5.6	2.0
Motor details			
Motor power	kW	2.2	0.55
Full load current = I _n	A	5.6	2.0
Starting current	A	38.64	7.7
Protection class		IP55	
Insulation class		H	
Temperature rating unclassified		F 300 (300°C for 120 minutes)	
Supply		400/3/50	
Installation			
		4 point ceiling fixing	
Complete enclosure			
		1.5mm thick mild steel	
Finish (optional with powder coating)			
		galvanised (RAL colour)	
Dimensions (L/W/H):			
	mm	1457*1000*308	
Weight:			
	Kg	102	

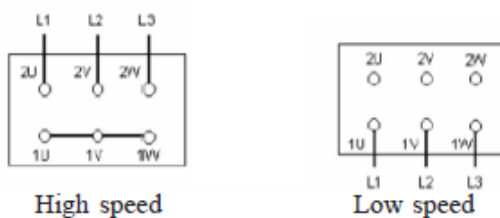
Obrázek 30 – Technická specifikace požárního indukčního ventilátoru [16]

Technical specifications Cyclone CPV 300 S2 100N (contd.)

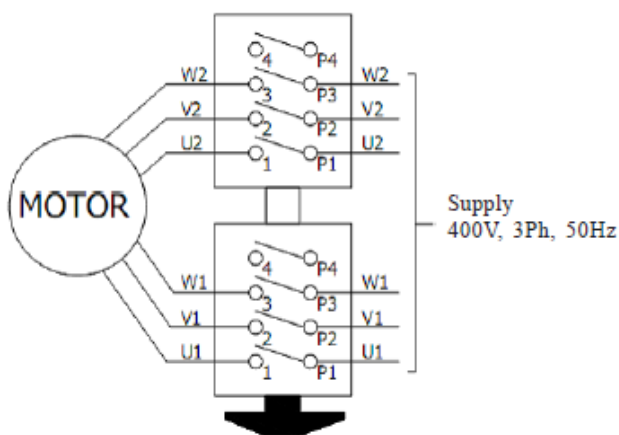
Dahlander connection Y/YY

Connection diagram, motor

Rotational direction may be switched by reversing the 2 phases.



Connection diagram, F 300 service switch, Dahlander connection



Motor wired to
switch isolator

Low speed
Supply U1, V1 & W1

High speed
Supply U2, V2, W2
and link U1, V1, W1

Technical data:	n [min^{-1}]	: 1400/700 YY/Y	I_{nom} [A]	: 5.6 / 2.0
	P [Kw]	: 2.2 / 0.55	IP class	: 55
	U [V]/ph/F [Hz]	: 400/3/50 V AC	Ins CL	: H

Weight: Total weight incl. packaging per unit 102 kg.

Maintenance interval for bearings:

Bearings must be replaced after 10,000-16,000 hours.

Motor / impeller maintenance:

Special care must be given to the maintenance of F300 motors.

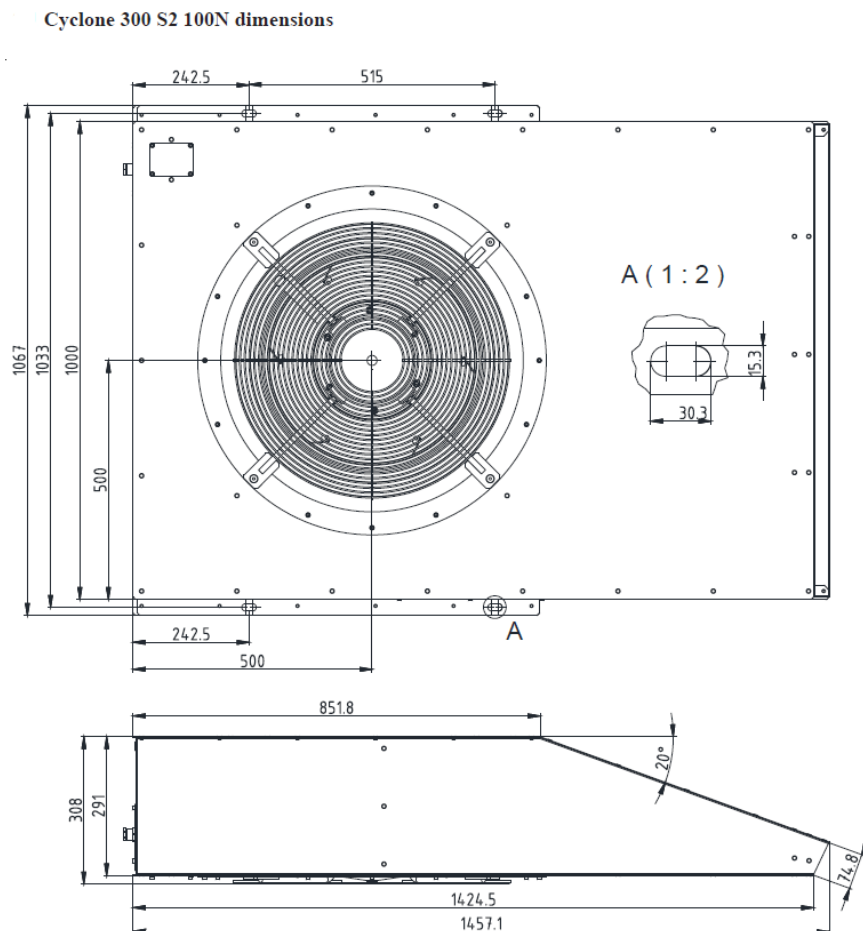
See chapter 8 (item 8.6 in particular) of the instruction manual - see section 4 of this GPTS.

Obrázek 31 – Technická specifikace požárního indukčního ventilátoru [16]

- Tah v požárním režimu: 98 N
 - $98/2 \Rightarrow 49$ m účinnost

Dle daných zásad umístování a geometrie prostoru byl navržen příslušný počet ventilátorů.

- Počet – celkem 4 ks
 - Kouřová sekce 1: 2 ks
 - Kouřová sekce 2: 2 ks
- Hladina akustického tlaku v provozním režimu $L_p(A)$ 3 m = 55,5 dB(A)
 - **VYHOVUJE POŽADAVKŮM INVESTORA: 55,5 \approx 55 dB(A)**
- Požární certifikace F300/120 dle ČSN EN 12101-3.



Obrázek 32 – Rozměry požárního indukčního ventilátoru [16]

B.2.2.7.2.2 Cyclone 250 S2 50N

První sloupec (1400 RPM) uvádí parametry pro druhý (výkonnější) požární režim. Druhý sloupec (700 RPM) pak popisuje parametry pro první výkonnostní stupeň, který je určený pro provozní větrání.

Cyclone CPV 250 S2 50N			
Nominal speed	RPM	1400	700
Thrust	Newtons	51	13
Volume flow rate	m ³ / sec	1.63	0.81
Outlet velocity	m/ sec	25.4	12.6
Provisional noise data			
Sound pressure level @3m (free field)	dB(A)	70.1	53.5
Running current			
	A	3.3	1.5
Motor details			
Motor power	kW	1.2	0.3
Full load current	A	3.3	1.5
Starting current	A	18.15	4.65
Protection class		IP55	
Insulation class		H	
Temperature rating unclassified		F 300 (300°C for 120 minutes)	
Supply		400/3/50	
Installation			
		4 point ceiling fixing	
Complete enclosure			
		1.5mm thick mild steel	
Finish (optional with powder coating)			
		galvanised (RAL colour)	
Dimensions (L/W/H):			
	mm	1206*830*253	
Weight:			
	Kg	70	

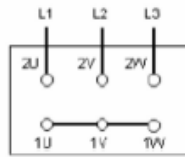
Obrázek 33 – Technická specifikace požárního indukčního ventilátoru [16]

Technical specifications Cyclone CPV 250 S2 50N (contd.)

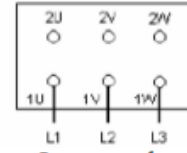
Dahlander connection Y/YY

Connection diagram, motor

Rotational direction may be switched by reversing the 2 phases.

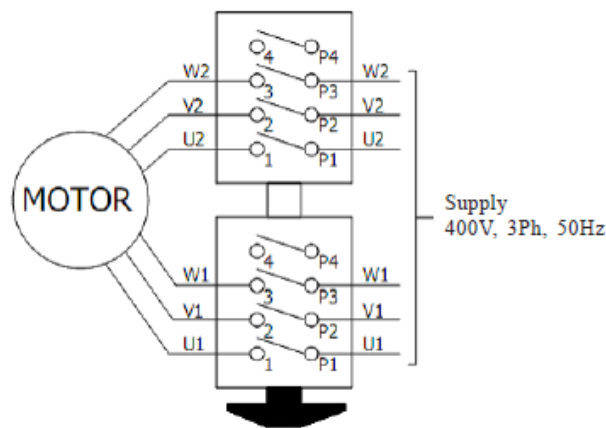


High speed



Low speed

Connection diagram, F 300 service switch, Dahlander connection



Motor wired to
switch isolator

Low speed
Supply U1, V1, W1

High speed
Supply U2, V2, W2
and link U1, V1, W1

Technical data:	$n [\text{min}^{-1}]$: 1400/700 YY/Y	$I_{\text{nom.}} [\text{A}]$: 3.3 / 1.5
	$P [\text{Kw}]$: 1.2 / 0.30	IP class : 55
	$U [\text{V}]/\text{ph}/F [\text{Hz}]$: 400/3/50 V AC	Ins CL : H

Weight: Total weight incl. packaging per unit 70 kg.

Maintenance interval for bearings:

Bearings must be replaced after 10,000-16,000 hours.

Motor / impeller maintenance:

Special care must be given to the maintenance of F300 motors.

See chapter 8 (item 8.6 in particular) of the instruction manual - see section 4 of this GPTS.

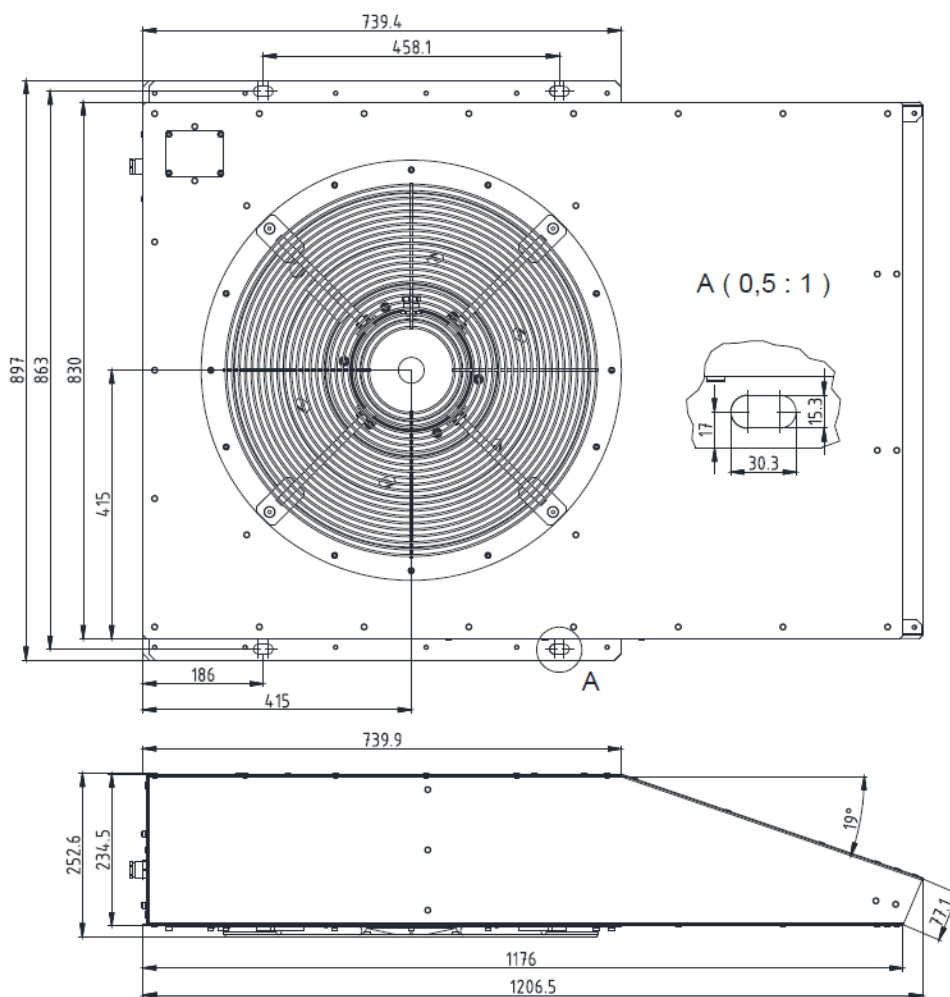
Obrázek 34 – Technická specifikace požárního indukčního ventilátoru [16]

- Tah v požárním režimu: 51 N
 - 51/2 => 25,5 m účinnost

Dle daných zásad umístování a geometrie prostoru byl navržen příslušný počet ventilátorů.

- Počet – celkem 2 ks
 - Kouřová sekce 1: 2 ks
- Hladina akustického tlaku v provozním režimu $L_p(A)$ 3 m = 53,5 dB(A)
 - **VYHOVUJE POŽADAVKŮM INVESTORA: 53,5 < 55 dB(A)**
- Požární certifikace F300/120 dle ČSN EN 12101-3.

Cyclone 250 S2 50N dimensions



Obrázek 35 – Rozměry požárního indukčního ventilátoru [16]



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

C. MODELOVÁNÍ A APLIKACE VÝPOČETNÍ TECHNIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Volný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN WEYR

BRNO 2020

C.1 Ověření navržené varianty pomocí FDS analýzy

Pro FDS analýzu je použit SW Pyrosim. Pro zobrazení a analýzu výsledků simulací je použit SW SmokeView. Software Pyrosim řeší Navier-Stokesovu rovnici pomocí metody Large Eddy Simulation. Konvektivní a sálavý přenos tepla v modelu je počítán.

- Preprocesor – Pyrosim
- Řešič – FDS (Fire Dynamics Simulator) verze 6.6.0
- Postprocesor – Smokeview

Pro ověření návrhu pomocí FDS analýzy bylo vybráno technické řešení s impulzními posuvnými ventilátory Colt Veje 415 T.

C.1.1 Stanovená kritéria simulací

- Ověření účinnosti požárního větrání – prostor garáží odvětrán do 10 minut od uhašení požáru (dle BS 7346-7:2013)
- Rychlost proudění vzduchu v prostoru garáží (zejména pak v oblasti vjezdové rampy, která slouží jako přívod vzduchu a taktéž jako jedna z únikových cest) max 5 m/s (z důvodů evakuace osob) – požadavek dle prCEN TS 12101-11 Smoke and heat ventilation systems for car parks
- Maximální teplota 300 °C pro posuvné ventilátory (jejich certifikace F300 dle EN 12101-1) – sledovaný vývoj teploty v čase na nejbližším posuvném ventilátoru k ohnisku požáru

C.1.2 Okrajové podmínky simulace

C.1.2.1 Parametry simulace

- Verze FDS: 6.6.0
- Typ metody: LES (Large Eddy Simulation)
- Smagorinského konstanta = 0,2 (default)
- Schmidtovo číslo = 0,5 (default)
- Prandtlovo číslo = 0,5 (default)
- Zahrnuta baroklinická vířivost
 - Je zahrnuto vytváření vířivosti v důsledku nerovnoměrného rozložení hustoty a gradientu tlaku
- Návrhová interiérová teplota (stavební konstrukce + vzduch): 20 °C
- Návrhová teplota vzduchu exteriéru: 20 °C
- Návrhový tlak okolního vzduchu: 1013,25 hPa = 101325 Pa

C.1.2.2 Parametry modelu

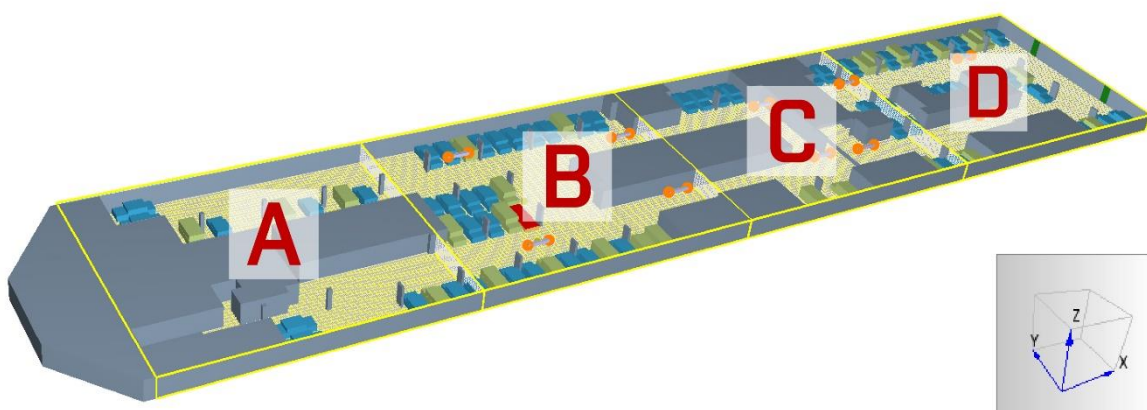
Plochy v modelu reprezentující stavební konstrukce byly modelovány s následujícími vlastnostmi:

- Materiál stavebních konstrukcí: ŽELEZOBETON
 - Hustota: 2280 kg/m³
 - Měrná tepelná kapacita: 1040 J/kg.K
 - Součinitel tepelné vodivosti: 1,8 W/m.K
 - Emisivita: 0,9
 - Tloušťka: 0,3 m

C.1.2.3 Mesh

Pro volbu velikosti jednotlivých buněk výpočetní sítě, bylo nejprve spuštěno několik předběžných simulací s různou jemností sítě. O konečné podobě výpočetní sítě rozhodovala rovnováha mezi přesností a výpočtovou náročností řešení. Pro všechny simulované scénáře byl použit mesh s následujícími parametry:

- Velikost meshe: 149 x 32,5 x 2,75 m (X x Y x Z)
- Velikost výpočetních buněk meshe: 0,5 x 0,5 x 0,25 m (X x Y x Z)
- Celkový počet buněk: 213 070
 - Tento mesh byl následně rovnoměrně rozdělen na čtyři části rovinami YZ, a to z důvodů rovnoměrného rozdělení výpočetní zátěže na jednotlivá jádra procesoru počítače
 - Mesh A: 52 910 buněk
 - Mesh B: 53 625 buněk
 - Mesh C: 52 910 buněk
 - Mesh D: 53 625 buněk



Obrázek 36 – Rozdělení výpočetní sítě

C.1.2.4 Doba trvání simulace

Doba simulace se pohybuje mezi 1100 a 1400 sekundami, v závislosti na daném simulovaném scénáři. Nejkratší doba (1100 sekund) byla stanovena dle požadavku britské normy.

V současné době v ČR neexistuje legislativa, která by stanovovala maximální čas pro kompletní odvětrání prostoru po požáru. V normě ČSN 73 0802 Zásady pro navrhování požárního odvětrání stavebních objektů (příloha H) je uveden výpočet pro stanovení násobné výměny vzduchu při požárním větrání objektu. Proto bylo nutné řídit se z hlediska požadované maximální doby nutné pro odvětrání zakouřeného prostoru zahraniční normou.

V BS 7346-7:2013 je uveden časový požadavek na systémy OTK. Tyto systémy musí zajistit úplné odkouření prostoru garáží do 10 minut od uhašení požáru.

Doba trvání simulace byla zvolena i s ohledem na vypočtenou příjezdovou dobu složek HZS, která závisí na vzdálenosti stanice HZS a řešeným objektem.

C.1.2.5 Modelování požáru

C.1.2.5.1 Přístupy dle různých norem

Pro modelování požáru existuje několik přístupů. Pro požáry s ustáleným stavem (steady-state methods) uvádí britská norma BS 7346-7:2013 Components for smoke and heat control systems – Part 7 jednotlivé parametry simulovaného požáru. Těmi jsou půdorysné rozměry, obvod požáru a množství uvolněného tepla. Norma doporučuje použití údajů z této tabulky, nebo lépe odpovídající parametry, které jsou založeny na experimentálních testech.

Parametry požáru	Vnitřní parkoviště bez sprinklerového systému	Vnitřní parkoviště se sprinklerovým systémem
Rozměry	5 m x 5 m	2 m x 5 m
Obvod	20 m	14 m
Uvolněné teplo	8 MW	4 MW

Tabulka 8 – Návrhové parametry požáru dle BS 7346-7:2013

Návrhové výpočtové hodnoty požáru pro garáže jsou uvedeny i v předběžné normě ČSN P CEN/TR 12 101-5 Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla – Část 5: Směrnice k funkčním doporučením a výpočetním metodám pro větrací systémy odvodu kouře a tepla (str. 32), která vešla v účinnost v dubnu 2008. Ta uvádí množství uvolněného tepla v závislosti na 1 m².

Default values of design fires			Heat release rate per unit area [kW/m ²]
Occupancy	Fire area [m ²]	Fire perimeter [m]	
Car park	10	12	400

Tabulka 9 – Návrhové parametry požáru dle ČSN P CEN/TR 12 101-5)

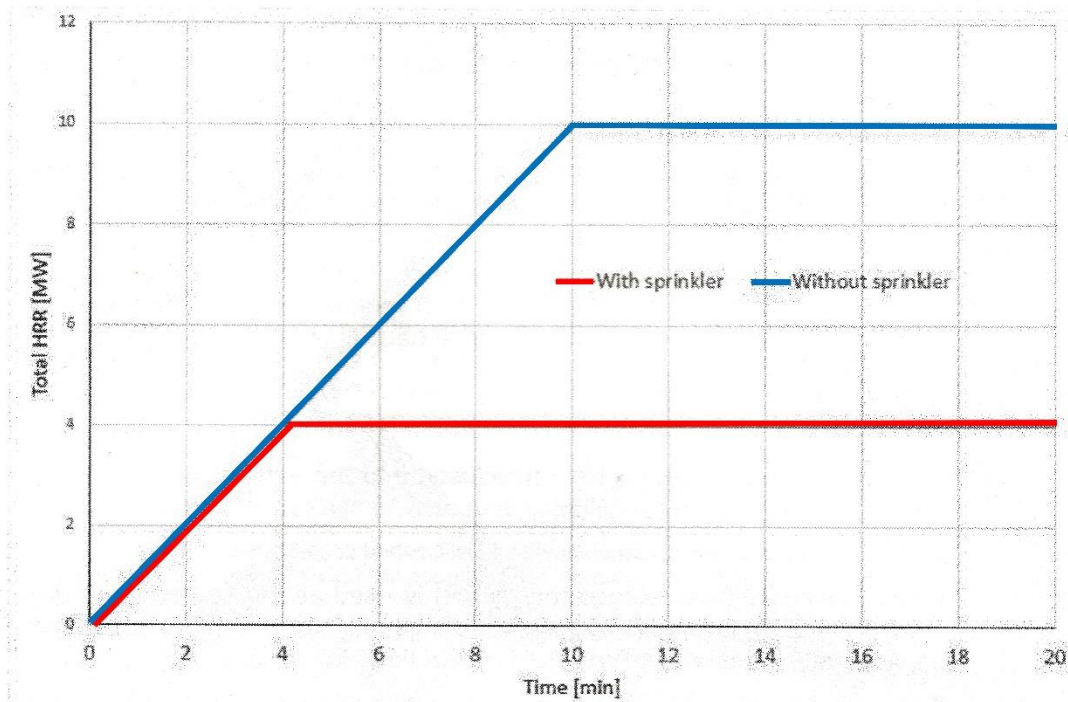
Parametry pro výpočtový požár uvádí taktéž v předběžném návrhu normy prCEN TS 12101-11 Smoke and heat ventilation systems for car parks, z 21. 10. 2015.

Design fires	Indoor car park without sprinkler system	Indoor car park with sprinkler system
Fire area [m ²]	7,5 m x 5 m	2,5 m x 5 m
Fire perimeter [m]	25 m	15 m
Total heat release rate (steady state) [MW]	10 MW	4 MW

Tabulka 10 – Návrhové parametry požáru dle prCEN TS 12101-11

C.1.2.5.2 Křivka požáru (Total Heat Release Rate curve)

Množství uvolněného tepla v závislosti na čase je uvedeno v neharmonizované předběžné normě prCEN TS 12101-11. Následující graf znázorňuje množství uvolněného tepla v MW při požáru auta v závislosti na čase. V grafu jsou dvě křivky, z nichž první znázorňuje průběh uvolňování tepla při požáru v garážích se sprinklerovým systémem, druhá pak průběh pro garáže bez sprinklerových systémů.



Obrázek 37 – Křivka HRR [prCEN TS 12101-11]

V případě sprinklerových systémů se křivka rozvoje uvolňování tepla po 4 minutách ustálí na hodnotě 4 MW, kdy požár dosáhne maximální hodnoty tepelného výkonu. Bez sprinklerových systémů se množství uvolňovaného tepla ustálí na 10 MW po 10 minutách. Tyto křivky byly získány analýzou provedených experimentálních měření požárů aut v uzavřených garážích – dle TNO Report 1999-CVB-R1442/OEN/LRP, 20. June 1999.

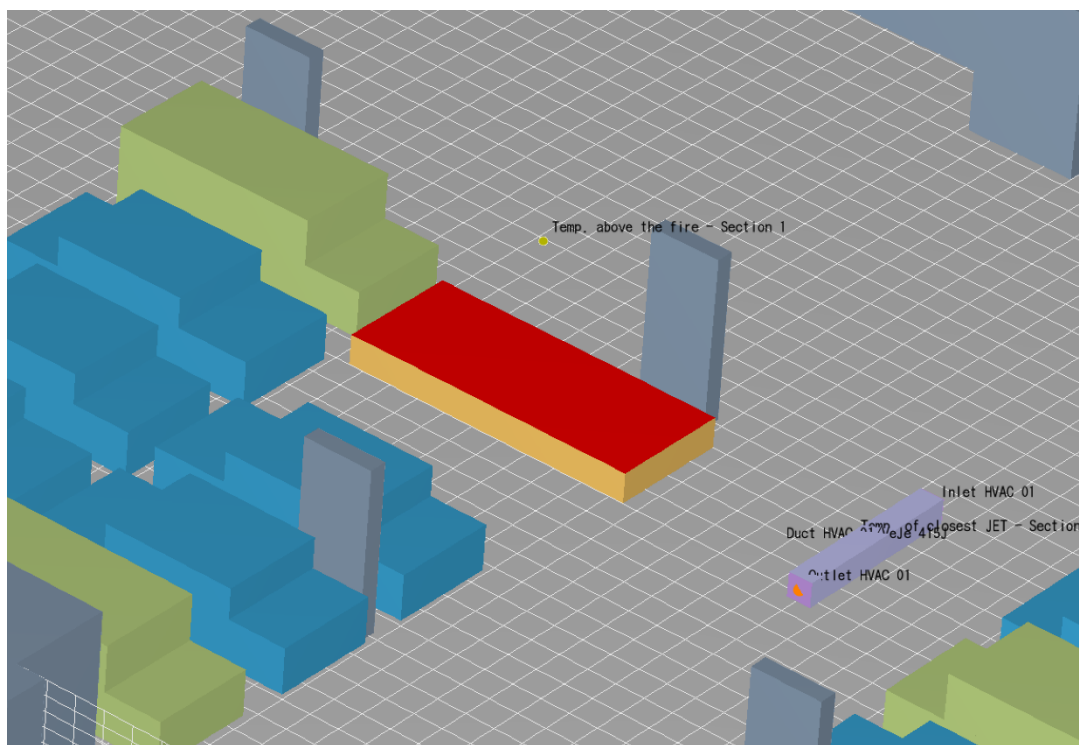
Účinnost sprinklerů při požáru automobilů v garážích je diskutabilní. Požár automobilu začne většinou v motorovém prostoru, nebo na podvozkové části. Požár je tak hlavně při jeho počáteční rozvojové fázi chráněn před účinky SHZ kapotou motoru, či vlastní karoserií automobilu.

C.1.2.5.3 Zvolené parametry simulovaného požáru

Vzhledem k tomu, že řešená garáž je vybavena SHZ zařízením – pomocí sprinklerů, lze uvažovat množství uvolněného tepla 4 MW (dle ČSN P CEN/TR 12 101-5). Pro simulování postupného rozvoje požáru byla použita křivka pro sprinklerové řešení podle grafu z prCEN TS 12101-11.

Souhrn parametrů pro modelování požáru:

- Plocha požáru: **A = 10 m²**
- Výška požáru nad podlahou: **h = 0,5 m**
- Množství uvolněného tepla: **HRR = 400 kW/m²**
- Doba rozvoje požáru na maximální výkon: **4 min (240 s)**



Obrázek 38 – Geometrie modelovaného požáru

C.1.2.5.4 Polyurethane GM27

Pro simulaci požáru automobilu je jako hořící materiál použit polyurethan GM27 [18]. V současné době vyráběná a taktéž provozovaná auta jsou tvořena z velké části plastovými díly, proto byl zvolen tento materiál. Při hoření polyuretanu GM27 dochází k vysoké produkci sazí, což vede k vysokému množství kouře. To je důležité pro ověření funkčnosti požárního větrání z hlediska zvyšování viditelnosti v zakouřeném prostoru.

Přehled vlastností	
Atomy uhlíku	1,0
Atomy vodíku	1,7
Atomy kyslíku	0,3
Atomy dusíku	0,08
Produkce CO	0,042
Produkce sazí	0,1
Frakce vodíku	0,1
Množství uvolněné energie na jednotku kyslíku [kJ/kg]	1,31E+04

Tabulka 11 – Polyurethane GM27

C.1.2.6 Výpočtová doba požáru

Doba ohlášení požáru

- 90 s

Výpočet času dojezdů požárních jednotek

$$\text{Výpočet dle vzorce: } t_{DO} = t_v + t_j = t_v + \frac{60 \times L}{v_j} \text{ [min]}$$

kde: t_v – doba výjezdu jednotky PO [min]

- 2 min pro JPO I (jednotka požární ochrany)

t_j – doba jízdy jednotky k zásahu [min]

L – délka trasy mezi stanicí HZS a hořícím objektem [km]

- 1,25 km

VJ – průměrná rychlost jízdy požárních automobilů [km/h]

- 45 km/h



Obrázek 39 – Mapa trasy JPO

$$t_{DO} = t_v + t_j = 2 + \frac{60 \times 1,25}{45} = 3,7 \text{ min} = 220 \text{ s}$$

Doba potřebná k zahájení zásahu v objektu

- 150 s

Celková doba rozvoje požáru

- 90+220+150 = 460 s

Doba potlačení požáru

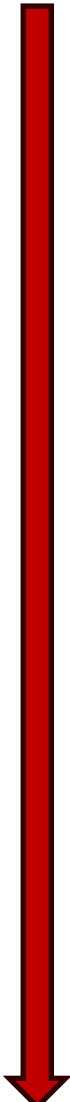
- 100 s

C.1.2.7 Celkový přehled – časová osa

Stanovení a výpočet jednotlivých časových aspektů bylo nezbytné a velmi důležité pro vytvoření co nejvěrnějšího (nejreálnějšího) modelu pro simulaci požáru vozidla v garážích.

Pro správné nastavení všech časových parametrů v modelu jako jsou doba spuštění odtahových a posuvných ventilátorů, doba rozvoje požáru na maximální výkon a jeho uhašení, byla pro lepší přehlednost vytvořena časová osa s popisem a znázorněním jednotlivých událostí. Časová osa zároveň zlepšuje orientaci v čase během porovnání výsledků simulací.

Aktivace posuvných ventilátorů je zpožděna o 120 sekund z důvodu evakuace případných osob nacházejících se v prostoru garáže.



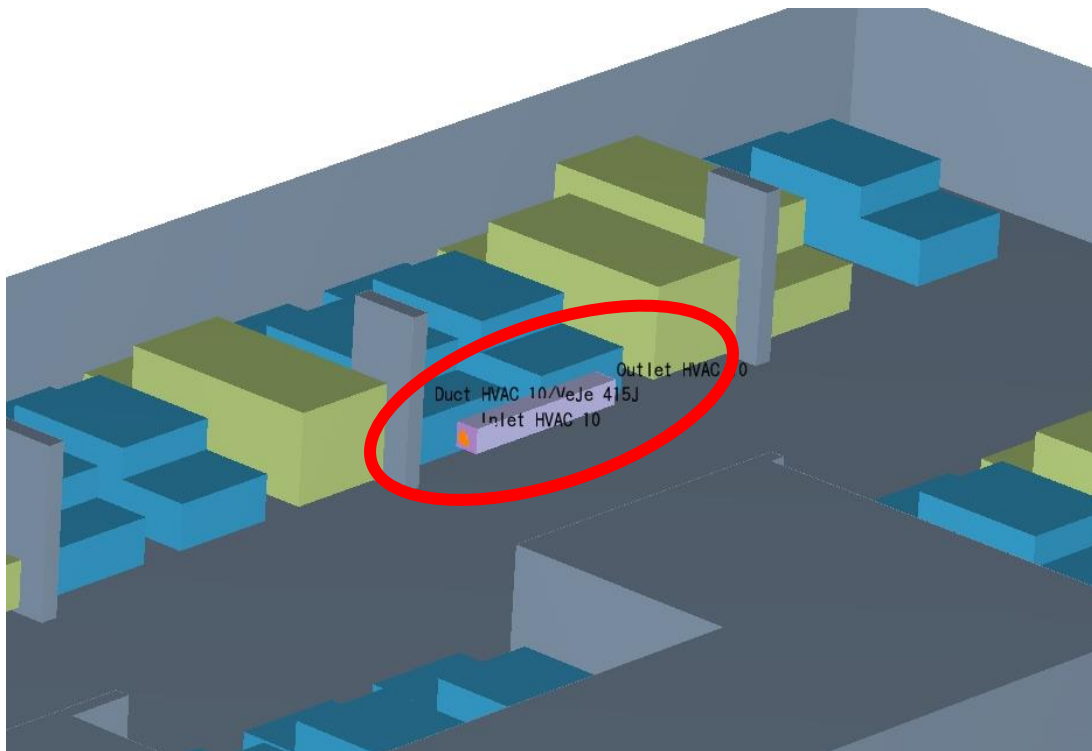
Fáze	MIN	SEC	Událost
Doba rozvoje požáru	0,0	0	Vznik požáru
	1,5	90	Detekce požáru čidly EPS, oznámení na HZS, aktivace odtahových ventilátorů, otevření požárních klapek na výfuku pož. šachet, aut. otevření vjezdové mříže u rampy
	3,5	210	Aktivace posuvných ventilátorů (2 minuty zpoždění po aktivaci odtahových)
	4,0	240	Maximální výkon požáru
Plně rozvinutý požár	5,2	310	Příjezd jednotek HZS (220 s)
	7,7	460	Počátek hašení (150 s)
Doba potlačení požáru	9,3	560	Uhašení požáru (100 s)
Doodvětrání	17,7	1060	Prostor garáží kompletně odvětrán (do 10 minut od uhašení)

Tabulka
12 –
Časová
osa

C.1.3 Modelování ventilátorů

C.1.3.1 Posuvné

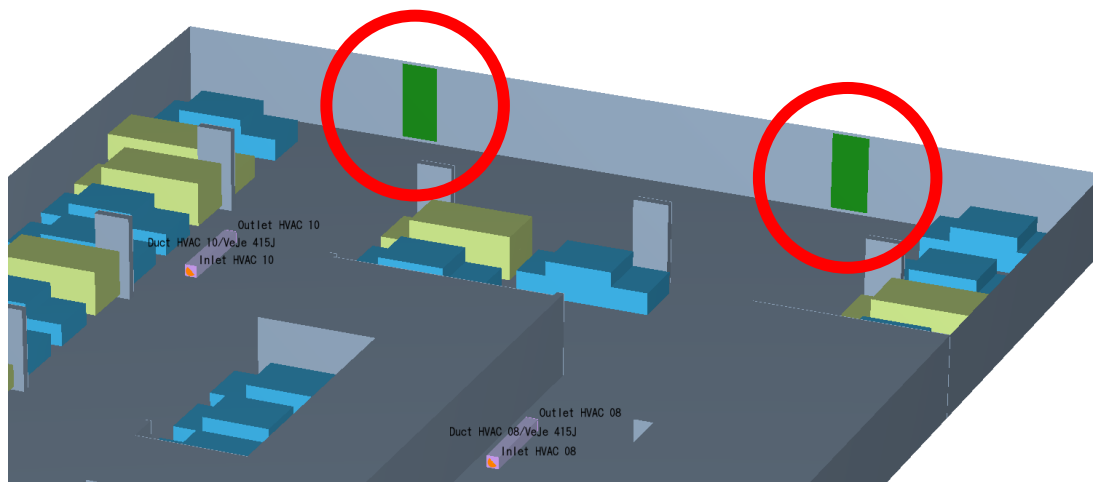
Pro vytvoření simulací byla zvolena technická varianta s axiálními impulzními posuvnými ventilátory Colt VeJe 415 T. Pro potřeby simulací byly modelovány na svůj druhý výkonnostní (maximální) stupeň s průtokem vzduchu 1,81 m³/s. Geometrie byla ve vlastnostech nastavena jako kruhové potrubí s průměrem 400 mm. Modelovaná délka je 2880 mm. Výška osy 2500 mm, Zapnuty jsou 210 sekund po spuštění simulace.



Obrázek 40 – Posuvný ventilátor v modelu

C.1.3.2 Odtahové

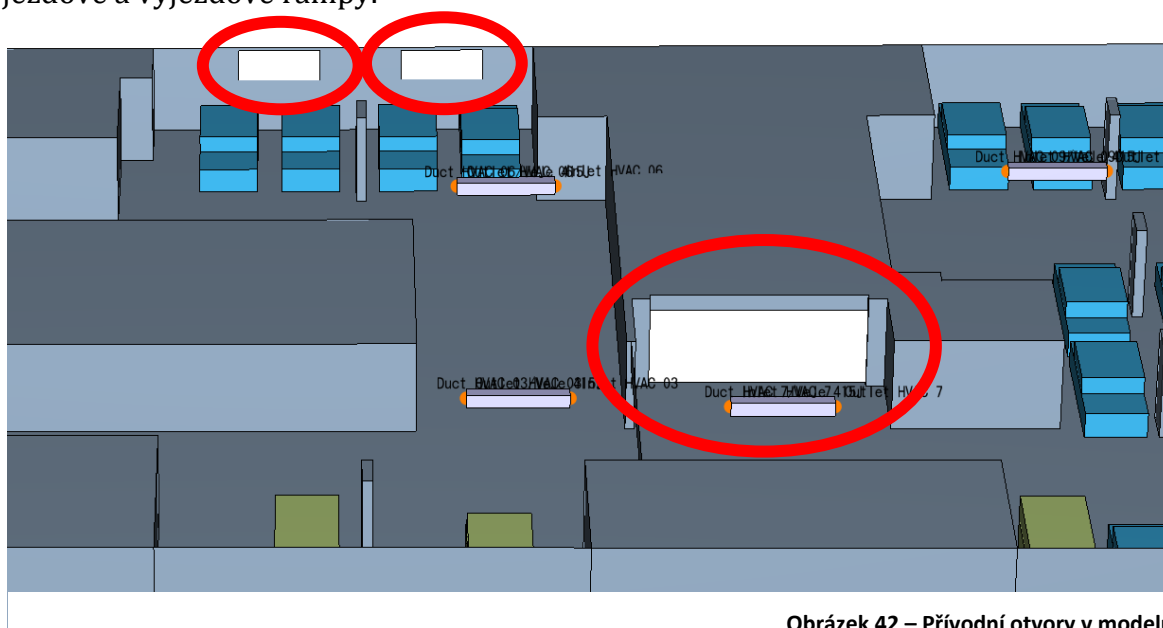
Odtahové ventilátory byly modelovány jako plochy v místě sání odtahových požárních šachet. V kouřové sekci 1 jsou reprezentovány dvěma odtahovými šachtami, každá s nasávacím otvorem o ploše 3,9 m². Nastavený objemový průtok byl pro různý pro každou kouřovou sekci, i modelovaný požární scénář – viz. popis jednotlivých modelovaných scénářů. V kouřové sekci 2 jsou také modelovány jako dvě odtahové šachty, každá s nasávacím otvorem o ploše 3,25 m². Zapnuty jsou 90 sekund po spuštění simulace. Na následujícím obrázku jsou znázorněny jako zelené plochy.



Obrázek 41 – Odtahové šachty v modelu

C.1.4 Modelování přírodních otvorů

Přírodní otvory pro vzduch jsou modelovány jako otvory ve stavební konstrukci. Díky otevřeným hranicím meshe z hlediska proudění vzduchu se do vnitřního prostoru garáže může těmito otvory přisávat tolik vzduchu, kolik je potřeba. Prvním a společným přívodem vzduchu pro obě kouřové sekce je vjezdová/výjezdová rampa o celkové ploše 14,26 m². Pro každou kouřovou sekci pak pro přívod vzduchu slouží také dvojice anglických dvorců – každý z nich o ploše 2,5 m². Tyto otvory jsou umístěny poblíž vjezdové a výjezdové rampy.

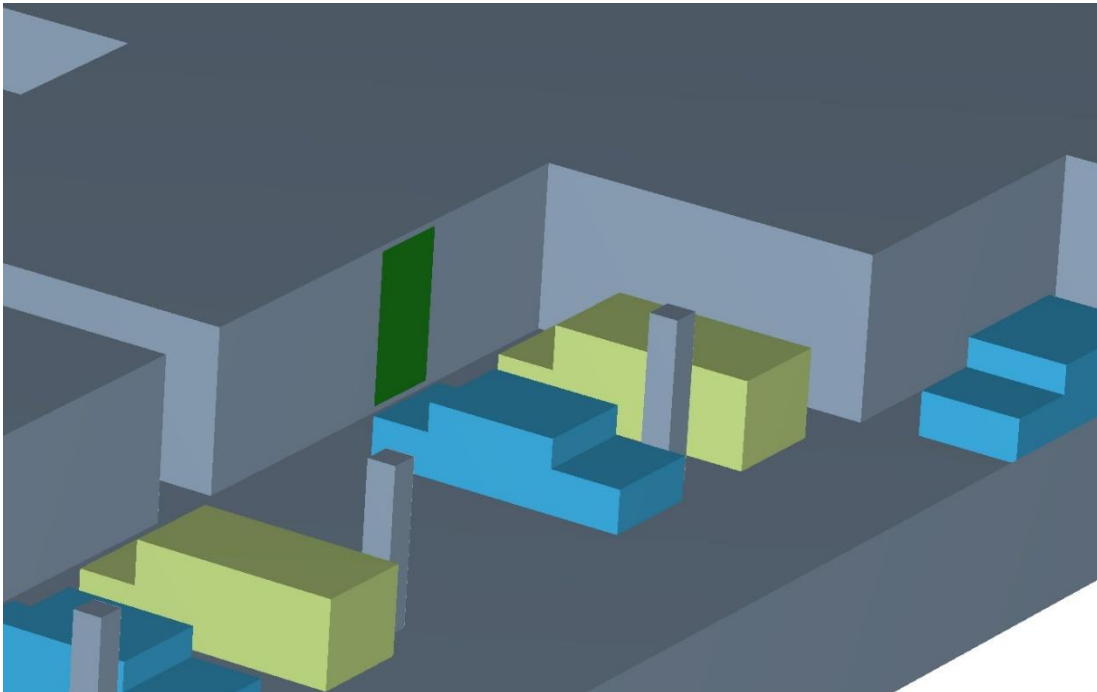


Obrázek 42 – Přírodní otvory v modelu

C.1.5 Model automobilů

Vytvoření modelů aut bylo nezbytné pro dosažení co nejděrnějšího modelu garáží, a tím i výsledků simulací. Automobily svým objemem vytváří překážky pro proudící vzduch. Proto byl model obsazen celkem 89 automobily dvou typů – sedan a combi.

- Rozměry: šířka 1,75 m, délka 4,5 m, výška 1,5 m
 - Celkový objem – sedan: 7,87 m³
 - Celkový objem – combi: 10,49 m³
- Výška umístění nad podlahou: 0,25 m
- Materiál: inertní plochy (výchozí materiál ve FDS)
 - Z materiálového hlediska byla auta modelována jako hladké plochy s definovanou počáteční teplotou 20 °C (TMPA) a emisivitou 0,9
 - Sálavý a konvektivní přenos tepla je počítán



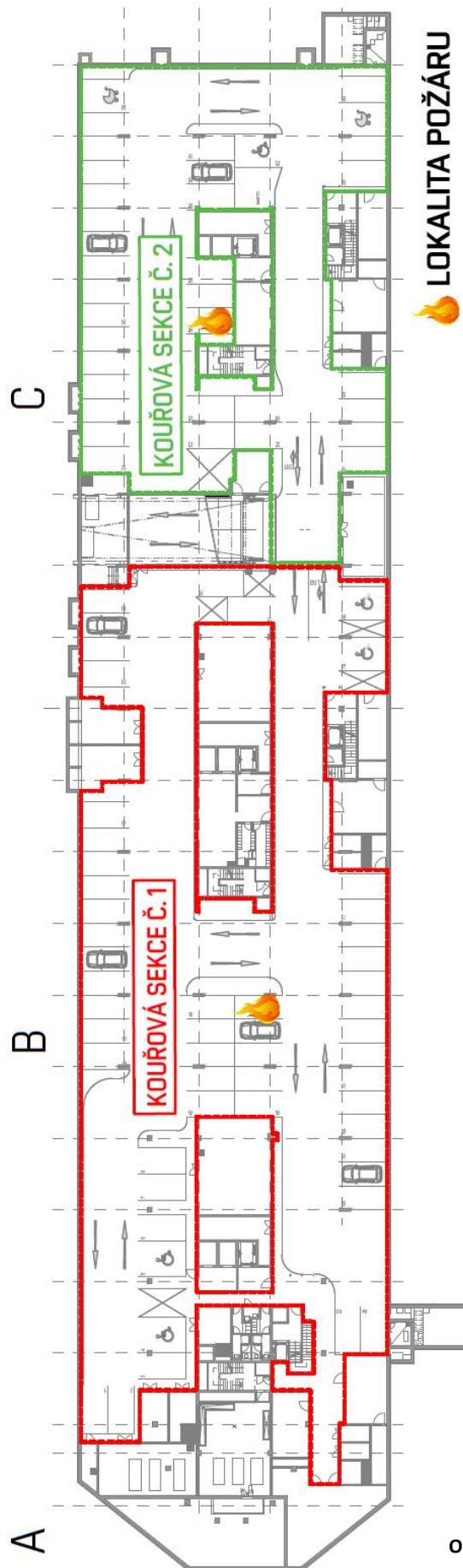
Obrázek 43 – Automobily v modelu

C.1.6 Simulované scénáře

Všechny simulace v zásadě probíhaly podle časového scénáře popsaného v kapitole C.1.2.6.1 Celkový přehled – časová osa. První scénář je modelem prvního technického řešení (přívod větracího vzduchu pouze rampou). Po provedení simulace a zjištění neúčinnosti tohoto návrhu došlo k jeho optimalizaci přidáním dalších přívodních otvorů (anglických dvorců) – scénář 2. Po vyhodnocení provedené simulace bylo toto technické řešení vybráno jako konečné návrhové.

V ostatních scénářích byly některé parametry pozměněny tak, aby byly prokázány faktory, které mají vliv na dobu úplného odvětrání garáží, změnu průběhu teplot, rychlost proudění vzduchu aj. Parametry, které byly v jednotlivých scénářích změněny, jsou podrobně popsány v následujících podkapitolách. Všechny navržené scénáře byly provedeny vždy zvlášť pro požár v kouřové sekci 1 a zvlášť v sekci 2.

Na následujícím obrázku je vyznačena lokalita požáru pro každou sekci.



Obrázek 44 – Lokalita požárů

Snahou bylo vybrat co nejméně příznivé místo z hlediska účinnosti odvětrání. V sekci 1 byl proto požár umístěn na parkovací stání v prostoru, který spojuje obě komunikační uličky a nejsou v něm umístěny žádné posuvné ventilátory. Pro simulování požáru ve druhé sekci bylo vybráno místo, které je ve střední části mezi oběma hlavními komunikačními prostory – tzn. přímo v jeho oblasti nejsou umístěny posuvné ventilátory. Navíc je toto parkovací stání zasunuto do středové části, a tím ohraničeno ze tří stran stavebními konstrukcemi – stěnami. Dá se tedy předpokládat, že jeho odvětrání bude v porovnání s ostatními parkovacími stáními vlivem významně nižšího proudění vzduchu časově nejnáročnější.

Pro všechny scénáře vyjma scénáře 5 byly modely garáže pro simulace plně obsazeny automobily. To znamená celkem 89 zaparkovaných vozidel. Důvodem je vytvoření co nejvíce překážek pro proudící vzduch v dané dispozici, což vytváří nejvíce nepříznivý možný scénář pro požární větrání.

C.1.6.1 Scénář 1

Tento scénář je modelem prvního technického řešení. V těchto simulacích je výměna vzduchu určena na 20 h^{-1} . Posuvné ventilátory jsou zapnuty 120 sekund po detekci požáru čidly EPS a vyhlášení poplachu. Cílem bylo ověření účinnosti návrhu – kompletní odvětrání prostor do 10 minut od uhašení požáru, a to jak při požáru v kouřové sekci 1, tak i v kouřové sekci 2. Po provedení simulací toho scénáře v obou sekcích došlo k optimalizaci přívodních otvorů pro vzduch z důvodu neúčinnosti tohoto technického řešení.

POŽÁR V KOUŘOVÉ SEKCI 1:

- Celkový objem odváděného vzduchu: $33,32 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Každá odtahových šachet: $16,66 \text{ m}^3/\text{s}$
- Celková geometrická plocha odvodních otvorů: $7,8 \text{ m}^2$
 - 2x odtahová šachta – každá $3,9 \text{ m}^2$
- Geometrická plocha přívodních otvorů:
 - Příjezdová rampa: $14,26 \text{ m}^2$

POŽÁR V KOUŘOVÉ SEKCI 2:

- Celkový objem odváděného vzduchu: 19,36 m³/s
 - Každá z odtahových šachet: 9,68 m³/s
- Celková geometrická plocha odvodních otvorů: 6,5 m²
 - 2x odtahová šachta – každá 3,25 m²
- Geometrická plocha přívodních otvorů:
 - Příjezdová rampa: 14,26 m²

C.1.6.2 Scénář 2

Jedná se o simulace výsledného navrhovaného technického řešení. Při těchto simulacích je výměna vzduchu 20 h⁻¹. Posuvné ventilátory jsou zapnuty 120 sekund po detekci požáru čidly EPS a vyhlášení poplachu. Na základě provedené předchozí simulace, kdy obě kouřové sekce nebyly kompletně odvětrány v požadované době, byly přidány přívodní otvory pro vzduch. Těmi jsou dva anglické dvorce pro každou sekci, umístěny v horní půdorysné části, které by měly zlepšit proudění vzduchu na vyšší z obou komunikací v této části – podrobně zobrazeno ve výsledkové části. Cílem bylo ověření účinnosti této optimalizace, a opětovně taktéž splnění požadavku – tzn. kompletní odvětrání prostor do 10 minut od uhašení požáru.

POŽÁR V KOUŘOVÉ SEKCI 1:

- Celkový objem odváděného vzduchu: 33,32 m³/s
 - Každá z odtahových šachet: 16,66 m³/s
- Celková geometrická plocha odvodních otvorů: 7,8 m²
 - 2x odtahová šachta – každá 3,9 m²

- Celková geometrická plocha přívodních otvorů: 19,26 m²
 - Příjezdová rampa: 14,26 m²
 - 2x anglický dvorec – každý 2,5 m²

POŽÁR V KOUŘOVÉ SEKCI 2:

- Celkový objem odváděného vzduchu: 19,36 m³/s
 - Každá z odtahových šachet: 9,68 m³/s
- Celková geometrická plocha odvodních otvorů: 6,5 m²
 - 2x odtahová šachta – každá 3,25 m²
- Celková geometrická plocha přívodních otvorů: 19,26 m²
 - Příjezdová rampa: 14,26 m²
 - 2x anglický dvorec – každý 2,5 m²

C.1.6.3 Scénář 3

Parametry obou simulací jsou vyjma jednoho parametru stejné jako při předchozích simulacích scénáře 2. Tedy pro scénář 3 při požáru v kouřové sekci 1 platí stejné okrajové podmínky jako při simulaci scénáře 2 ve stejné kouř. sekci. Pro požár v kouřové sekci 2 pak platí stejné okrajové podmínky jako při simulaci scénáře 2 ve stejné kouř. sekci.

Jedinou změnou je v případě simulací scénáře 3 vypnutí posuvných ventilátorů. Důvodem pro toto rozhodnutí je ověření hlavní funkce posuvných ventilátorů při požáru, tedy snižování teploty působící na stavební konstrukce promícháním vzduchu po výšce průřezu daného prostoru. Ve výsledkové části jsou z tohoto důvodu porovnány teploty ve výšce těsně pod stropní konstrukcí v případě simulací scénářů 2 a 3.

C.1.6.4 Scénář 4

Parametry obou simulací jsou kromě množství odváděného objemu vzduchu stejné jako při simulacích scénáře 2. Tedy pro scénář 4 při požáru v kouřové sekci 1 platí

stejně okrajové podmínky jako při simulaci scénáře 3 ve stejné kouřové sekci (sekce 1). Pro scénář 4 při požáru v kouřové sekci 1 pak platí stejné okrajové podmínky jako při simulaci scénáře 2 ve stejné kouřové sekci.

Jedinou změnou je tedy navrhovaná násobná výměna vzduchu, což platí pro obě sekce. V případě těchto simulací je navržena deseti násobná výměna vzduchu.

POŽÁR V KOUŘOVÉ SEKCI 1:

- Celkový objem odváděného vzduchu: 16,66 m³/s
 - Každá z odtahových šachet: 8,328 m³/s

POŽÁR V KOUŘOVÉ SEKCI 2:

- Celkový objem odváděného vzduchu: 9,68 m³/s
 - Každá z odtahových šachet: 4,84 m³/s

Cílem je ověření a poukázání na smysluplnost návrhu požárního větrání na dvacetinásobnou výměnu vzduchu v daném prostoru. Podle české normy v případě těchto garáží vyšla bezmála osminásobná výměna vzduchu, a podle britské normy je minimální hodnota pro výměnu vzduchu při požárním větrání desetinásobek. Z těchto důvodů by se mohlo zdát, že navrhovat na dvacetinásobnou výměnu je předimenzované.

C.1.6.5 Scénář 5

Cílem tohoto scénáře je porovnat vliv obsazenosti garáží na funkčnost požárního větrání, a případně poukázat na výrazné rozdíly. Proto jsou obě kouřové sekce při těchto simulacích zcela prázdné, bez zaparkovaných automobilů. Ve výsledkové části budou tyto simulace porovnány se simulacemi scénáře 2, pro obě kouřové sekce, které mají totožné okrajové podmínky a jsou plně obsazeny automobily – tzn. 89 zaparkovaných automobilů.

C.1.7 Přehled provedených simulací

Zde je pro přehlednost uvedena tabulka, která popisuje nastavené parametry jednotlivých simulací.

Přehled provedených simulací									
Název	Lokalita požáru	Výměna vzduchu [h^{-1}]	Množství odváděného vzduchu [m^3/s]	Posuvné ventilátory	Obsazenost automobily	Přívod vzduchu	Celková plocha přívodních otvorů [m^2]		
Scénář 1 Návrh bez anglických dvorců	Sekce 1	20	33,32	Zapnuty	Plné	Pouze rampa	14,26		
	Sekce 2	20	19,36	Zapnuty	Plné	Pouze rampa	14,26		
Scénář 2 Navrhované řešení	Sekce 1	20	33,32	Zapnuty	Plné	Rampa + anglické dvorce	19,26		
	Sekce 2	20	19,36	Zapnuty	Plné	Rampa + anglické dvorce	19,26		
Scénář 3 Vliv vypnutých Jetů	Sekce 1	20	33,32	Vypnuty	Plné	Rampa + anglické dvorce	19,26		
	Sekce 2	20	19,36	Vypnuty	Plné	Rampa + anglické dvorce	19,26		
Scénář 4 Vliv použití 10 h^{-1} výměny	Sekce 1	10	16,66	Zapnuty	Plné	Rampa + anglické dvorce	19,26		
	Sekce 2	10	9,68	Zapnuty	Plné	Rampa + anglické dvorce	19,26		
Scénář 5 Vliv obsazenosti garáží	Sekce 1	20	33,32	Zapnuty	Prázdňé	Rampa + anglické dvorce	19,26		
	Sekce 2	20	19,36	Zapnuty	Prázdňé	Rampa + anglické dvorce	19,26		

**Tabulka 13 –
Přehled
provedených
simulací**

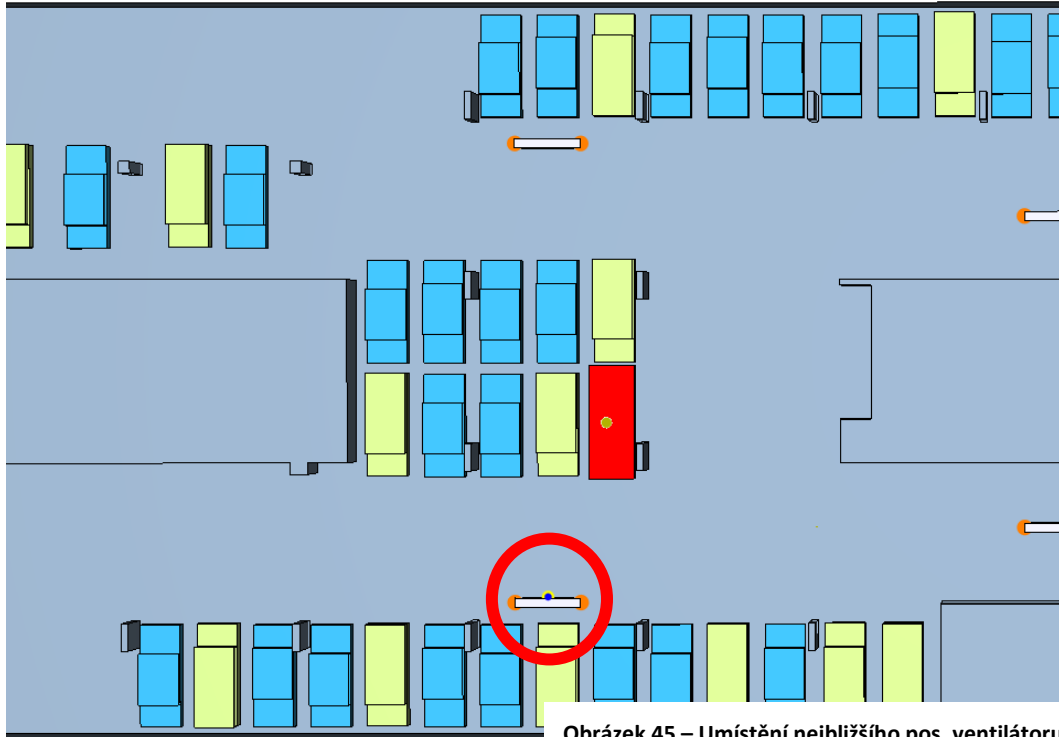
C.1.8 Sledované veličiny

Ve všech uvedených simulacích byly sledovány tyto parametry:

- **Výskyt kouře (zplodin hoření)**
- **Viditelnost v rovinách:**
 - **XZ, YZ středem požáru**
 - **XZ** ve vzdálenostech **-5, +5, +10 m** od středu požáru
 - **YZ** ve vzdálenostech **-30, -15, +15, +50 m** (rovina ve středu vjezdové rampy) od středu požáru
- **Viditelnost v rovině XY ve výšce 1,75 m (výška hlavy dosp. člověka)**
- **Rychlost vzduchu v rovině XY ve výšce 1,75 m**
- **Rychlost vzduchu v rovině XY ve výšce 2,5 m (výška osy JET ventilátorů)**
- **Teplota vzduchu v rovině XY ve výšce 1,75 m**
- **Teplota vzduchu v rovině XY ve výšce 2,75 m (výška pod stropem)**
- **Teplota nad středem požáru ve výšce 2,75 m**
- **Množství uvolněného tepla z požáru (HRR)**

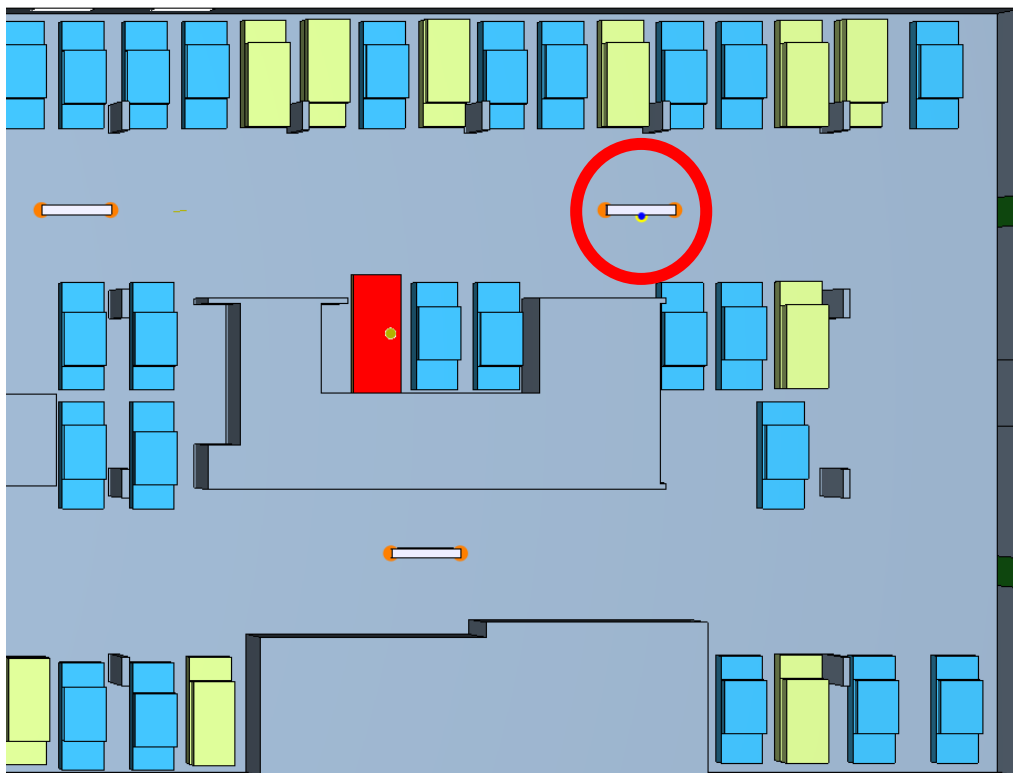
- **Teplota** na nejbližším JET ventilátoru (ve výšce 2,5 m, vedle těla ventilátoru – viz. obrázky)

- **Požár v sekci 1 – posuvný ventilátor č. 1 – vzdál. 8 m**



Obrázek 45 – Umístění nejbližšího pos. ventilátoru

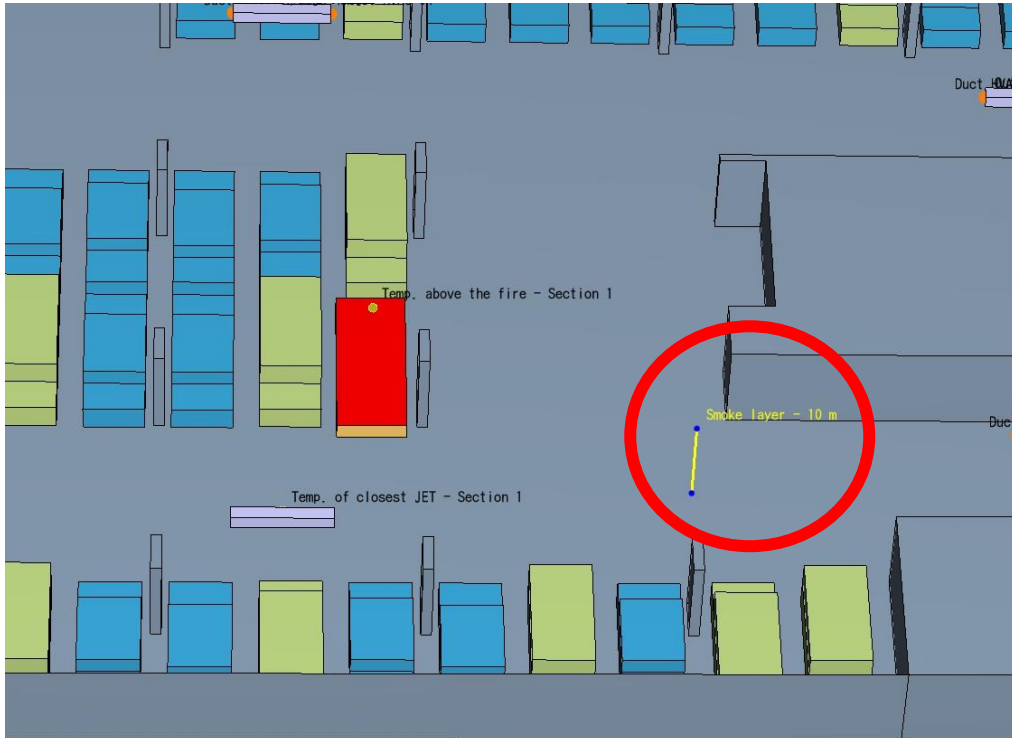
- **Požár v sekci 2 – posuvný ventilátor č. 10 – vzdál. 10 m**



Obrázek 46 – Umístění nejbližšího pos. ventilátoru

- Výška spodní hrany kouřové vrstvy ve vzdálenosti 10 m od ložiska požáru – pozice viz. obrázky

- Požár v sekci 1



Obrázek 47 – Umístění prvku pro sledování výšky kouř. vrstvy

- Požár v sekci 2



Obrázek 48 – Umístění prvku pro sledování výšky kouř. vrstvy

C.2 Výsledky

Pro navrhované řešení (Scénář 2) jsou uvedeny všechny sledované veličiny. Ostatní scénáře jsou s navrhovaným řešením (Scénář 2) porovnávány v takových veličinách, ze kterých jsou zřejmé největší rozdíly daných řešení. Pro poukázání daných rozdílů jsou při porovnávání výstupů dílčích scénářů použity škály se stejným rozsahem.

Každý výstup má vlastní škálu dle percentilu. Tedy škálu podle nejčastěji vyskytovaných hodnot tak, aby bylo možné pozorovat co nejvíce změn. Každá škála je však doplněna i o maximální získanou hodnotu.

Úspěšnost daných návrhů je hodnocena dle splnění časového požadavku na odvětrání prostoru po uhašení požárů.

Rychlost vzduchu je vyšetřována ve výšce 1,75 m (výška hlavy dospělého člověka) a ve výšce 2,5 m (výška osy JET ventilátorů). Výsledky jsou zobrazeny v takových časových krocích, aby nejlépe postihly vývoj rychlosti proudění.

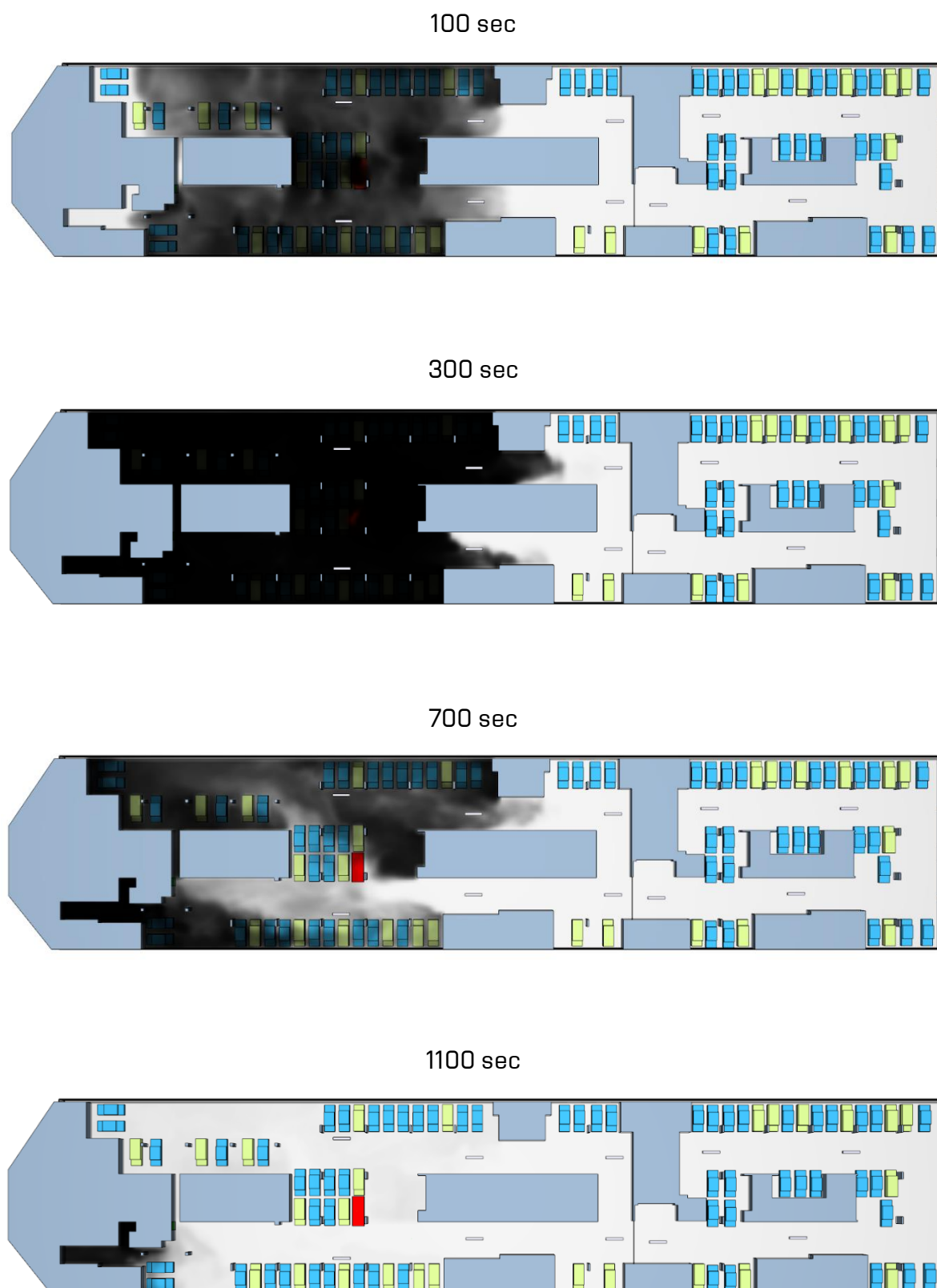
- 80 sec -> stav před zapnutím odtahových ventilátorů
- 100 sec -> stav po spuštění odtahových ventilátorů
- 300 sec -> stav po spuštění posuvných ventilátorů
- 600 sec -> stav po uhašení požáru

Teplota vzduchu je vyšetřována ve výšce 1,75 m (výška hlavy dospělého člověka) a 2,75 m (pod stropní konstrukcí). Výsledky jsou zobrazeny v následujících časových krocích.

- 150 sec -> stav před zapnutím posuvných ventilátorů
- 300 sec -> stav po zapnutí posuvných ventilátorů
- 510 sec -> stav po uplynutí 1/2 celkové doby hašení požáru
- 600 sec -> stav po uhašení požáru

C.2.1 Navrhované řešení (scénář 2) – Sekce 1 – Grafická část

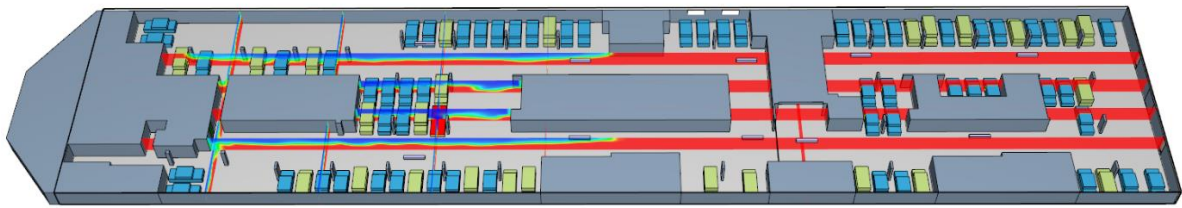
C.2.1.1 Výskyt kouře (zplodin hoření)



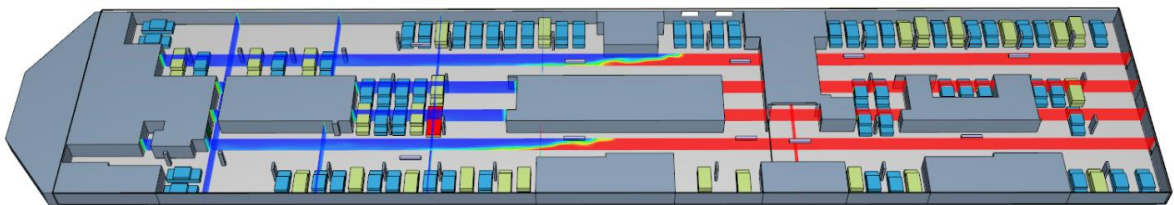
Obrázek 49

C.2.1.2 Viditelnost [m] v různých rovinách

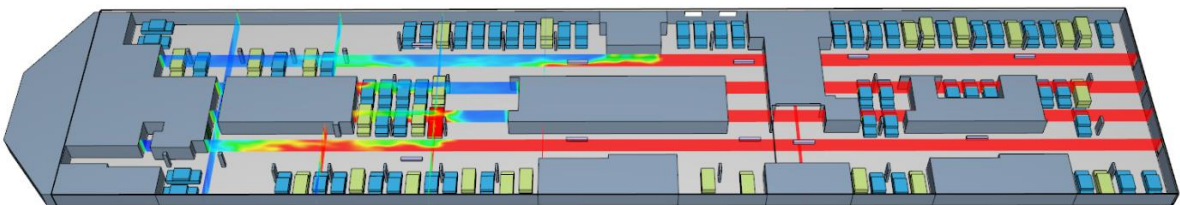
100 sec



300 sec



700 sec



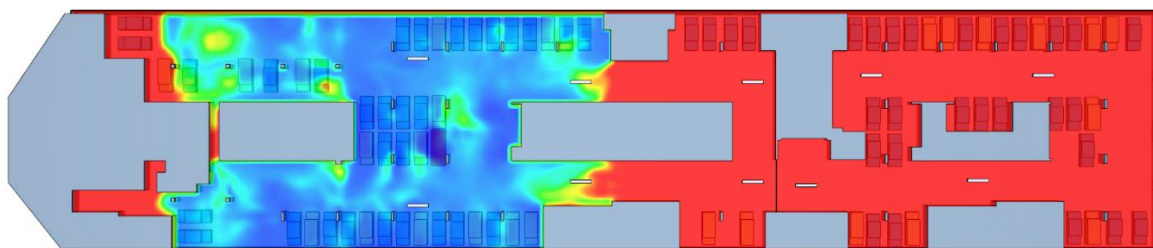
1100 sec



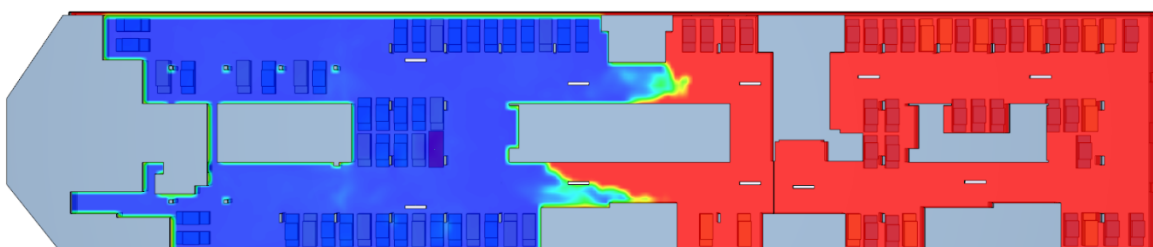
Obrázek 50

C.2.1.3 Viditelnost [m] v rovině XY ve výšce 1,75 m

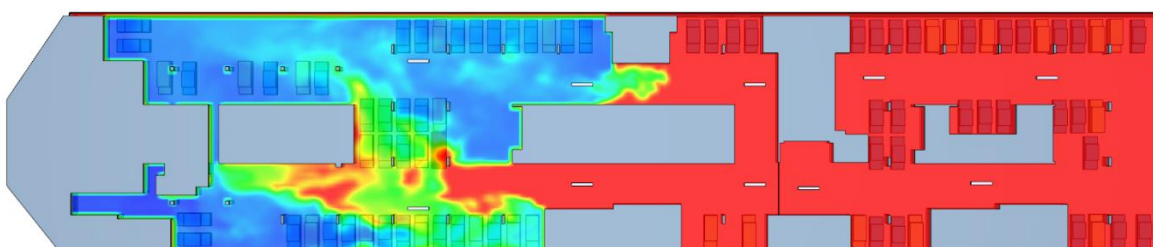
100 sec



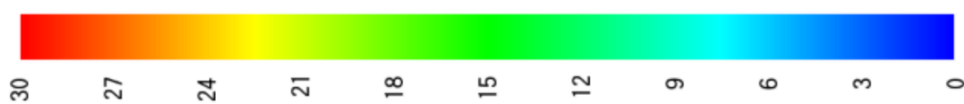
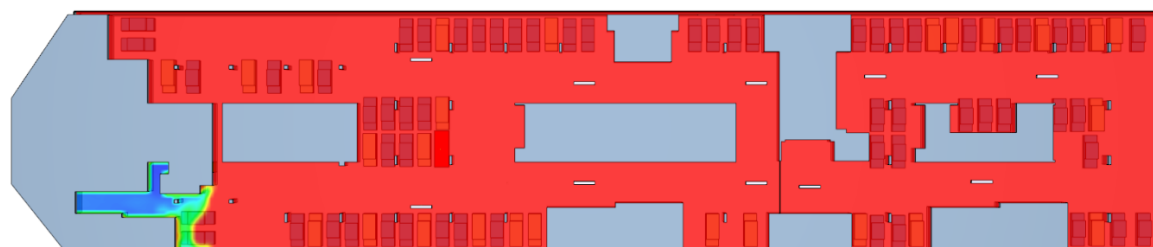
300 sec



700 sec



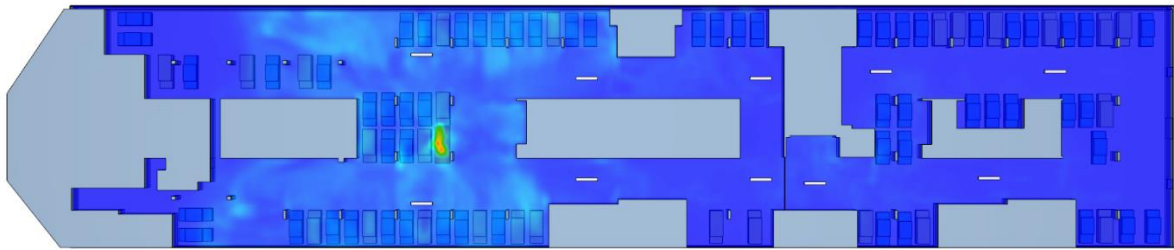
1100 sec



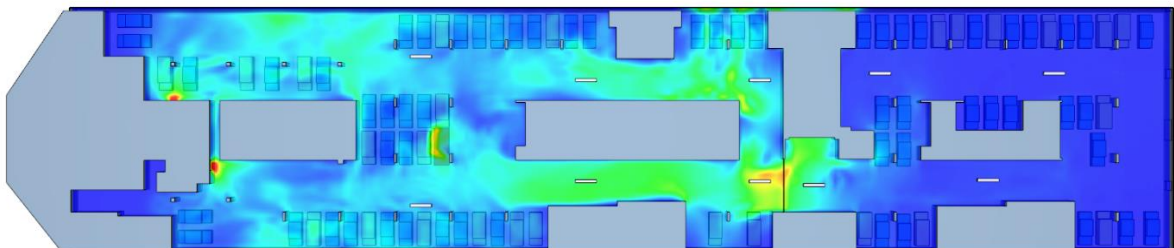
Obrázek 51

C.2.1.4 Rychlost vzduchu [m/s] v rovině XY ve výšce 1,75 m

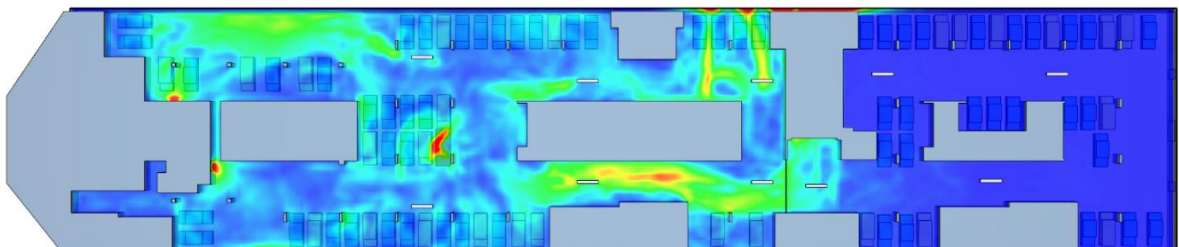
80 sec



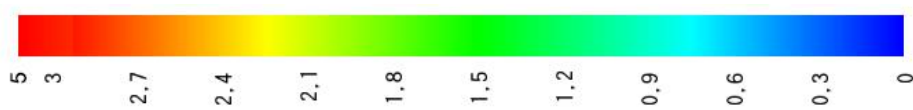
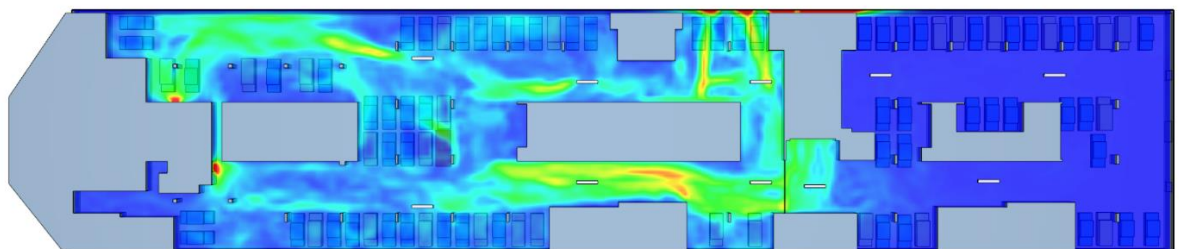
100 sec



300 sec



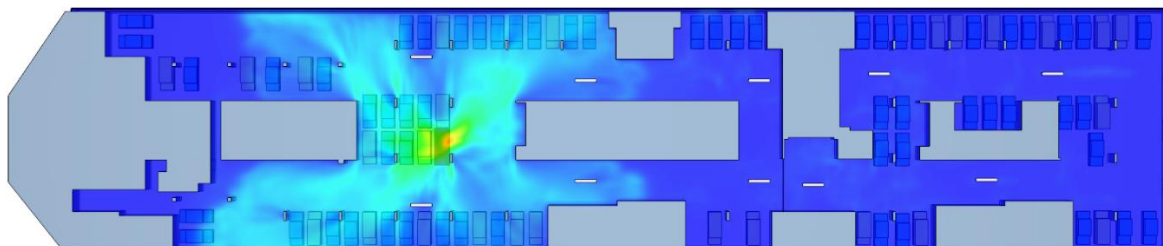
600 sec



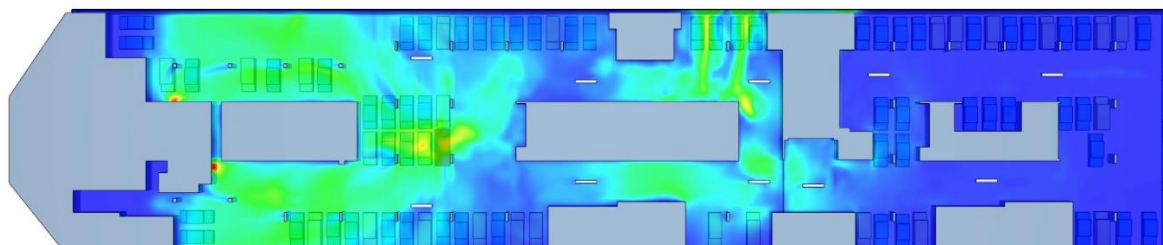
Obrázek 52

C.2.1.5 Rychlost vzduchu [m/s] v rovině XY ve výšce 2,5 m

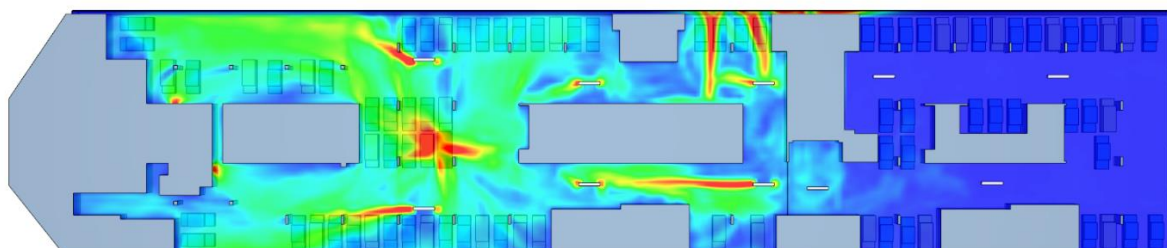
80 sec



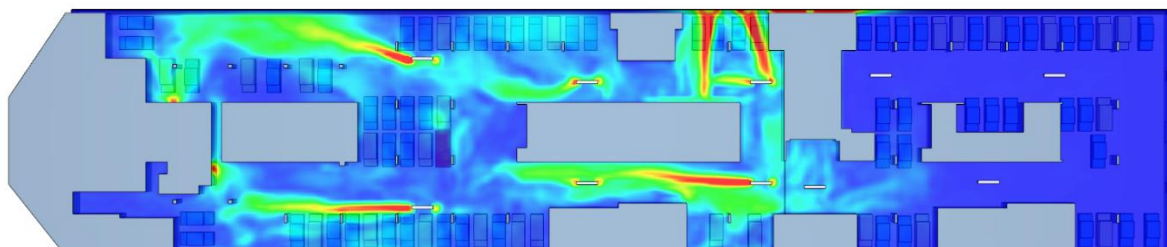
100 sec



300 sec



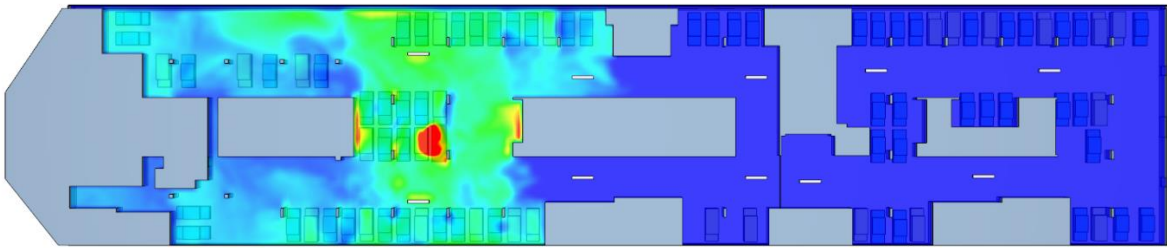
600 sec



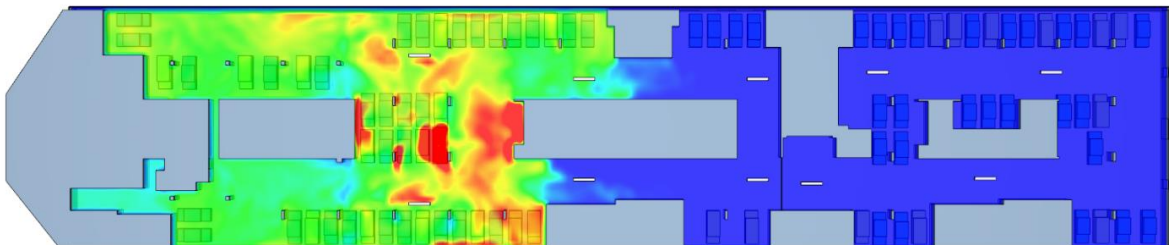
Obrázek 53

C.2.1.6 Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 1,75 m

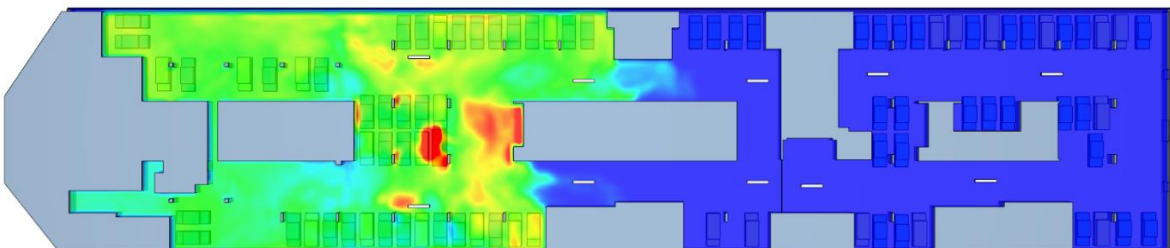
150 sec



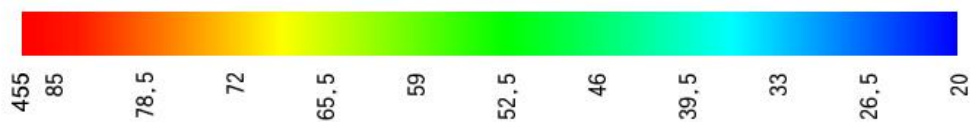
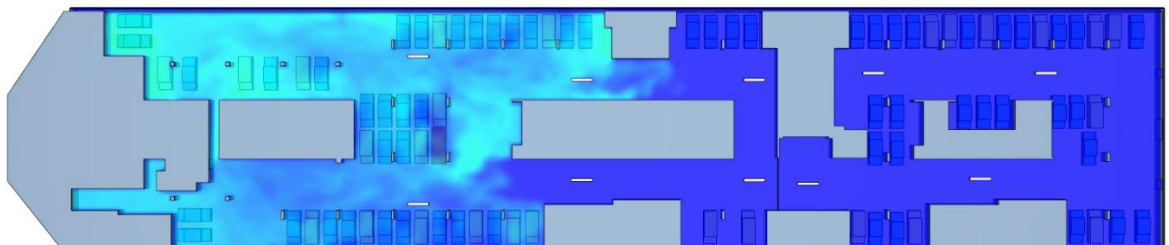
300 sec



510 sec



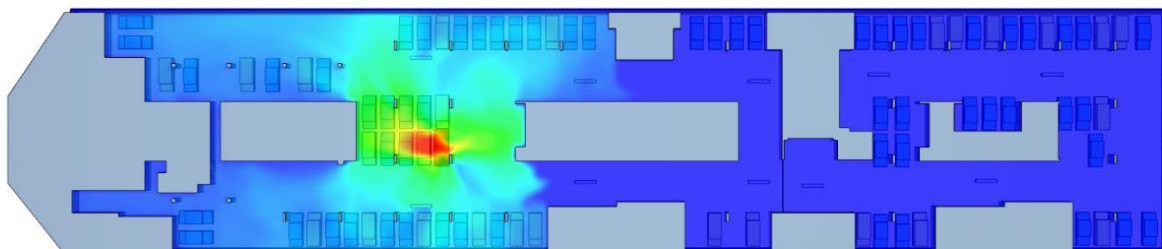
600 sec



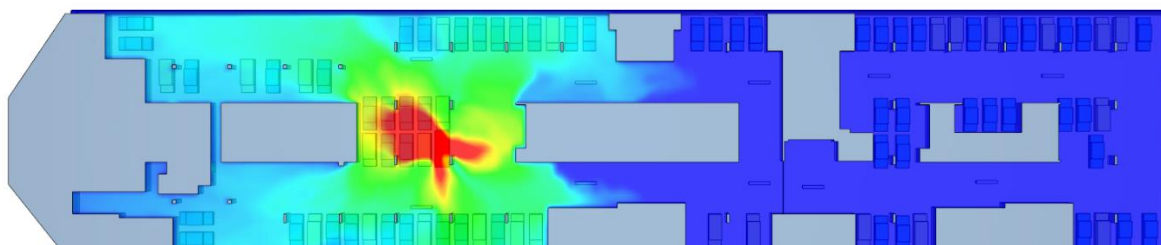
Obrázek 54

C.2.1.7 Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 2,75 m

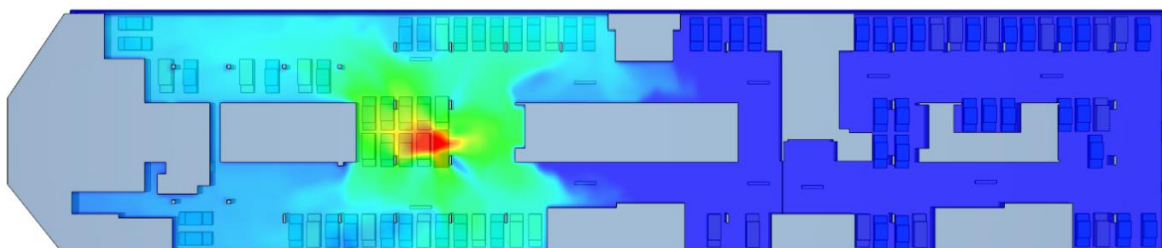
150 sec



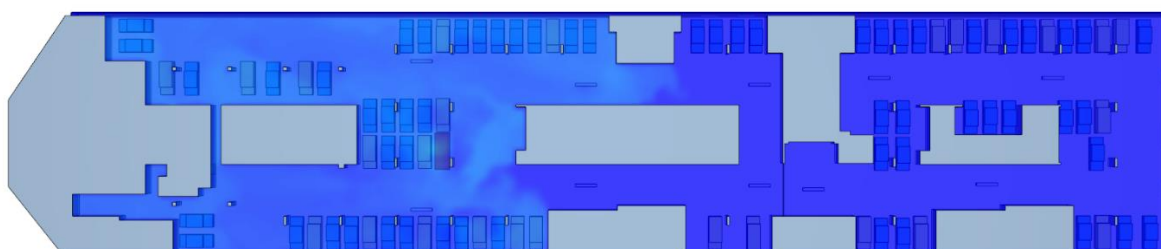
300 sec



510 sec



600 sec



Obrázek 55

C.2.2 Navrhované řešení (scénář 2) – Sekce 1 – Textová část

Viditelnost

Dle výstupů je patrné, že ke kompletnímu odvětrání kouřové sekce 1 dojde v 1100 s. Což je časový krok vzdálený 540 s (9 minut) od kroku kdy dojde k uhašení požáru. Dle požadavků britské normy BS 7346-7:2013 je požadavek na úplné odvětrání prostoru do 10 minut od uhašení požáru splněn. Požární odvětrání se dá považovat za účinné, a správně navržené. Simulace rovněž ověřila předpokládaný směr pohybu vzduchu (kouře) k odtahovým šachtám na západní straně budovy.

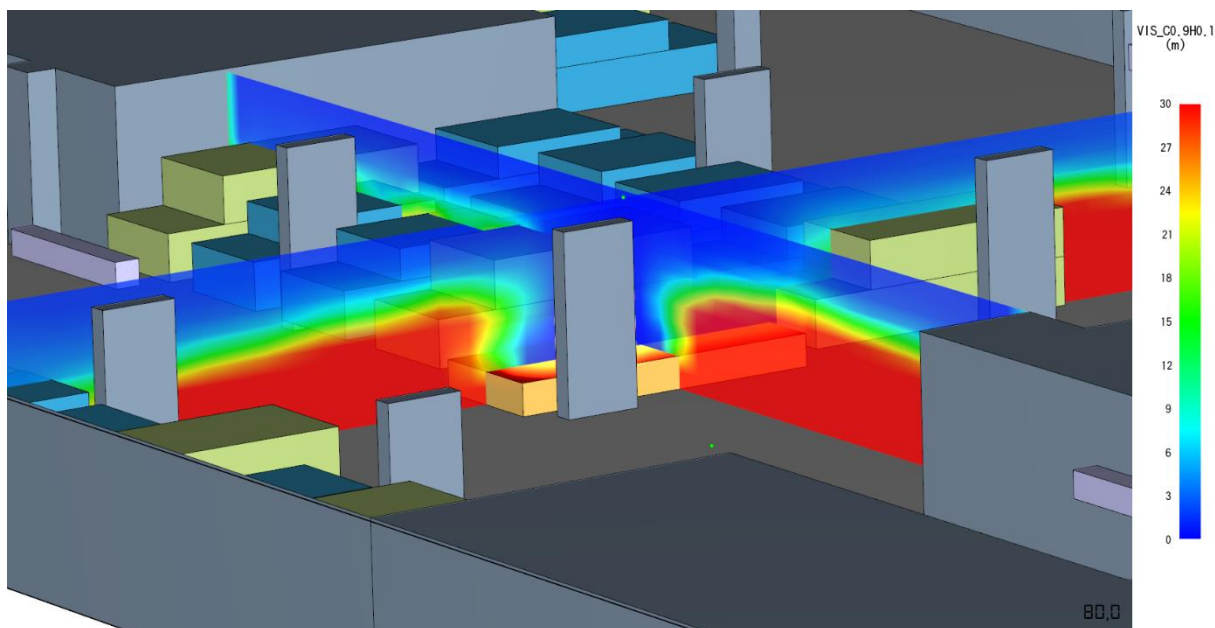
Kouř se pouze nepodařilo odvětrat ze spodní slepé uličky situované v levé části půdorysu. Je to z důvodu umístění nasávacího otvoru šachty pro požární větrání, který je umístěný před touto částí dispozice.

Teplota vzduchu

Porovnáním výstupů v čas. kroku 300 a 510 s je jasně patrný pokles teploty vlivem probíhajícího hašení. Při porovnání výstupů v čase 510 s (probíhající hašení) a 600 s (již uhašený požár) je zřejmé, jak razantně došlo k poklesu teploty po uhašení požáru. Toto platí pro obě vyšetřované roviny (1,75 a 2,75 m).

V rovině umístěné 1,75 m nad podlahou byla maximální lokální teplota 455 °C. Dle percentilové škály byla však maximální hodnota 85 °C. V rovině umístěné ve výšce 2,75 m (rovina pod stropní konstrukcí) byla maximální lokální teplota 350 °C. Dle percentilové škály byla však maximální hodnota 220 °C.

Celkovým porovnáním grafických výstupů v obou rovinách (výška 1,75 a 2,75 m) lze tvrdit, že vyšší lokální teplotní extrémy se vyskytují v rovině 1,75 m – z důvodu menší vzdálenosti k ohnisku požáru. Percentilové hodnoty teplot jsou však v této rovině nižší – důvodem je výskyt kouře s vyšší teplotou hlavně pod stropem (rovina 2,75 m).



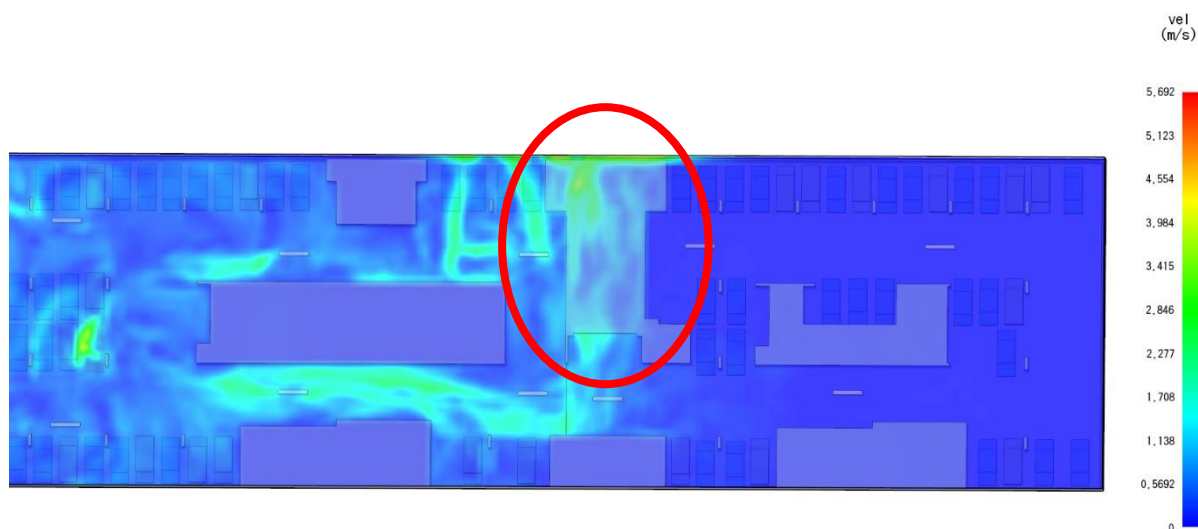
Obrázek 56 – Výskyt kouře v prostoru

Tento jev tedy poukazuje na to, proč je návrh posuvných ventilátorů velmi důležitý pro snížení tepelného namáhání stavebních konstrukcí při požáru (zejména stropu, pod kterým je vytvořena kouřová vrstva).

Rychlost vzduchu

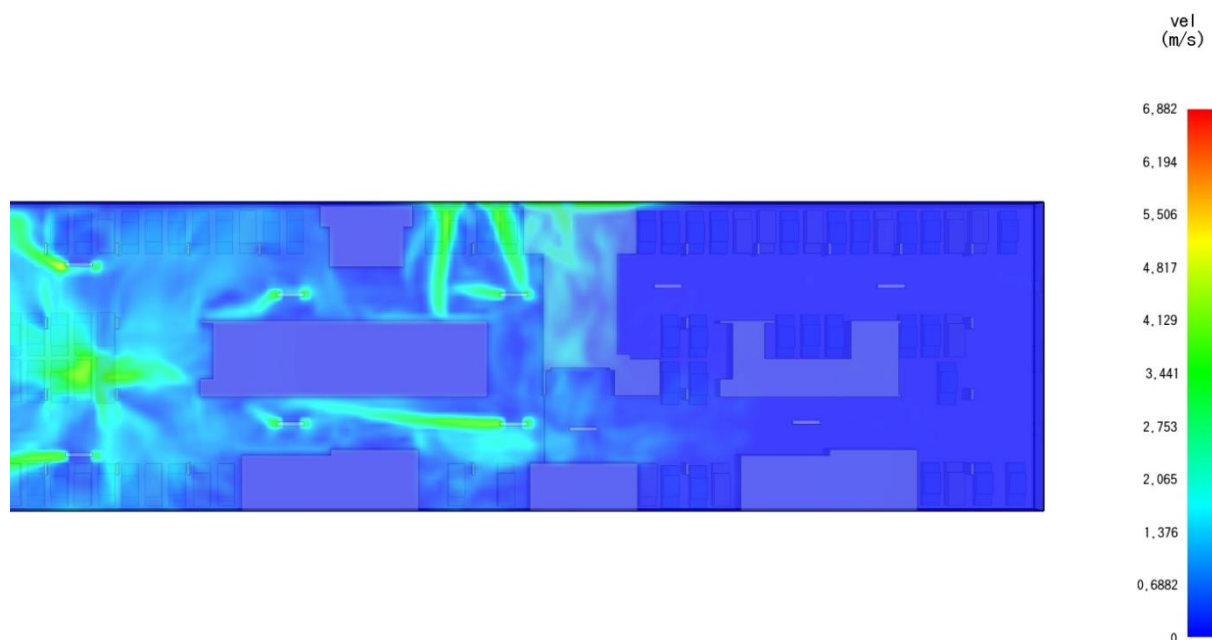
Porovnáním výstupů s rychlostmi vzduchu v krocích 80 a 100 s můžeme pozorovat jasný efekt zapnutí odtahových ventilátorů, a to v obou vyšetřovaných rovinách (výška 1,75 a 2,5 m). Účinek zapnutých posuvných ventilátorů lze pozorovat v rovině jejich osy (výška 2,5 m) v krocích 100 a 300 s. Jejich projev je zřetelný i v rovině s výškou 1,75 m. V krocích 300 (maximální výkon požáru) a 600 s (uhašený požár) lze pozorovat, jak významně ovlivňuje požár tlakové poměry a rychlost proudění vzduchu ve svém okolí. Hořením vzniká ve vzduchu v okolí požáru mnoho vírů. Dle grafických výstupů nepřesáhne ve vnitřním prostoru rychlost vzduchu hodnotu 5 m/s (ve výšce 1,75 m). Nedojde tak negativnímu ovlivnění doby evakuace osob.

Maximální dovolená rychlost vzduchu v místě vjezdové rampy, která zároveň slouží jako úniková cesta, je 5 m/s (dle prTS12101-11).



Obrázek 57 – Rychlost vzduchu ve výšce 1,75 m

V místě rampy v rovině s výškou 1,75 m a časovém kroku 250 s (spuštěny jsou odtahové i posuvné ventilátory) je nejvyšší rychlost vzduchu cca 2,9 m/s. K dosažení maximální hodnoty 5,69 m/s na škále dochází v místě rampy pouze v momentě spuštění odtahových ventilátorů.

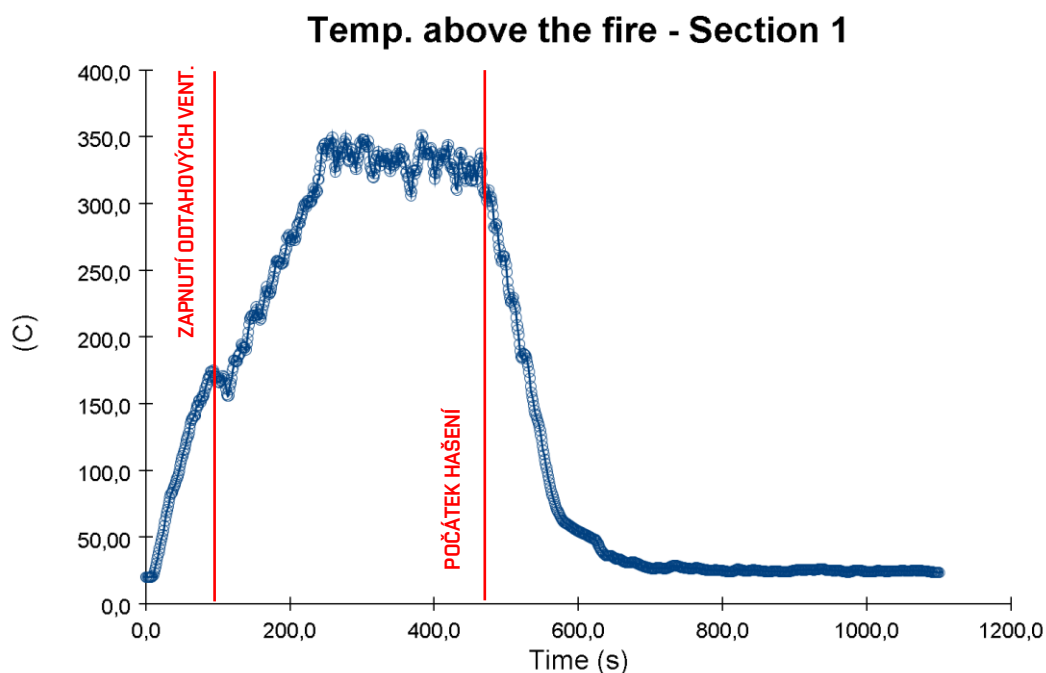


Obrázek 58 – Rychlost vzduchu ve výšce 2,5 m

V místě rampy ve výšce 2,5 m a časovém kroku 250 s je nejvyšší dosahovaná rychlost vzduchu cca 2,7 m/s. Maximum na škále 6,882 m/s je dosahováno v místě požáru.

Pro tato hodnocení byla použita měřítka s maximálními globálními hodnotami (pro najití rychlostních extrémů). Maximální rychlost nasávaného vzduchu přes rampu je v obou rovinách nižší než maximální dovolená 5 m/s. Návrh požárního větrání splňuje požadavky na maximální dovolené rychlosti vzduchu v únikových cestách.

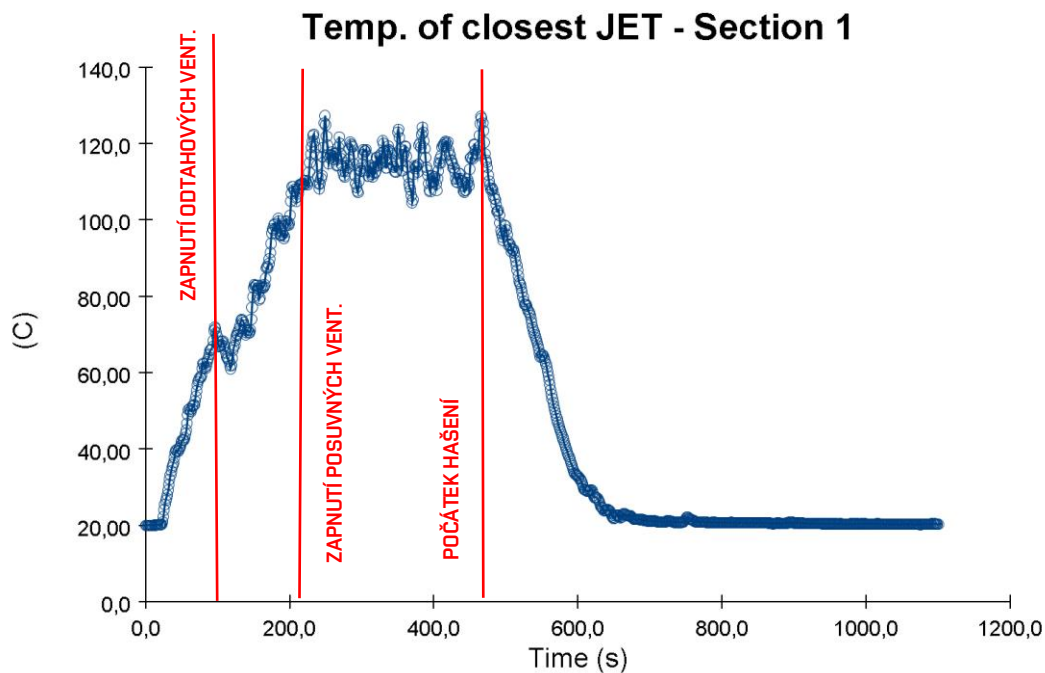
C.2.2.1 Vývoj teploty [°C] nad středem požáru, výška 2,75 m



Graf 1 – Vývoj teploty nad středem požáru, výška 2,75 m

Na uvedeném grafu můžeme pozorovat průběh teploty přímo nad středem požáru, ve výšce 2,75 m (pod stropem). Teplota pod stropní konstrukcí v průběhu požáru dosáhne teploty nejvýše 350 °C. Z grafu je také patrný vliv odtahových ventilátorů, které se v čase 90 s zapnou, a tím na krátký časový úsek sníží teplotu ve sledovaném bodě (prostoru garáží). To je způsobeno náhlým přísunem velkého množství větracího vzduchu o teplotě 20 °C. Požár je však v rozvojové fázi a jeho výkon teprve roste. Snížení teploty proto trvá jen velmi krátký časový úsek (řádově sekundy) a teplota se opět začne zvyšovat. Vliv zapnutí posuvných ventilátorů (čas 210 s) na teplotu přímo nad požárem nelze pozorovat.

C.2.2.2 Vývoj teploty [°C] na nejbližším posuv. ventilátoru, výška 2,5 m

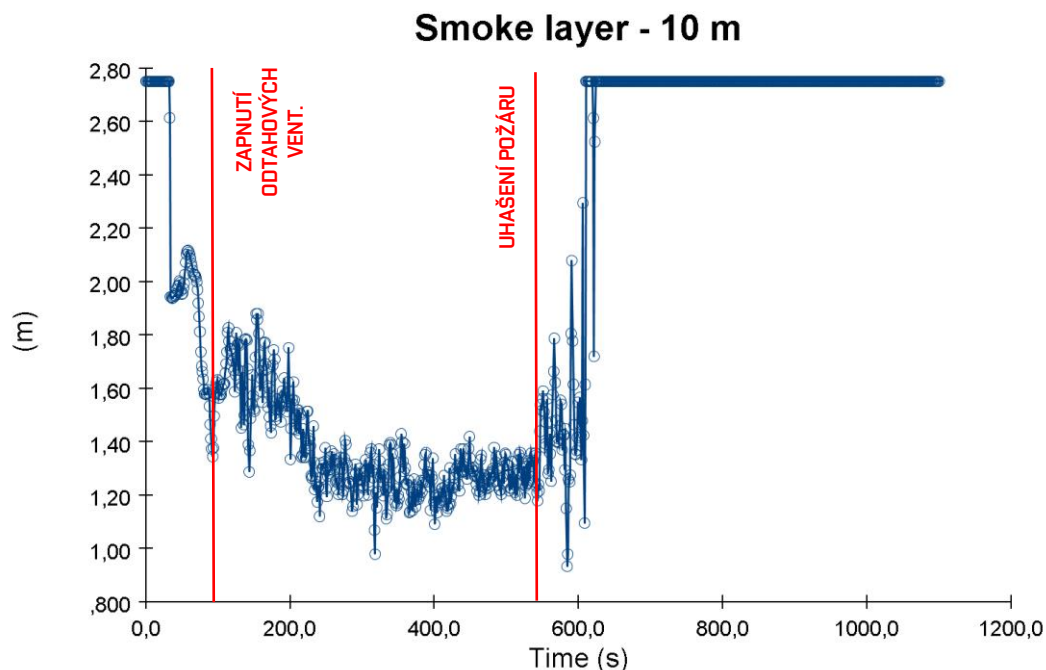


Graf 2 – Vývoj teploty na nejbližším posuv. ventilátoru, výška 2,5 m

Z uvedeného grafu lze pozorovat průběh teploty v místě posuvného ventilátoru, který je svou pozicí nejbliž k požáru (vzdálenost 8 m). Nejvyšší teplota na posuvném ventilátoru v průběhu požáru je 128 °C. Posuvný ventilátor Colt VeJe 415 T s certifikací na požární odolnost F300/120 (teplota [°C]/doba [s]) vyhovuje podmínkám simulovaného požáru.

Lze konstatovat, že snížení teploty vlivem zapnutí posuvných ventilátorů v místě nejbližše umístěného ventilátoru nelze pozorovat. To je způsobeno blízkostí mezi posuzovaným ventilátorem a požárem.

C.2.2.3 Výška spodní hr. kouřové vrstvy ve vzdál. 10 m od ložiska požáru

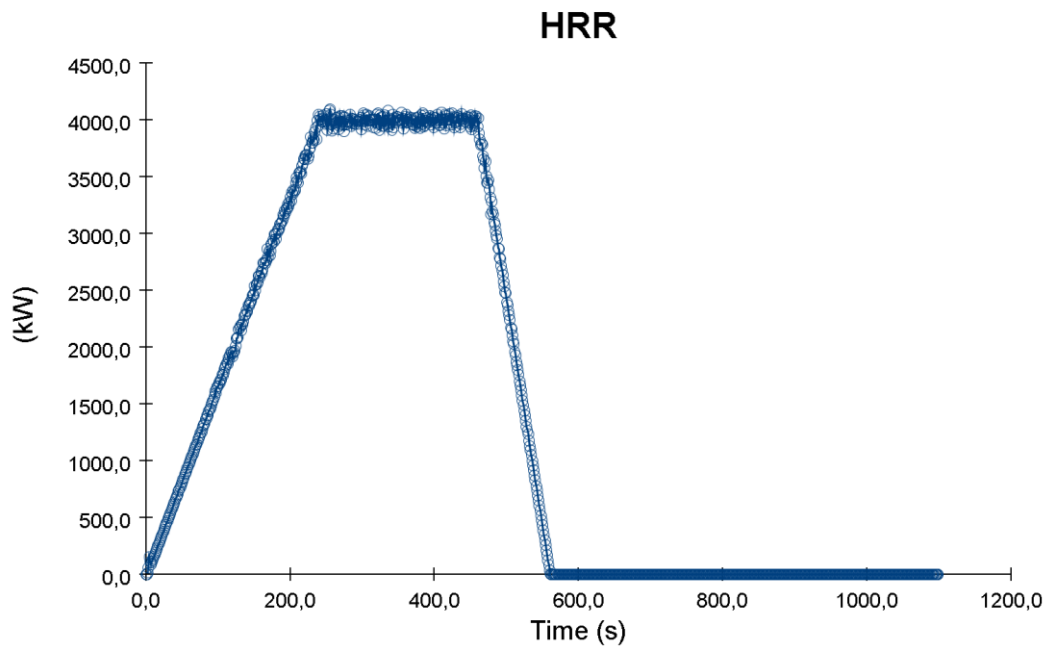


Graf 3 – Vývoj výšky spodní hrany kouřové vrstvy

V tomto grafu je znázorněn vývoj výšky spodní hrany kouřové vrstvy. Místo, po jehož výšce je tento vývoj sledován je vzdálené 10 m od ohniska požáru. Z grafu je patrný efekt zapnutí odtahových ventilátorů (90 s), kdy se spodní hranice kouřové vrstvy z výšky 1,3 m začne zvyšovat až na hodnotu 1,6 m. Tento jev je ale krátkodobý. Vlivem rozvojové fáze (výkon neustále roste) požáru se tato hodnota časem opět sníží.

Zřejmý je také moment, kdy dojde k úplnému uhašení požáru (560 s), produkce kouře se zastaví a začne se projevovat efekt požárního větrání. Dle průběhu v grafu výška spodní hranice po uhašení ještě krátkodobě klesne na hodnotu 0,6 m, to je ale způsobeno lokálními turbulentními prouděními. Její rostoucí trend po uhašení je z grafu patrný.

C.2.2.4 Tepelný výkon požáru v závislosti na době (HRR)



Graf 4 – HRR

Průběh výkonu požáru je znázorněn požární křivkou. V čase 0 až 210 s probíhá rozvoj požáru na maximální výkon. V intervalu 240 s a 460 s dosahuje požár maximálního výkonu. Mezi 460 s a 560 s probíhá hašení požáru.

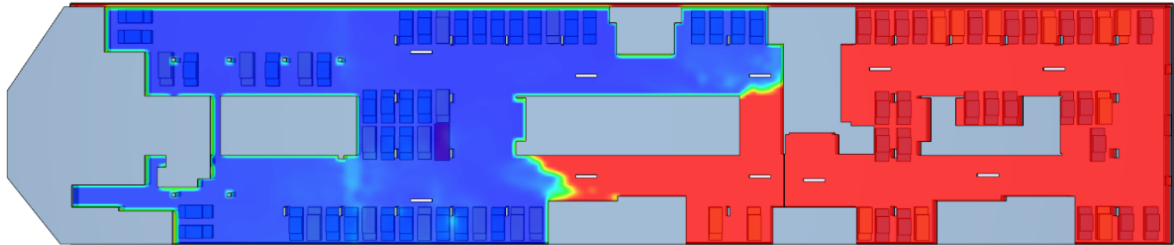
C.2.3 Porovnání scénářů – Sekce 1

Cílem této kapitoly je poukázání na důležitost a významnost použitých parametrů u výsledného návrhu požárního větrání podzemních garáží. Toho je dosaženo porovnáváním jednotlivých scénářů mezi sebou. V grafických výstupech jsou použity percentilové škály s maximem, které je stanoveno podle vyšší hodnoty z dané dvojice porovnávaných simulací.

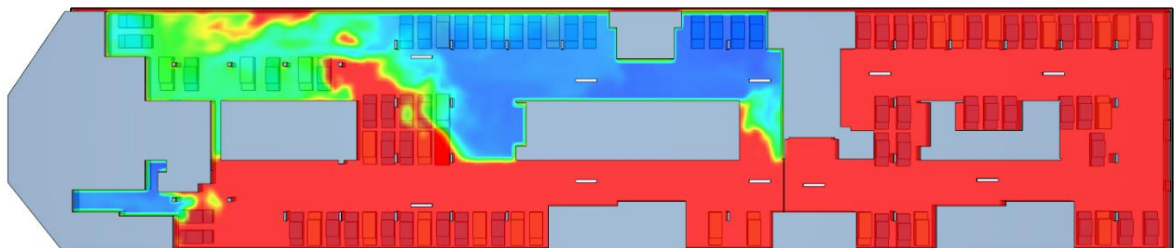
C.2.3.1 Vliv anglických dvorců

C.2.3.1.1 Viditelnost [m] v rovině XY ve výšce 1,75 m

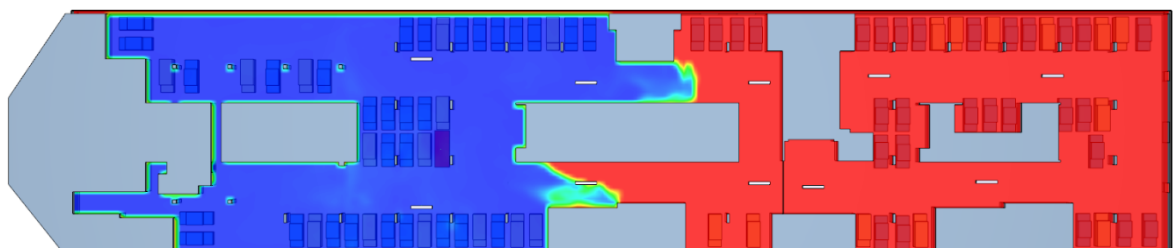
500 sec – Varianta bez anglických dvorců



980 sec – Varianta bez anglických dvorců



500 sec – Navrhované řešení (s angl. dvorci)



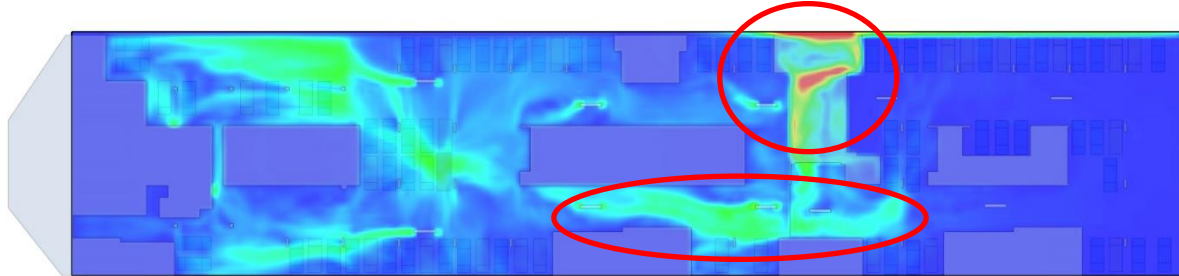
980 sec – Navrhované řešení (s angl. dvorci)



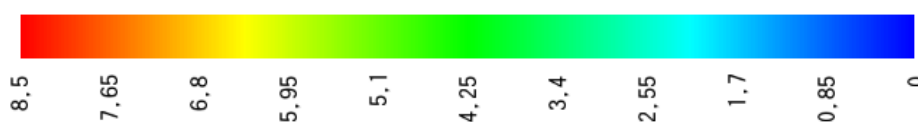
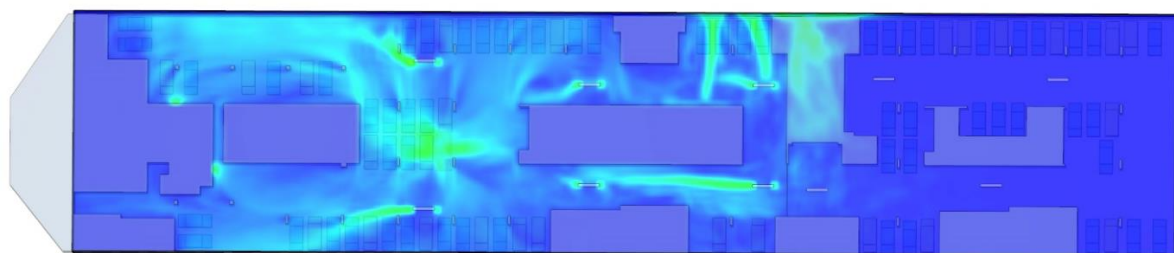
Porovnáním průběhů obou variant můžeme vidět, jak v případě použití anglických dvorců dojde ke kompletnímu odvětrání celého prostoru již v 980 s (vyjma slepé uličky v levé části dispozice). U návrhu, který počítá pouze s rampou jako jediným přívodním otvorem pro vzduch, není prostor odvětrán ani v kroku 1100 s.

C.2.3.1.2 Rychlost vzduchu [m/s] v rovině XY ve výšce 2,5 m

400 sec – Varianta bez anglických dvorců



400 sec – Navrhované řešení (s angl. dvorci)

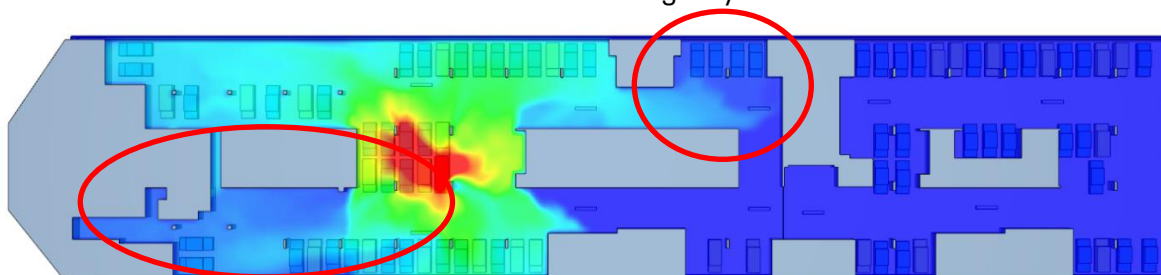


Obrázek 60

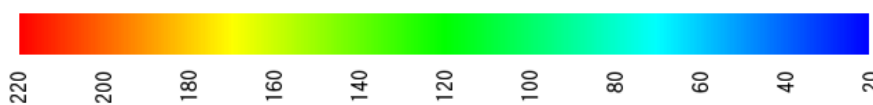
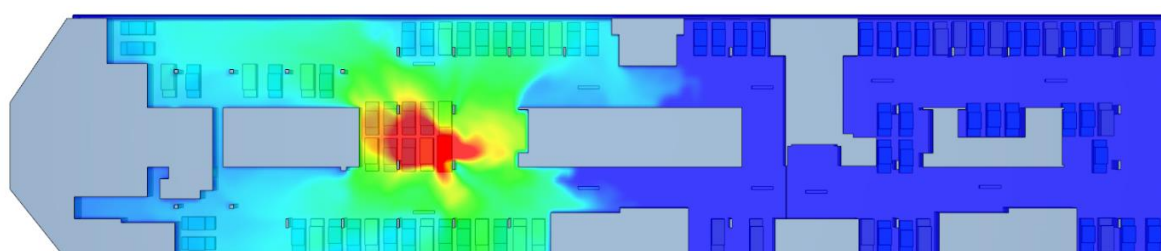
Při porovnání výstupů můžeme vidět, jak u varianty s anglickými dvorci došlo ke snížení rychlosti vzduchu proudícího přes rampu. Tím dojde ke splnění požadavku na maximální rychlost v únikové cestě 5 m/s. U varianty bez dvorců můžeme vidět, jak spodní uličkou proudí většina vzduchu. Při použití anglických dvorců jako další přívody vzduchu dojde k rovnoměrnějším rychlostem v prostoru této sekce. Podobný trend je i ve řezech 1,75 m.

C.2.3.1.3 Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 2,75 m

400 sec – Varianta bez anglických dvorců



400 sec – Navrhované řešení (s angl. dvorci)



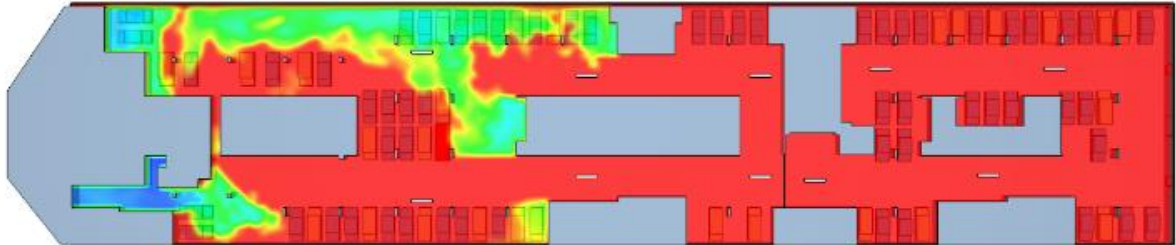
Obrázek 61

Při porovnání výstupů můžeme vidět, jak u varianty s anglickými dvorci došlo k rovnoměrnějšímu rozložení teplot, díky lepší distribuci vzduchu. U varianty bez dvorců je ve spodní uličce lokálně nižší teplota (většina vzduchu proudí spodní uličkou díky pozici rampy, která v tomto případě slouží jako jediný přívod vzduchu). Nicméně při použití angl. dvorců je celkové rozložení teplot v prostoru rovnoměrnější (snížení namáhání stavebních konstrukcí). Podobný trend je i ve řezech 1,75 a 2,5 m.

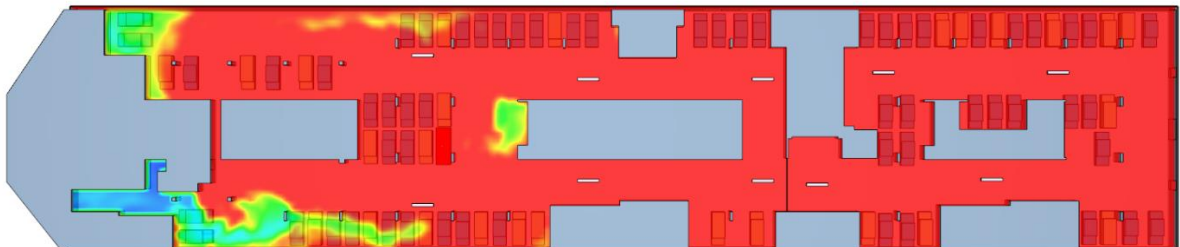
C.2.3.2 Vliv Jetů

C.2.3.2.1 Viditelnost [m] v rovině XY ve výšce 1,75 m

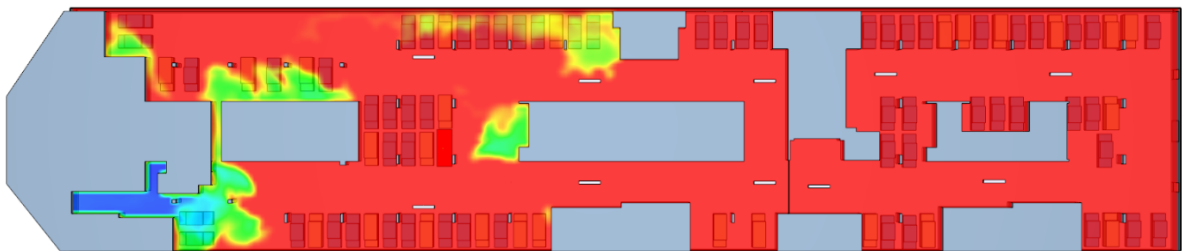
900 sec – Bez Jetů



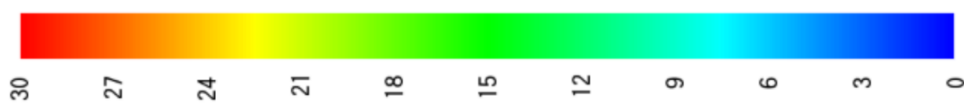
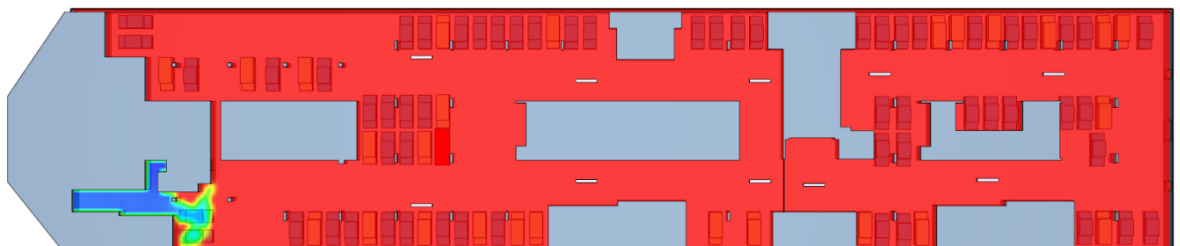
1100 sec – Bez Jetů



900 sec – Navrhované řešení (Jety zapnuty)



1100 sec – Navrhované řešení (Jety zapnuty)

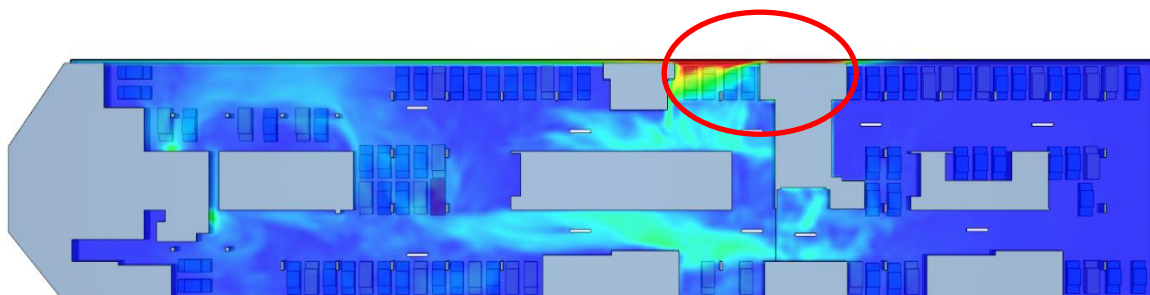


Obrázek 62

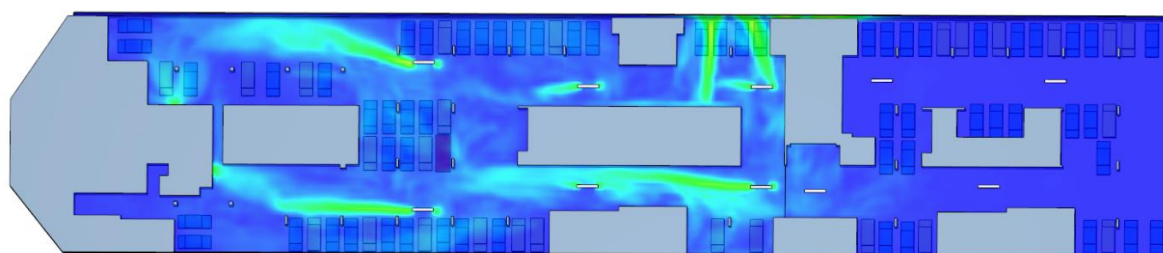
Porovnáním průběhů obou variant můžeme vidět, že posuvné ventilátory vliv na dobu odvětrání mají, nicméně se ale potvrzuje tvrzení, že hlavní vliv na dobu odvětrání mají odtahové ventilátory. Při zapnutých posuvných ventilátorech je prostor odvětrán již v čas. kroku 1100 s. Varianta s vypnutými Jety je téměř odvětrána až v čase 1200 s.

C.2.3.2.2 Rychlost vzduchu [m/s] v rovině XY ve výšce 2,5 m

700 sec – Bez Jetů



700 sec – Navrhované řešení (Jety zapnuty)

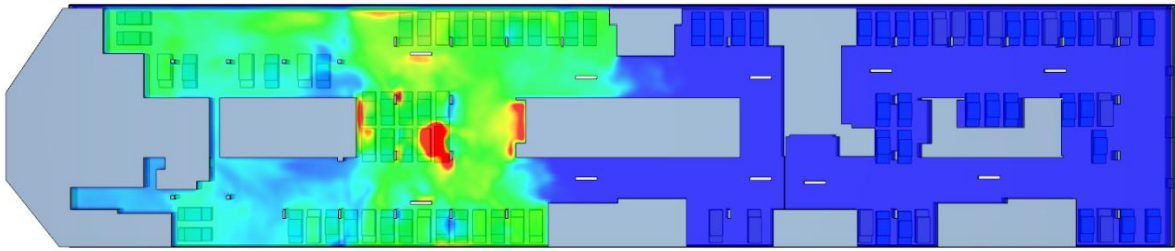


Obrázek 63

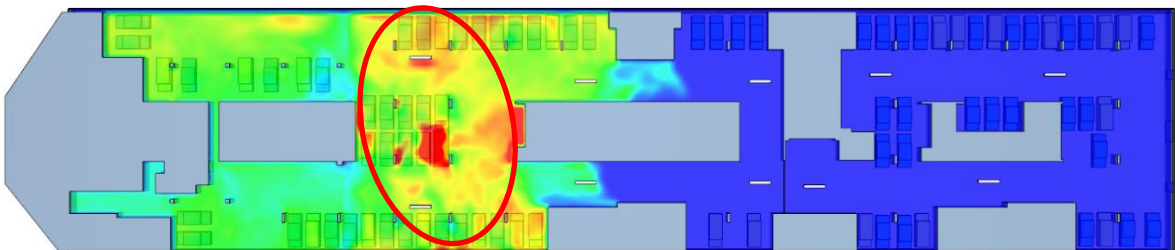
Při porovnání výstupů lze vidět, že varianta se zapnutými posuvnými ventilátory velmi výrazně snižuje rychlost proudění vzduchu přírodními otvory (anglické dvorce i rampa). Podobné chování (jen s nižšími rychlostmi) lze pozorovat i ve výšce 1,75 m (nezobrazeno). Jety usměrňováním toku vzduchu omezují tvorbu turbulentních vírů. Díky tomu může nasávaný vzduch proudit lépe skrze celý průřez prostoru.

C.2.3.2.3 Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 1,75 m

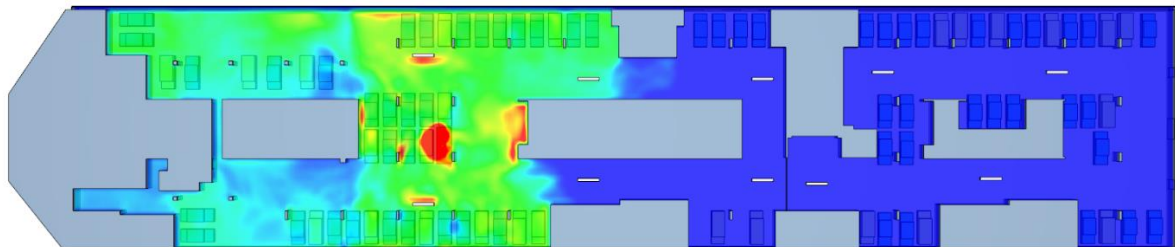
200 sec – Bez Jetů



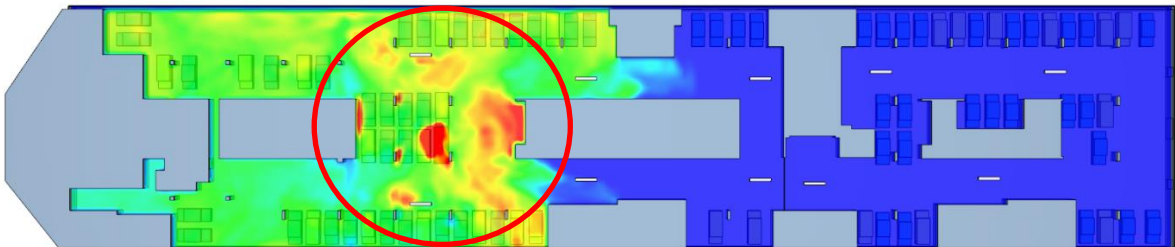
500 sec – Bez Jetů



200 sec – Navrhované řešení (Jety zapnuty)



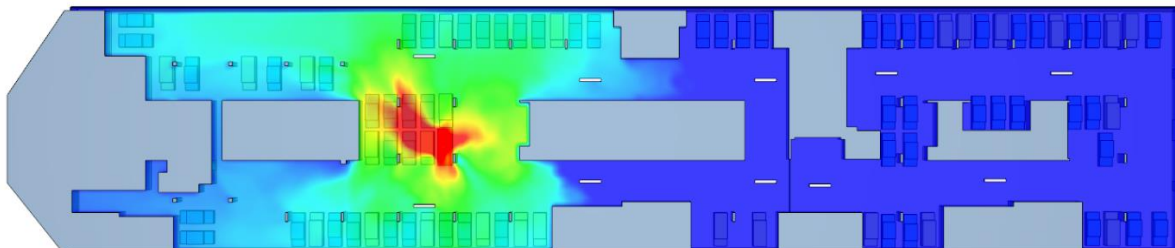
500 sec – Navrhované řešení (Jety zapnuty)



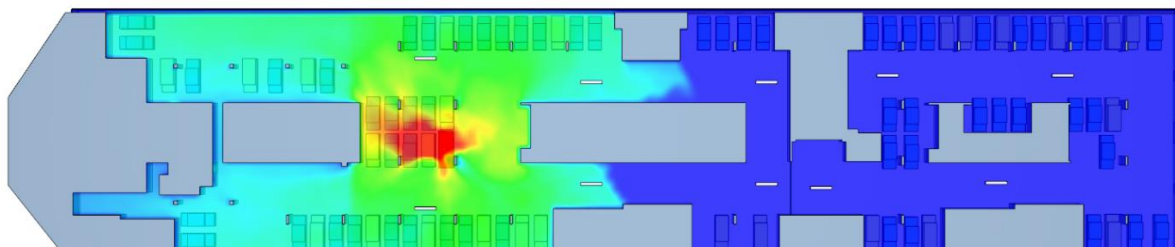
Obrázek 64

C.2.3.2.4 Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 2,5 m

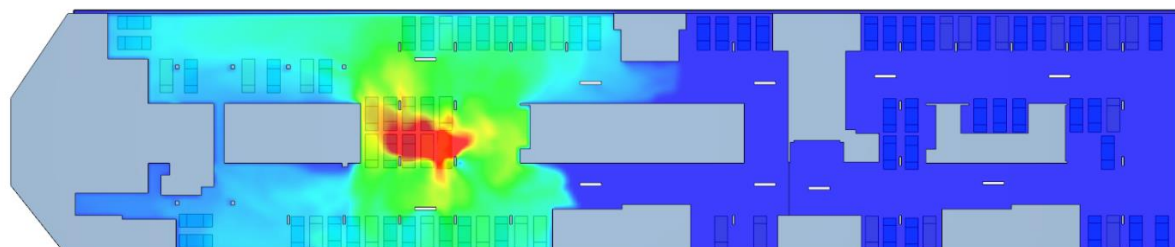
200 sec – Bez Jetů



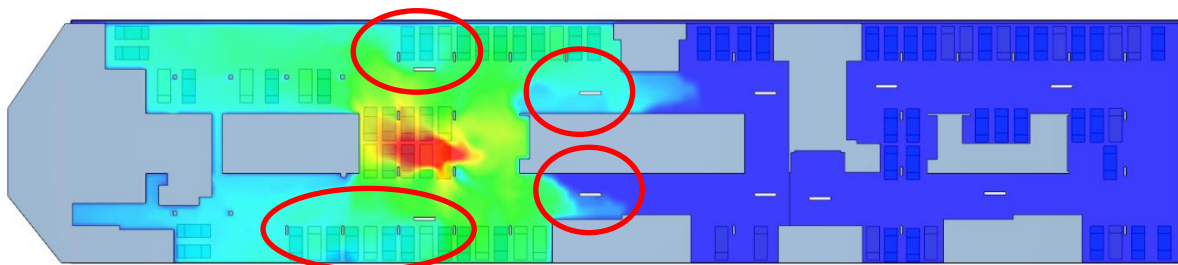
500 sec – Bez Jetů



200 sec – Navrhované řešení (Jety zapnuty)



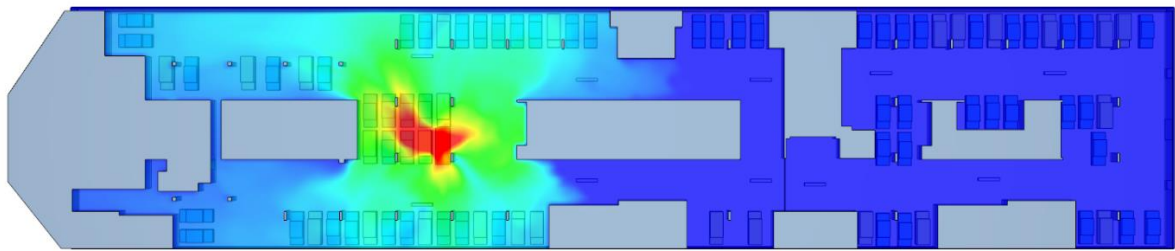
500 sec – Navrhované řešení (Jety zapnuty)



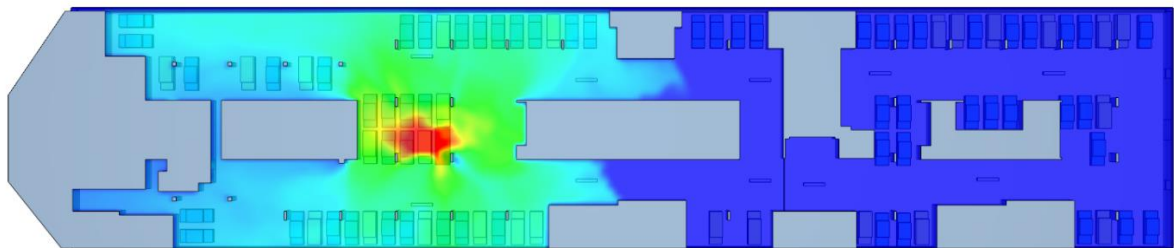
Obrázek 65

C.2.3.2.5 Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 2,75 m

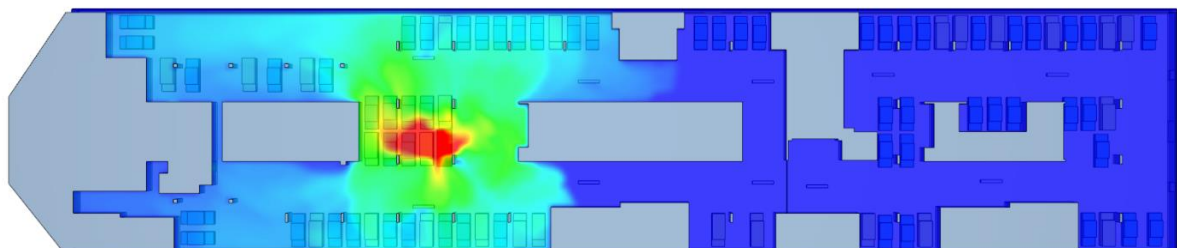
200 sec – Bez Jetů



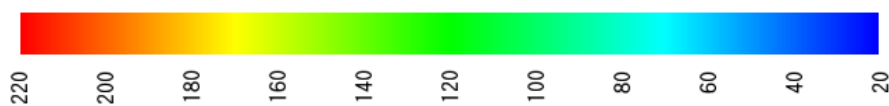
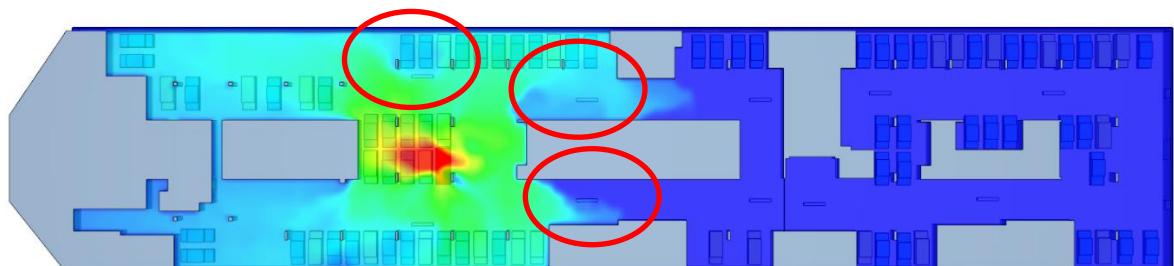
500 sec – Bez Jetů



200 sec – Navrhované řešení (Jety zapnuty)



500 sec – Navrhované řešení (Jety zapnuty)



Obrázek 66

Pro porovnání průběhu teplot byly vybrány následující časové kroky:

- 200 sec -> v případě simulace navrhovaného řešení se Jety spouští v časovém kroku 210 sec, proto byl pro poukázání stejného průběhu teplot v obou případech (garáž bez Jetů/Jety zapnuty) zvolen tento časový krok (200 sec)
- 500 sec -> tento časový krok je v přibližně v polovině doby hašení, byl vybrán díky výrazným rozdílům v průběhu teplot

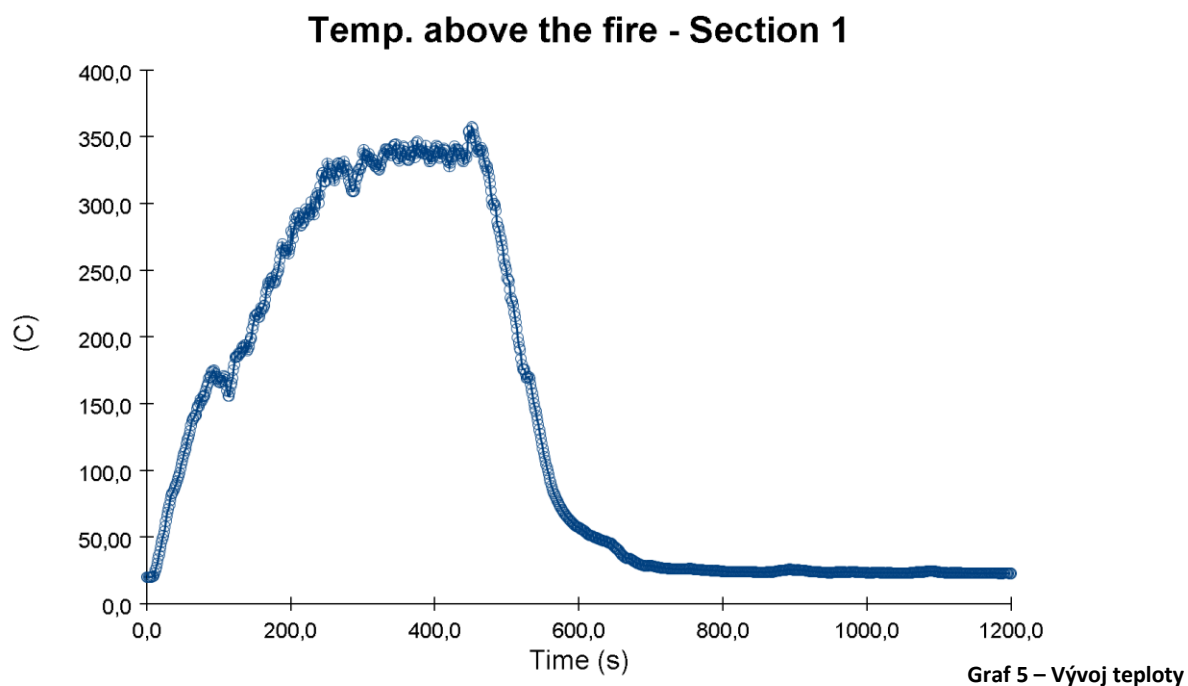
Průběhy teplot jsou zobrazeny vždy ve stejné škále pro řezy ve výškách 1,75 m, 2,5 m a 2,75 m. Při porovnávání průběhu teplot v obou variantách ve výšce 1,75 m a časovém kroku 500 s je při použití Jetů patrné zmenšení teplejších ložisek vzduchu v okolí požáru.

Ve výšce 2,5 m (osa Jet ventilátorů) a časovém kroku 500 s je patrné snížení teplot v okolí posuvných ventilátorů z přibližně 95 °C na 55 °C.

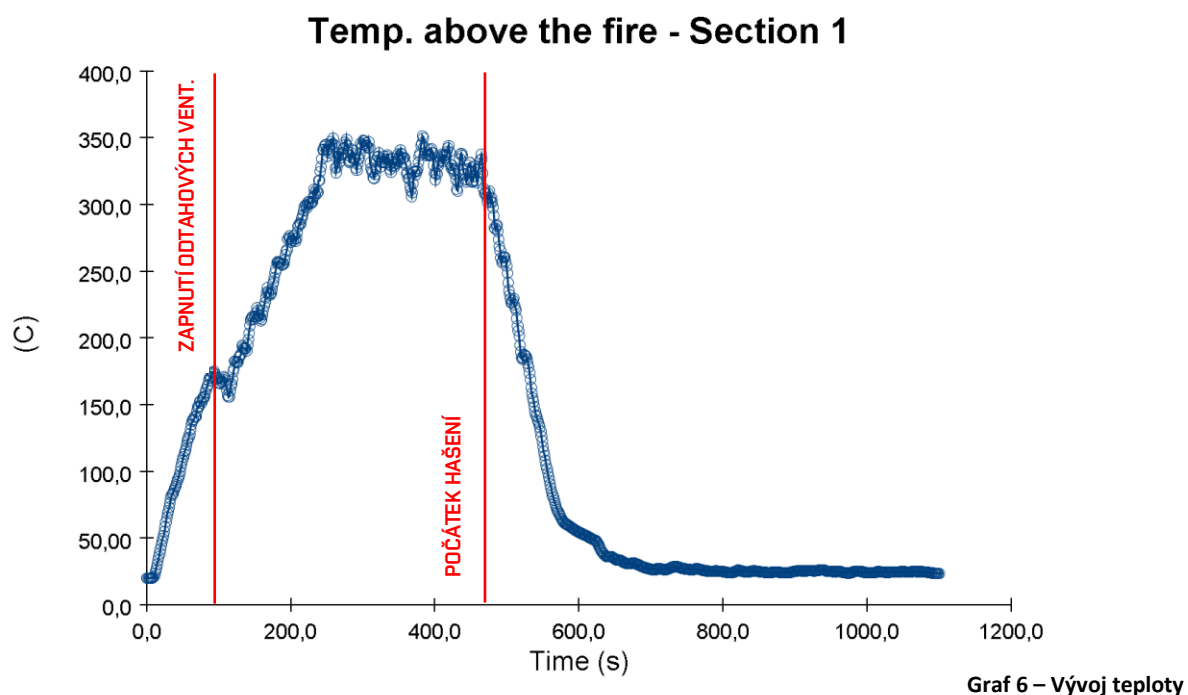
Ve výšce 2,75 m (pod stropem) a časovém kroku 500 s se projevují zapnuté Jety také snížením teploty v jejich okolí, stejně jako ve výšce 2,5 m. Dále lze pozorovat omezení lokálně chladnějšího místa (zakroužkováno v levé části dispozice) u vypnutých Jetů. Ve druhé variantě je vzduch právě v tomto místě teplejší z důvodů jeho promíchání s teplejším okolním. Lze tak pozorovat další schopnost těchto ventilátorů, a to vytvořit rovnoměrnější rozprostření teplot v daném prostoru (snížení tepelného namáhání stavebních konstrukcí lokálními teplotními extrémy).

C.2.3.3 Vývoj teploty [°C] nad středem požáru, výška 2,75 m

- Jety vypnuty



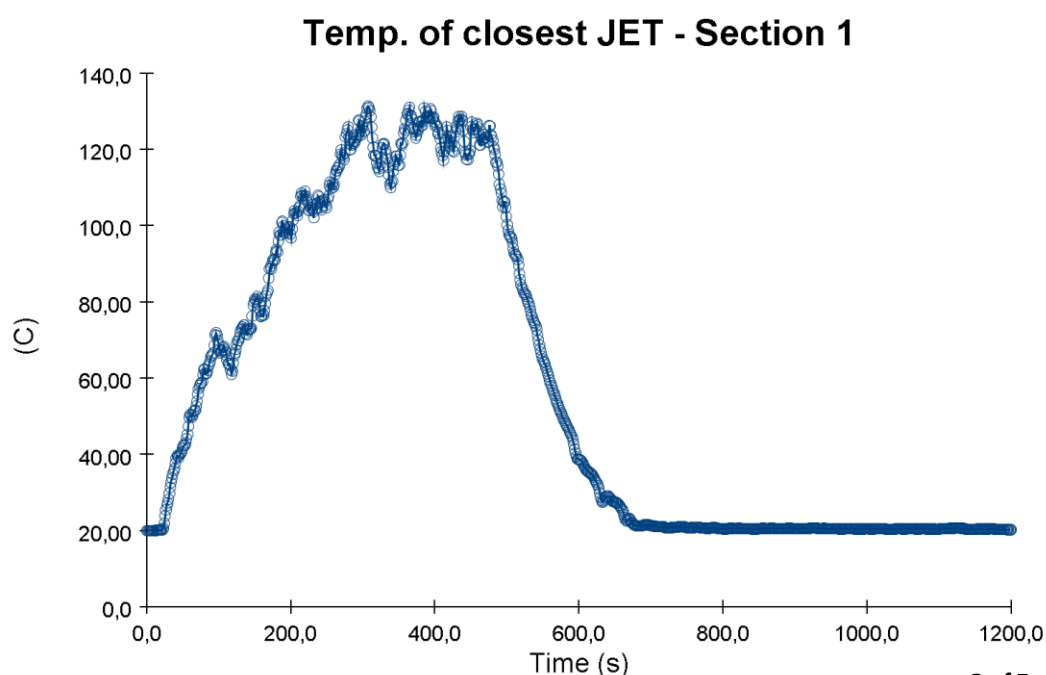
- Navrhované řešení (Jety zapnuty)



Vývoj teplot přímo nad požárem se zapnutými nebo vypnutými posuvnými ventilátory se liší jen minimálně. Maximální dosažené teploty (cca 350 °C) jsou podobné v obou porovnávaných případech. Přímo nad ohniskem požáru jety teplotu nesnižují.

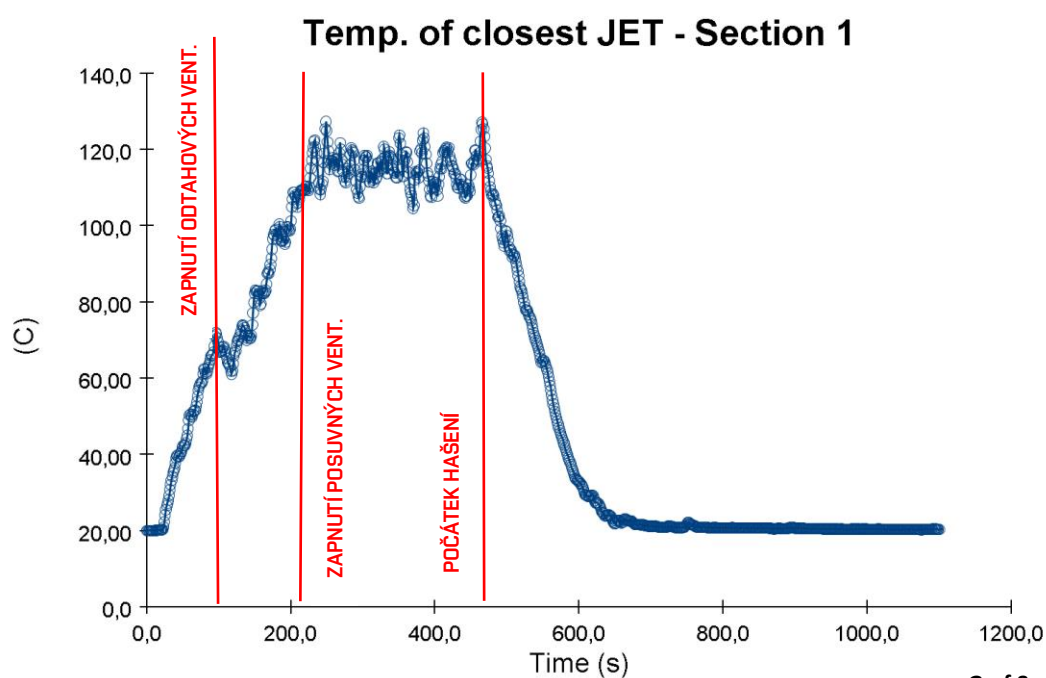
C.2.3.3.1 Vývoj teploty [°C] na nejbližším posuv. ventilátoru, výška 2,5 m

- Jety vypnuty



Graf 7 – Vývoj teploty

- Navrhované řešení (Jeti zapnuty)



Graf 8 – Vývoj teploty

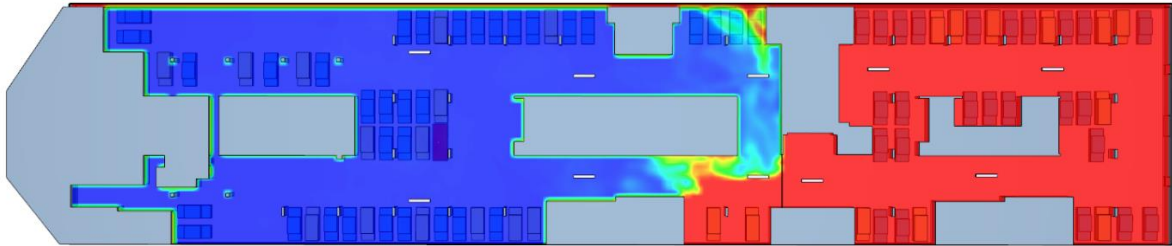
V místě pozice posuvného ventilátoru, který je požáru nejbliž (vzdálenost 8 m) už rozdíl dosažených teplot vlivem zapnutých jetů pozorovat lze. V případě zapnutých ventilátorů se teplota pohybuje hlavně pod hranicí 120 °C, a málokdy jí přesáhne. Při vypnutých posuvných ventilátorech se tato teplota pohybuje okolo hranice 125 °C. Rozdíl

teplot se nemusí zdát výrazný. Je však potřeba brát v úvahu blízkou pozici sledovaného bodu k ohnisku požáru.

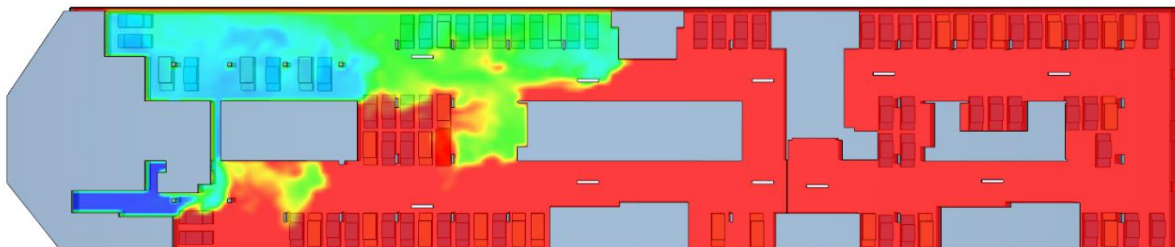
C.2.3.4 Vliv použití 10 h^{-1} výměny vzduchu

C.2.3.4.1 Viditelnost [m] v rovině XY ve výšce 1,75 m

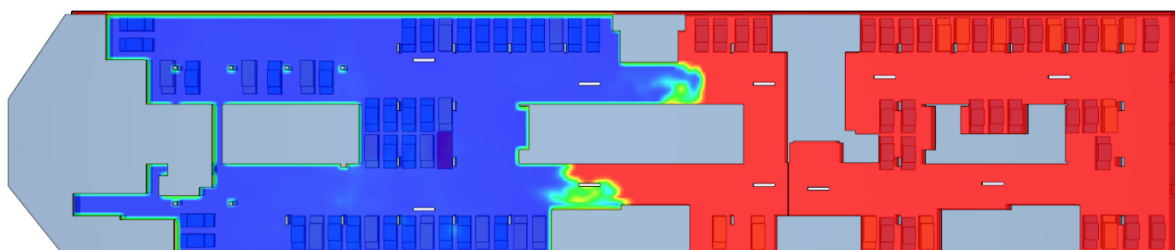
400 sec – Výměna 10 h^{-1}



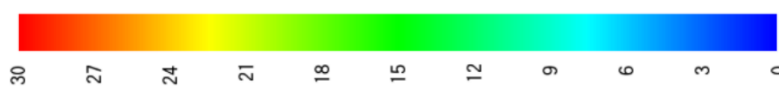
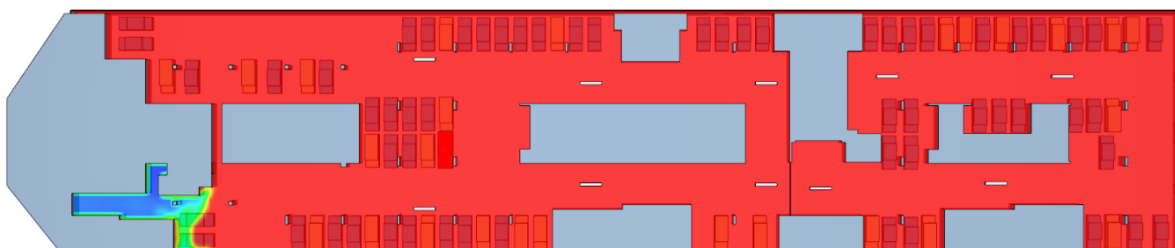
1100 sec – Výměna 10 h^{-1}



400 sec – Navrhované řešení (20 h^{-1})



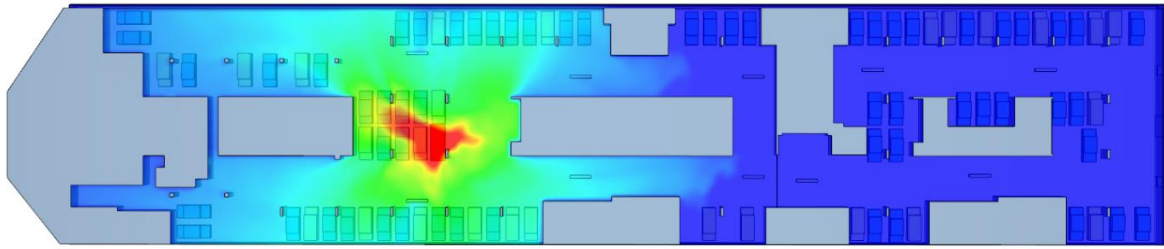
1100 sec – Navrhované řešení (20 h^{-1})



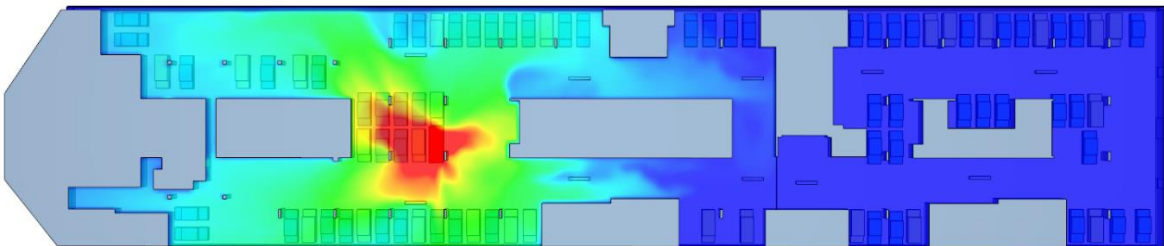
Obrázek 67

C.2.3.4.2 Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 2,75 m

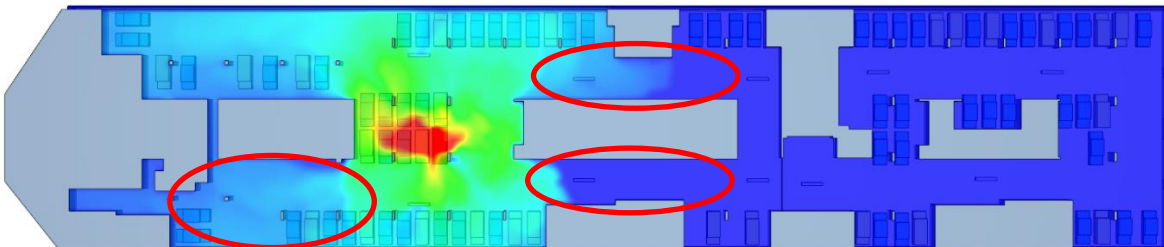
200 sec – Výměna 10 h⁻¹



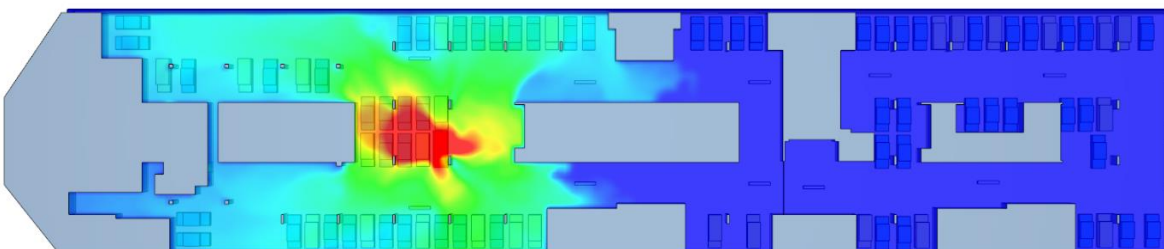
400 sec – Výměna 10 h⁻¹



200 sec – Navrhované řešení (20 h⁻¹)



400 sec – Navrhované řešení (20 h⁻¹)



Obrázek 68

Viditelnost byla porovnána v časových krocích 400 a 1100 s. Jedná se o řezy v rovině 1,75 m nad podlahou. Na uvedených obrázcích lze pozorovat rozdíly v rychlosti odvětrání při návrhu s různou výměnou vzduchu. Odlišnost lze pozorovat již v časovém kroku 400 s, což je doba, kdy je požár ve fázi maximálního výkonu a produkce zplodin (sazí) stále probíhá. U návrhu s vyšší výměnou vzduchu tak bude ještě před zahájením hašení zlepšená viditelnost pro zasahující hasiče.

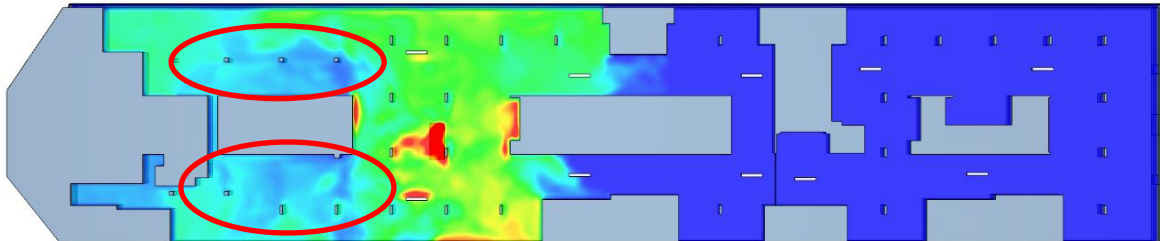
U navrhované varianty s 20 h^{-1} výměnou vzduchu dojde ke kompletnímu odvětrání již v čase 980 s. V případě 10 h^{-1} není celý prostor odvětrán ani v čase 1100 s.

Průběh teplot byl porovnán v krocích 200 a 400 s. Výrazné změny lze pozorovat hlavně v prostoru komunikačních uliček, kterým proudí nejvíce vzduchu. Vliv změny velikosti objemu odváděného vzduchu na teplotu v prostoru je jasně patrný. K nejúčinnějšímu snížení teploty dojde v těch místech, kde proudí nejvíce vzduchu, a nově přiváděný vzduch tak může odvádět co nejvíce tepelné zátěže.

C.2.3.5 Vliv obsazenosti garáží

C.2.3.5.1 Viditelnost [m] v rovině XY ve výšce 1,75 m

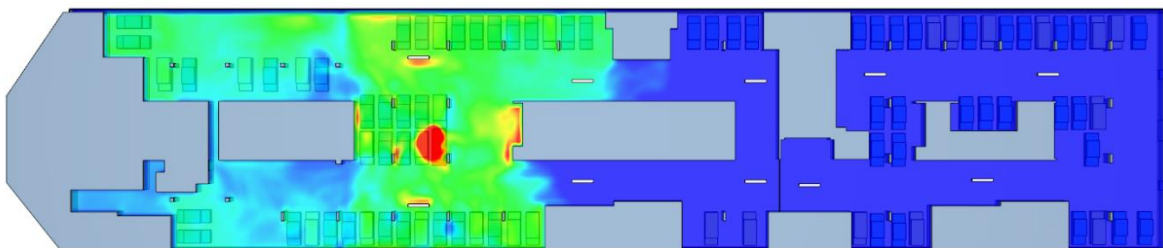
200 sec – Prázdné parkoviště



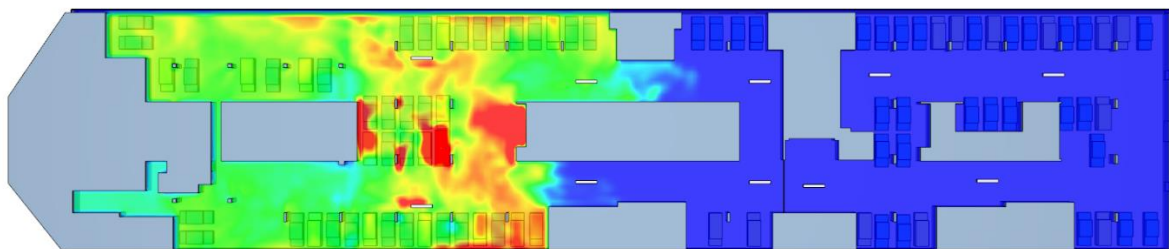
400 sec – Prázdné parkoviště



200 sec – Navrhované řešení (Plně obsazené)



400 sec – Navrhované řešení (Plně obsazené)



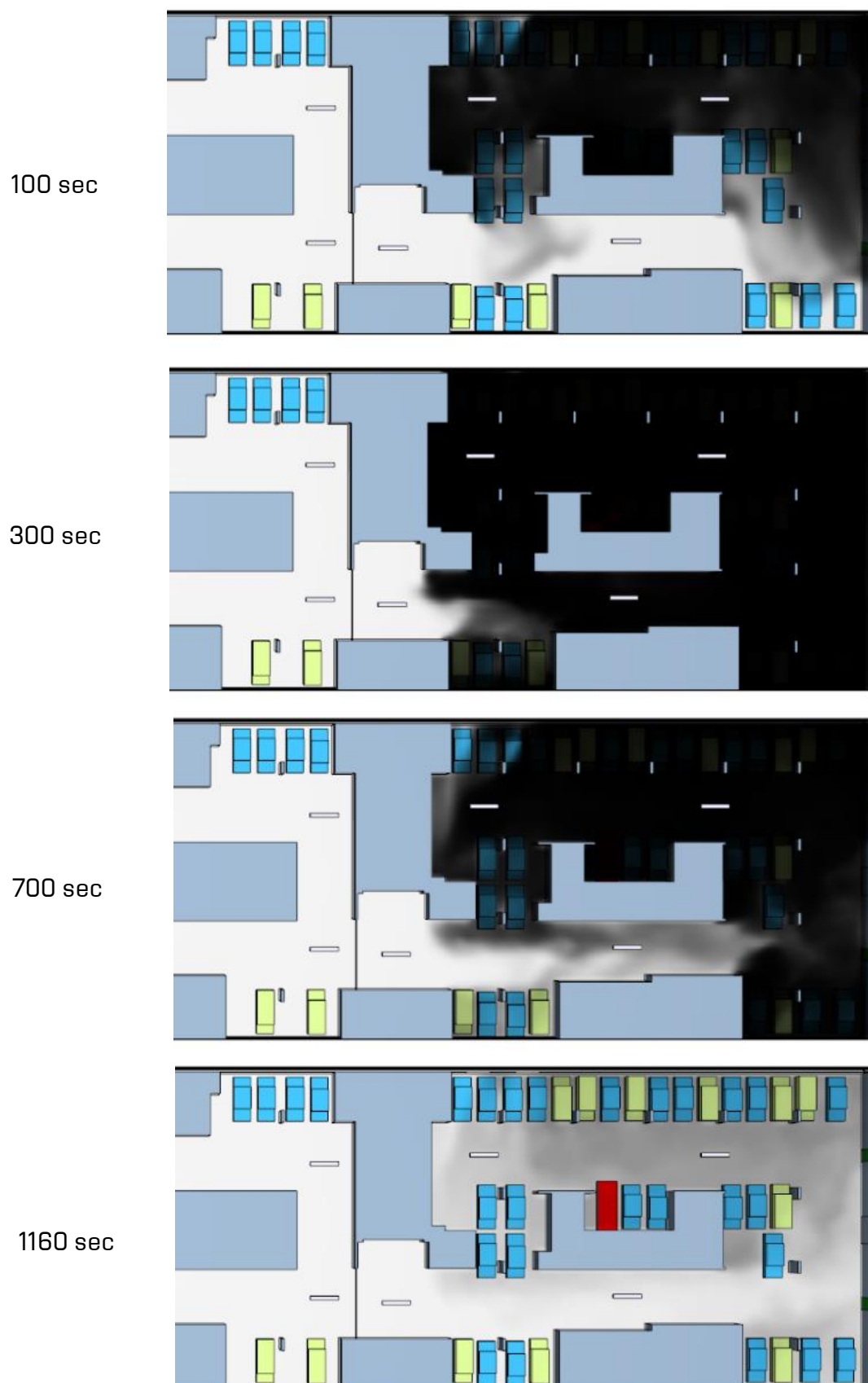
Obrázek 69

Vliv změny obsazenosti garáží je nejvíce zřejmý při porovnání viditelnosti. Ta je porovnána v časech 200 a 400 s. Největší rozdíly jsou patrné hlavně v okolí nasávacích otvorů. V případě prázdných garáží dojde k mnohem rychlejšímu zvýšení viditelnosti v okolí odvětrávacích šachet. To je způsobeno snížením překážek (zaparkovaných automobilů) na parkovacích stání v jejich okolí. Z celkového hlediska je ale doba kompletního odvětrání téměř shodná. Vliv obsazenosti garáží je na dobu celkového odvětrání zanedbatelný.

Na průběh teplot a rychlosti proudění vzduchu ve zkoumaných rovinách 1,75 m a 2,5 m zaparkovaná auta nemají významný vliv. V těchto rovinách je průběh těchto veličin pro obě varianty téměř totožný.

C.2.4 Navrhované řešení (scénář 2) – Sekce 2 – Grafická část

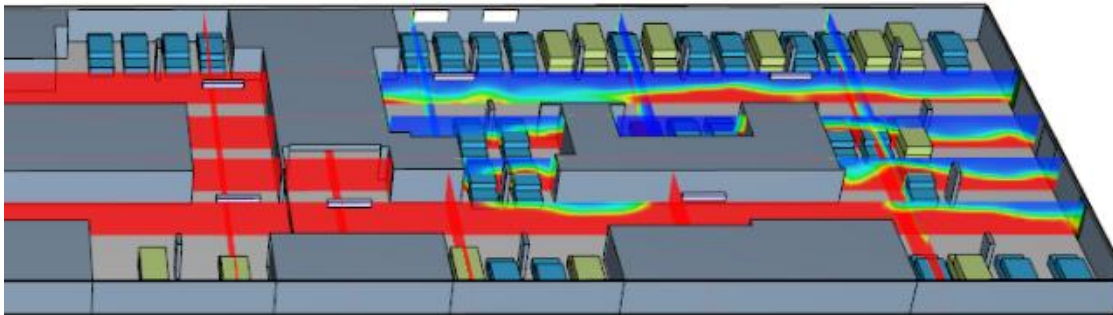
C.2.4.1 Výskyt kouře (zplodin hoření)



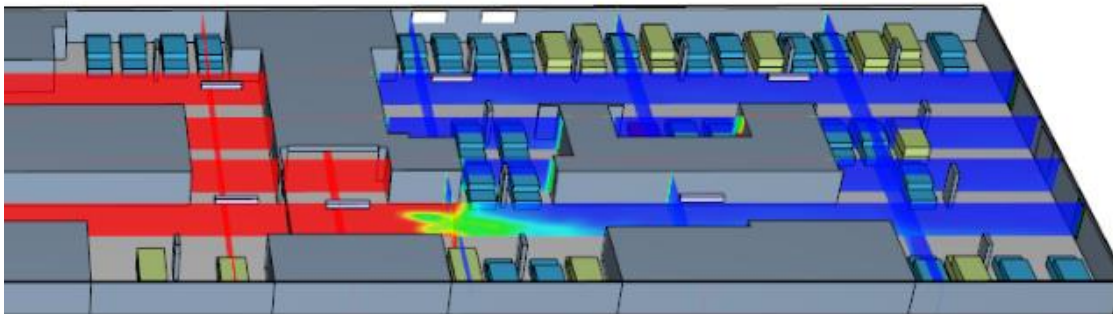
Obrázek 70

C.2.4.2 Viditelnost [m] v různých rovinách

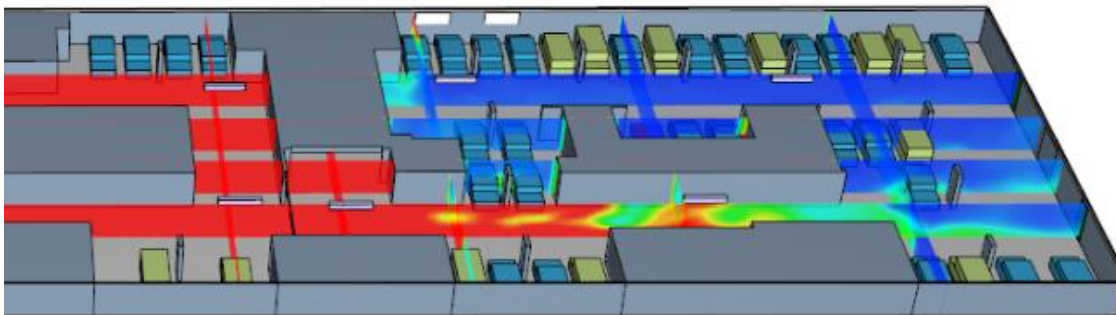
100 sec



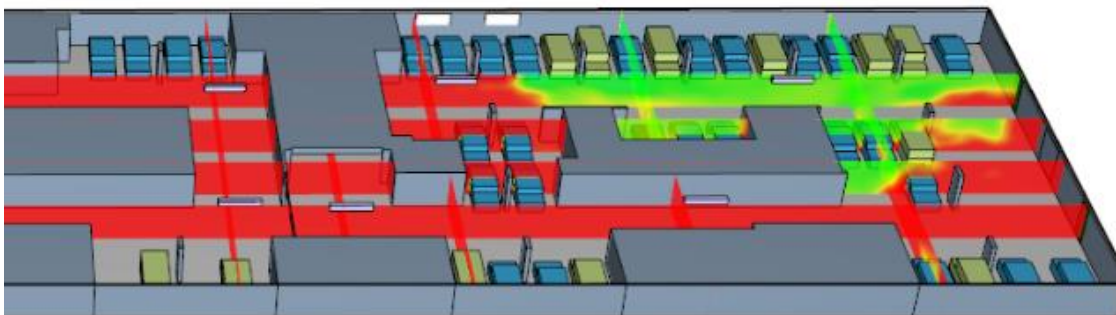
300 sec



700 sec

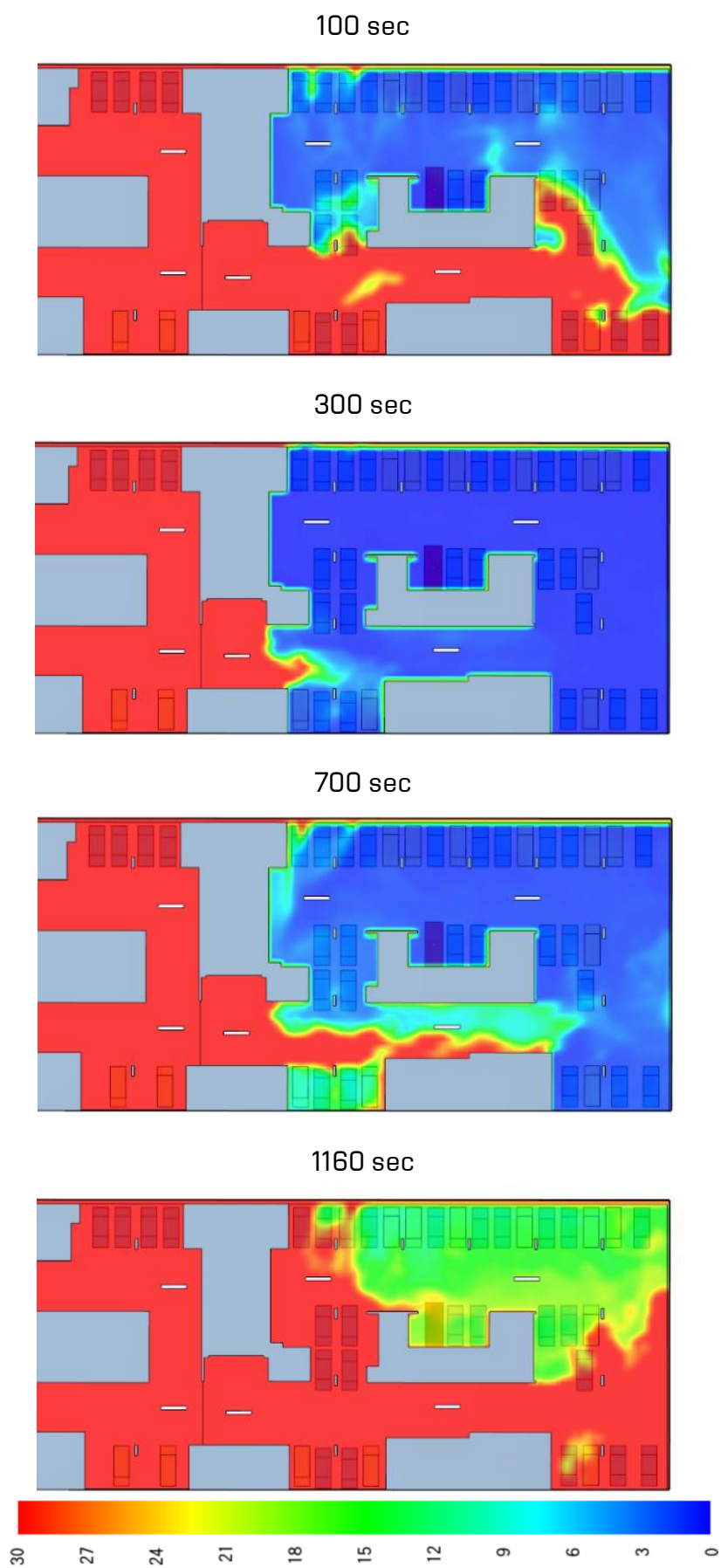


1160 sec



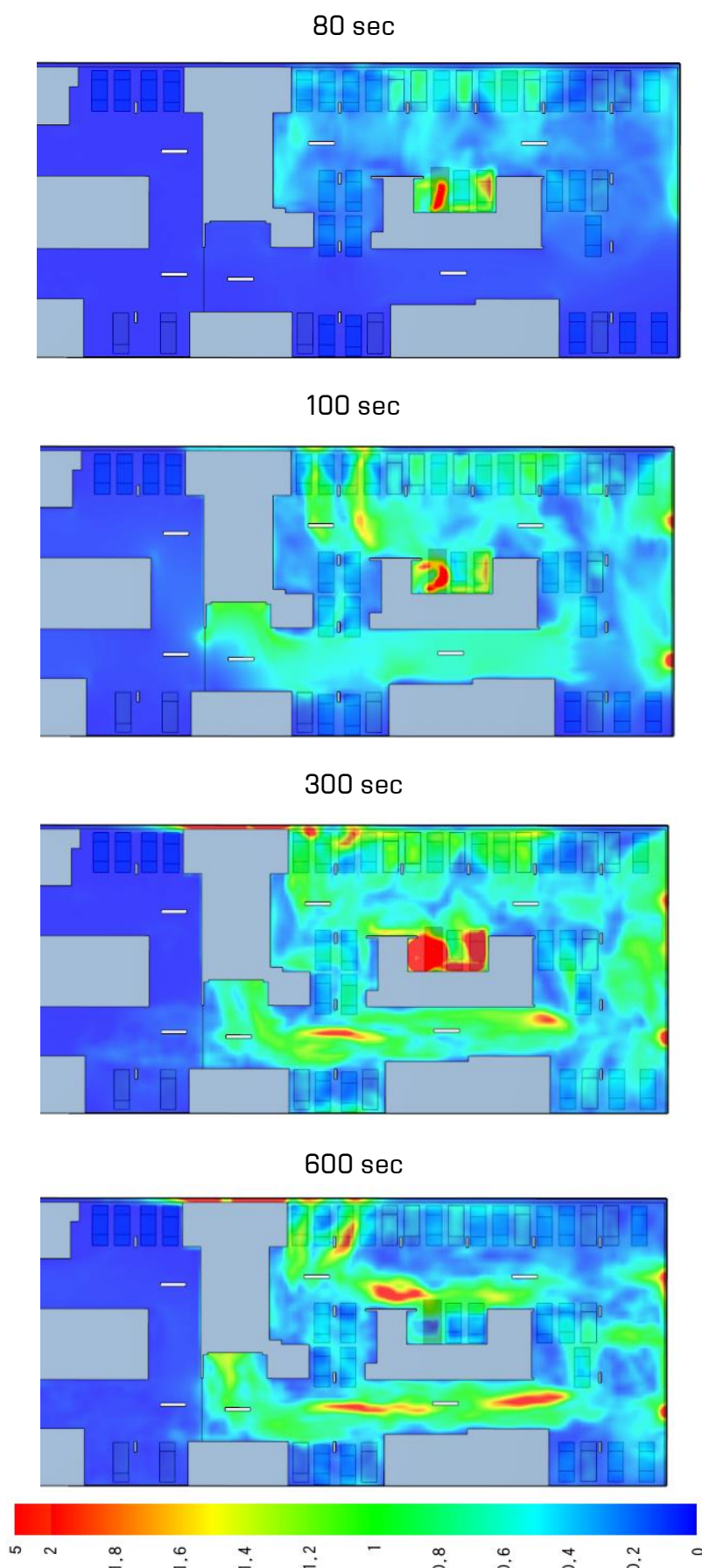
Obrázek 71

C.2.4.3 Viditelnost [m] v rovině XY ve výšce 1,75 m



Obrázek 72

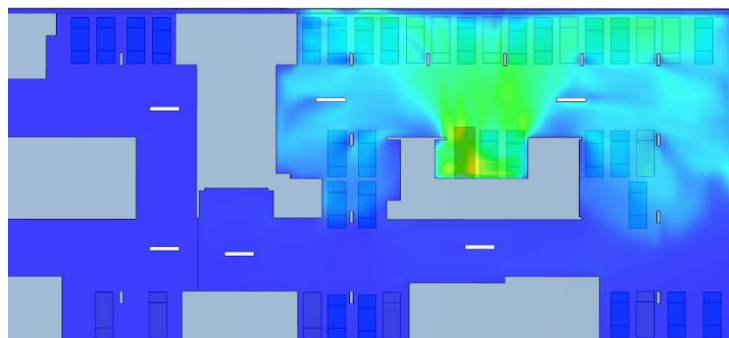
C.2.4.4 Rychlost vzduchu [m/s] v rovině XY ve výšce 1,75 m



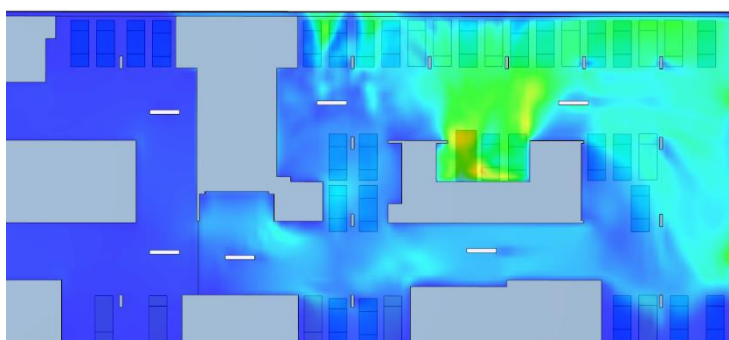
Obrázek 73

C.2.4.5 Rychlost vzduchu [m/s] v rovině XY ve výšce 2,5 m

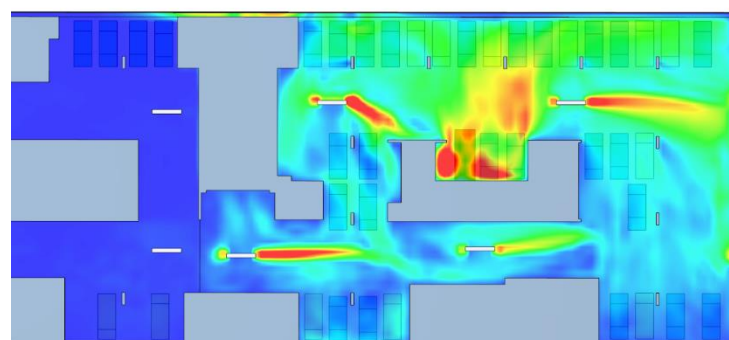
80 sec



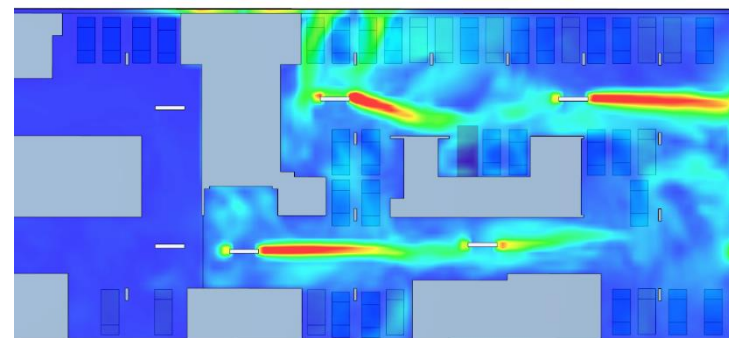
100 sec



300 sec



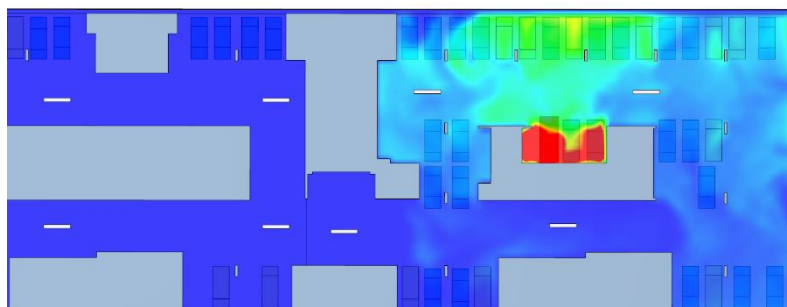
600 sec



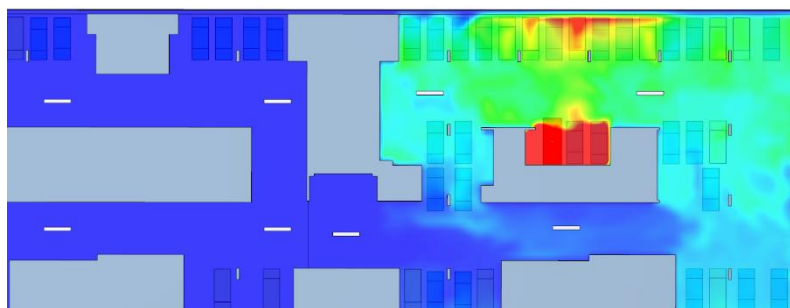
Obrázek 74

C.2.4.6 Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 1,75 m

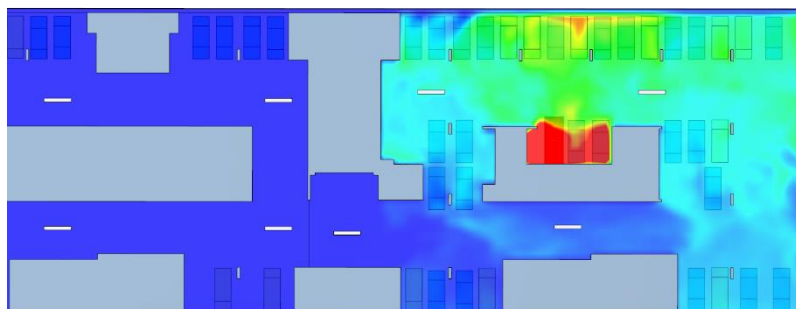
150 sec



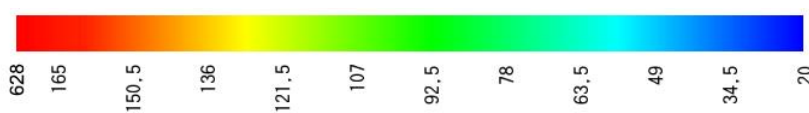
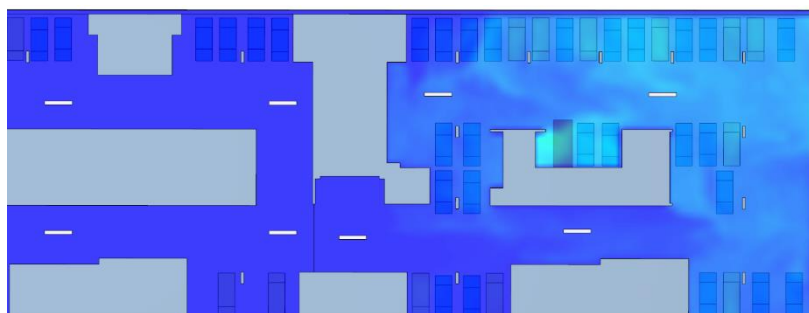
300 sec



510 sec

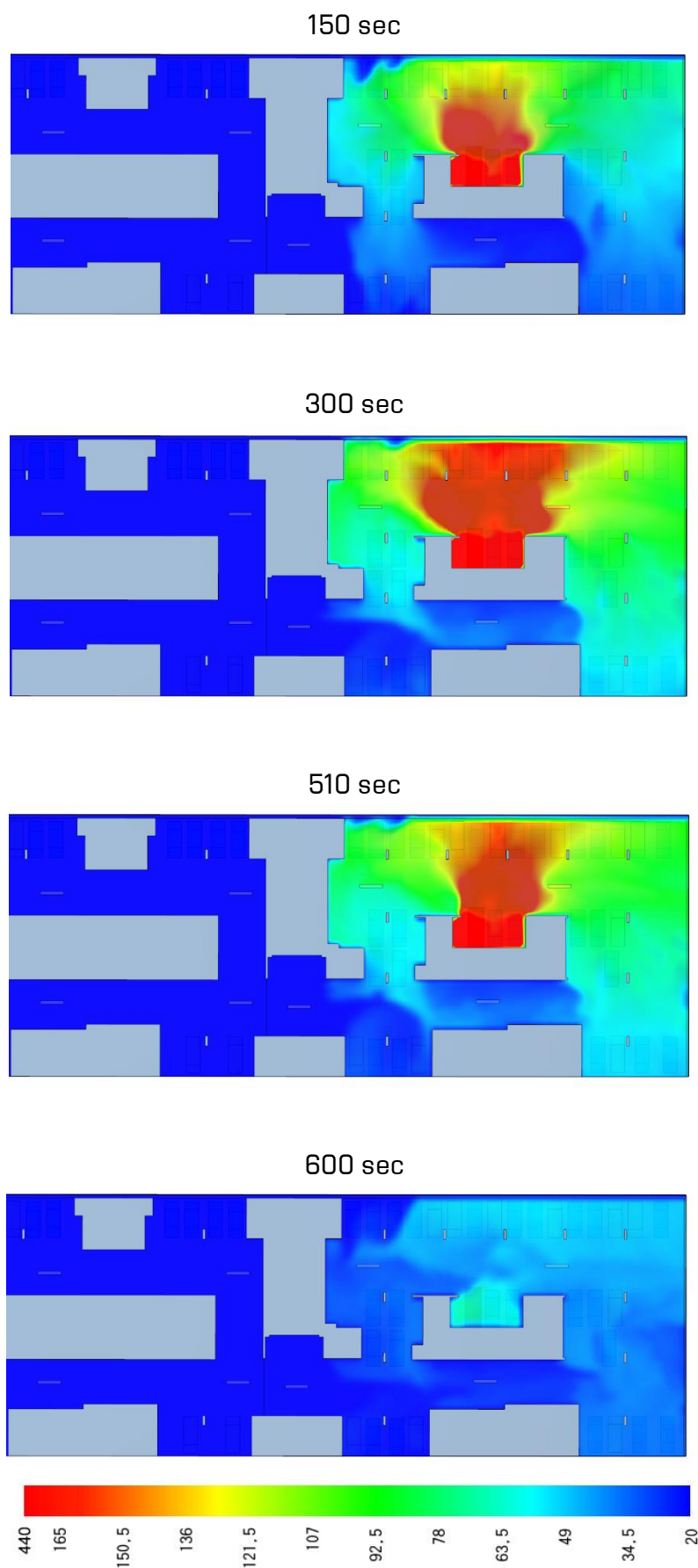


600 sec



Obrázek 75

C.2.4.7 Teplota vzduchu [°C] v rovině XY ve výšce 2,75 m



Obrázek 76

C.2.5 Navrhované řešení (scénář 2) – Sekce 2 – Textová část

Viditelnost

Dle výstupů je patrné, že zcela nedojde ke kompletnímu odvětrání kouřové sekce 2 v kroku 1160 s (což je časový krok vzdálený 600 s [10 minut]) od kroku kdy dojde k uhašení požáru. V pravé horní části půdorysu zůstane kouř, viditelnost v tomto místě je cca 18 m. Dle požadavků britské normy BS 7346-7:2013 by mělo dojít k úplnému odvětrání prostoru do 10 minut od uhašení požáru, nicméně zbytkový kouř, který je zředěný natolik, že poskytuje viditelnost minimálně 18 m v tomto případě neohrožuje bezpečnost osob ve smyslu ztráty orientace v prostoru. Toto opatření pro odvětrání prostoru je požadováno hlavně z důvodů zvýšení bezpečnosti zasahujících hasičů (snížení teploty a koncentrace škodlivých látek ve vzduchu), kteří vždy zasahují s dýchacími přístroji a tepelně odolnými obleky. Proto se v tomto případě dá považovat požární odvětrání za účinné, a správně navržené. Simulace rovněž ověřila předpokládaný směr pohybu vzduchu (kouře) k odtahovým šachtám na východní straně budovy.

Teplota vzduchu

Porovnáním výstupů v časovém kroku 300 a 510 s je o mnoho méně patrný pokles teploty vlivem probíhajícího hašení, v porovnání s průběhem v kouřové sekci 1. To je způsobeno umístěním požáru v této sekci. Parkovací místo je ze tří stran obklopeno železobetonovou stěnou. Uvolňované konvektivní teplo a kouř vznikající při hoření mohou unikat pouze jedním směrem, a pokles teploty je pomalejší. Vliv na pomalejší pokles teploty má i tepelná akumulace a následná radiace tepla z přilehlých železobetonových stěn (tl. 200 mm). Při porovnání výstupů v čase 510 s (probíhající hašení) a 600 s (již uhašený požár) je zřejmé, jak razantně došlo k poklesu teploty po uhašení požáru. Toto platí pro obě vyšetřované roviny (1,75 a 2,75 m).

V rovině umístěné 1,75 m nad podlahou byla maximální lokální teplota 628 °C. Dle percentilové škály byla však maximální hodnota 165 °C. V rovině umístěné ve výšce 2,75 m (rovina pod stropní konstrukcí) byla maximální lokální teplota 440 °C. Dle percentilové škály je maximální hodnota 165 °C shodná s nižší rovinou.

Při porovnání s požárem v kouřové sekci 1 došlo v tomto případě k navýšení všech teplot. Jak už bylo uvedeno, toto chování je způsobeno železobetonovými stěnami, které obklopují toto parkovací stání. Uvolňované teplo se šíří do okolí pouze jedním směrem, a proces chladnutí je pomalejší.

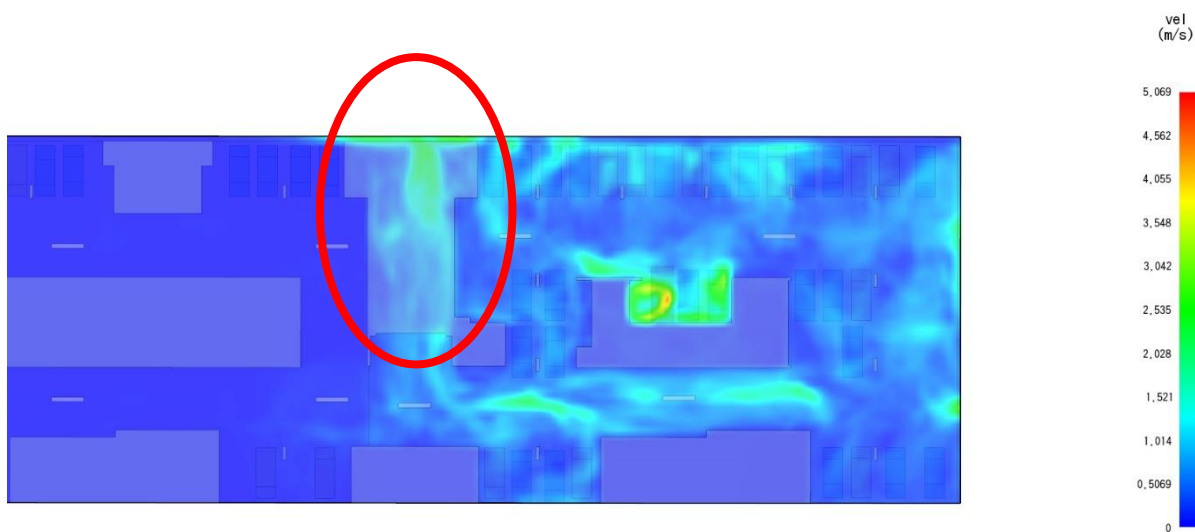
Celkovým porovnáním grafických výstupů v obou rovinách (výška 1,75 a 2,75 m) lze opět prokázat, že vyšší lokální teplotní extrémy se vyskytují v rovině 1,75 m z důvodu menší vzdálenosti k ohnisku požáru.

Touto simulací bylo zjištěno, že velký vliv na vývoj teplot při požáru v garážích má i vnitřní dispozice garáží a konkrétní umístění parkovacího stání. S tím souvisí i nižší účinnost požárních odvětrávacích systémů na taková místa, která jsou svou pozicí a geometrií okolních stěn (stavebních konstrukcí) podobná tomuto. Pro vyšetření co nejvyšších teplot působících na stavební konstrukce je tedy potřeba uvážlivě vybírat umístění výpočtového požáru.

Rychlost vzduchu

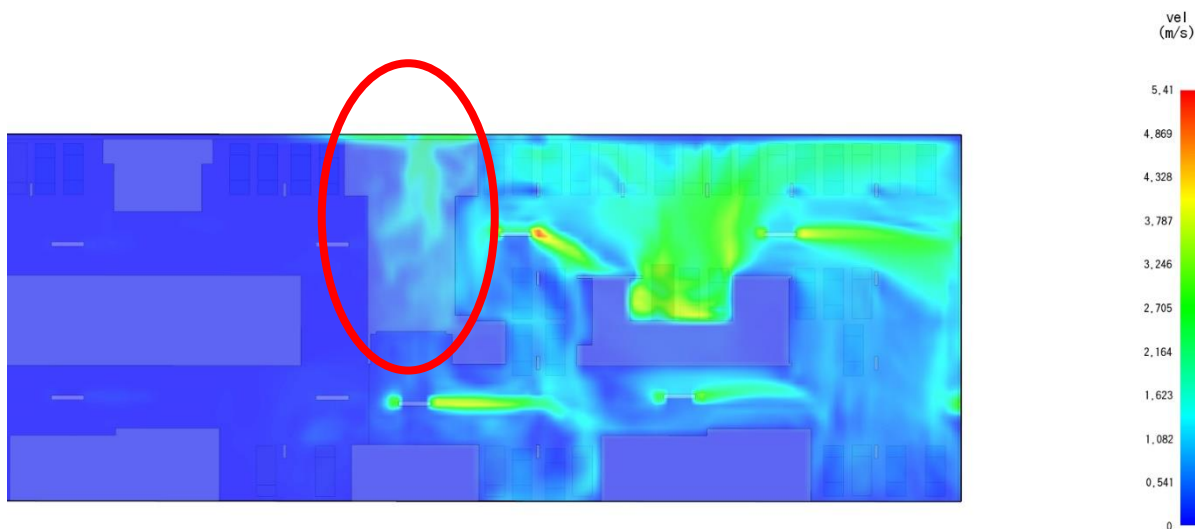
Porovnáním výstupů s rychlostmi vzduchu v krocích 80 a 100 s můžeme znovu pozorovat jasný efekt zapnutí odtahových ventilátorů, a to v obou vyšetřovaných rovinách (výška 1,75 a 2,5 m). Účinek zapnutých posuvných ventilátorů lze pozorovat zejména v rovině jejich osy (výška 2,5 m) v krocích 100 a 300 s. Jejich projev je zřetelný i v rovině s výškou 1,75 m. Stejně jako při požáru v sekci 1 i zde lze v krocích 300 (maximální výkon požáru) a 600 s (uhašený požár) lze pozorovat, jak významně ovlivňuje požár tlakové poměry a rychlost proudění vzduchu ve svém okolí. Dle grafických výstupů nepřesáhne ve vnitřním prostoru rychlost vzduchu hodnotu 5 m/s (ve výšce 1,75 m). Nedojde tak negativnímu ovlivnění doby evakuace osob.

Maximální dovolená rychlost vzduchu v místě vjezdové rampy, která zároveň slouží jako úniková cesta, je 5 m/s (dle prTS12101-11).



Obrázek 77 – Rychlost vzduchu ve výšce 1,75 m

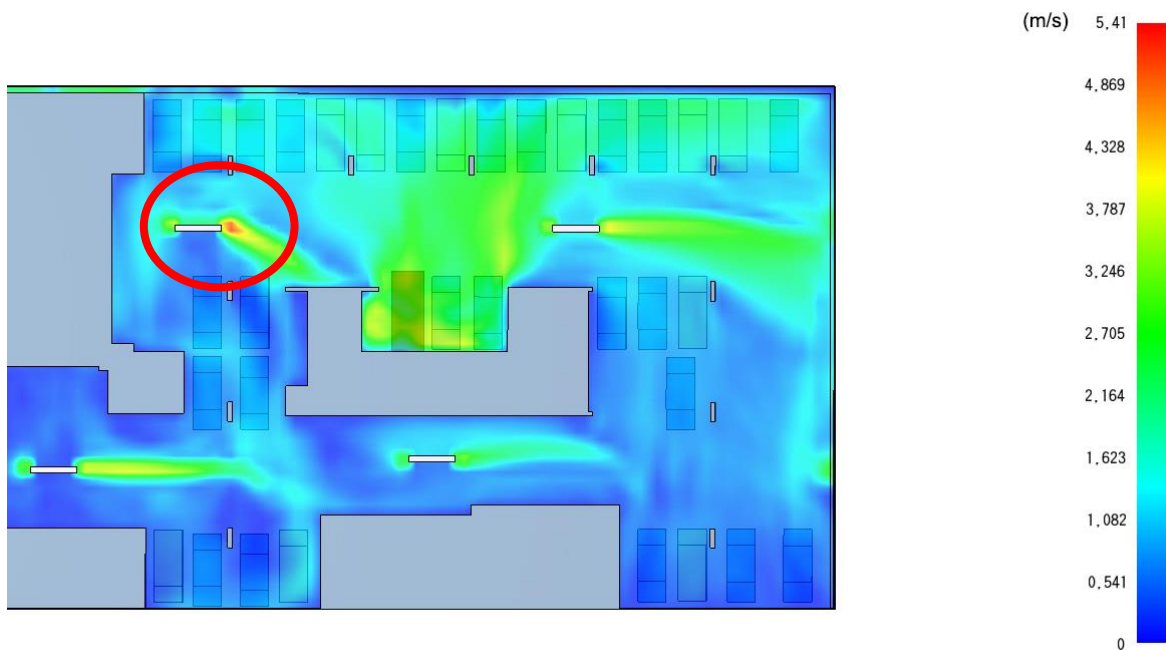
V místě rampy ve výšce 1,75 m a časovém kroku 250 s (spuštěny jsou odtahové i posuvné ventilátory) je maximální rychlost vzduchu cca 2,3 m/s. Maximum na škále 5,069 m/s je způsobeno rychlostí plynů nad požárem.



Obrázek 78 – Rychlost vzduchu ve výšce 2,5 m

V místě rampy ve výšce 2,5 m a časovém kroku 250 s (spuštěny jsou odtahové i posuvné ventilátory) je maximální rychlost vzduchu cca 2,7 m/s.

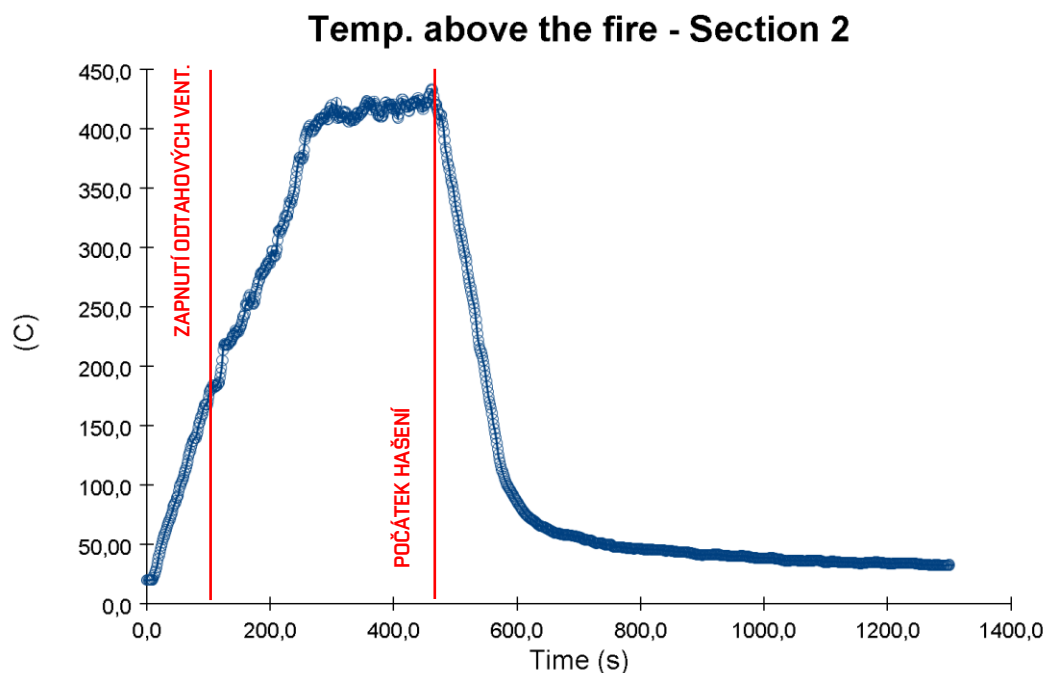
K dosažení maximální hodnoty 5,41 m/s na škále dochází v rovině 2,5 m v místě vyústky posuvného ventilátoru, jehož proud vzduchu je strháván dalším proudem vzduchu z anglických dvorků.



Obrázek 79 – Lokální maximum rychlosti vzduchu

Pro tato hodnocení byla použita měřítka s maximálními globálními hodnotami (pro najetí rychlostních extrémů). Maximální rychlost nasávaného vzduchu přes rampu je v obou rovinách nižší než maximální dovolená 5 m/s. Návrh požárního větrání splňuje požadavky na maximální dovolené rychlosti vzduchu v únikových cestách.

C.2.5.1 Vývoj teploty [°C] nad středem požáru, výška 2,75 m

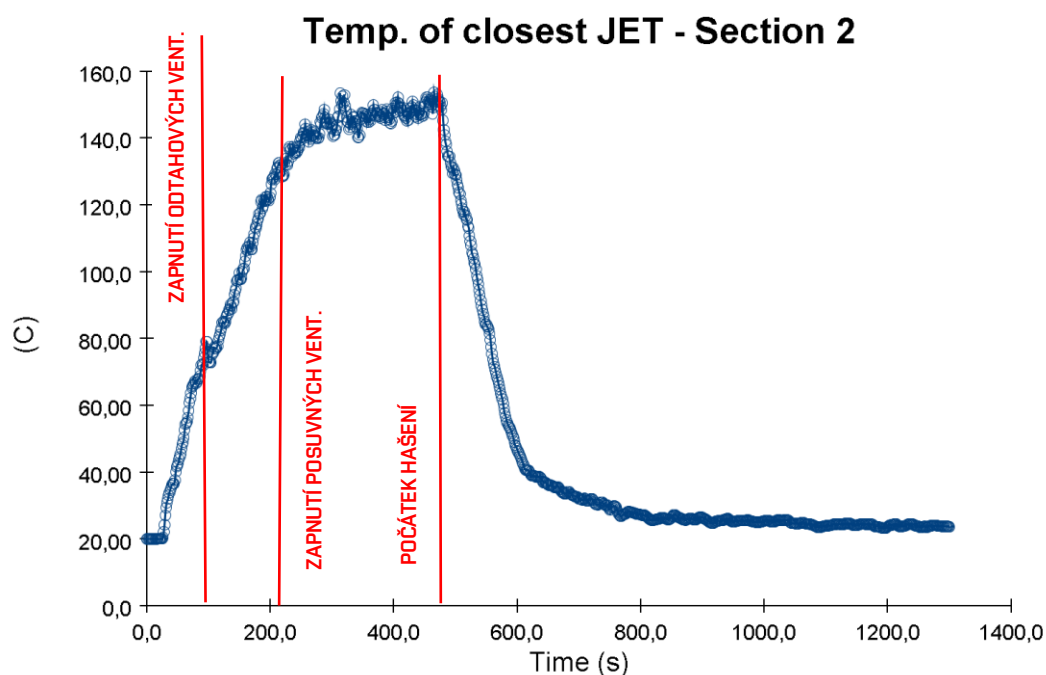


Graf 9 – Vývoj teploty

Na uvedeném grafu můžeme pozorovat průběh teploty přímo nad středem požáru, ve výšce 2,75 m (pod stropem). Teplota pod stropní konstrukcí v průběhu požáru dosáhne teploty nejvýše 440 °C. Z grafu je také patrný vliv odtahových ventilátorů, které se v čase 90 s zapnou, a tím na krátký časový úsek zpomalí teplotu ve sledovaném bodě (prostoru garáží).

Vliv jejich zapnutí při simulaci v požární sekci 1 měl za následek nejen zpomalení růstu, ale krátkodobý pokles teploty. To je způsobeno lokalitou požáru v této sekci. Ten je v tomto případě umístěn v místě parkovacího stání, které je zasunuto do středové části garáží, a tím ohraničeno ze tří stran stavebními konstrukcemi – stěnami. Toto porovnání jen potvrzuje, že při volbě umístění návrhového požáru je nezbytné zvolit nejvíce nepříznivé umístění. I v tomto případě platí, že je požár v rozvojové fázi. Proto jeho výkon nehledě na zapnutí odtahových ventilátorů roste. Snížení teploty proto trvá jen velmi krátký časový úsek (řádově sekundy) a teplota se opět začne zvyšovat. Vliv zapnutí posuvných ventilátorů (čas 210 s) na teplotu přímo nad požárem nelze pozorovat.

C.2.5.2 Vývoj teploty [°C] na nejbližším posuv. ventilátoru, výška 2,5 m

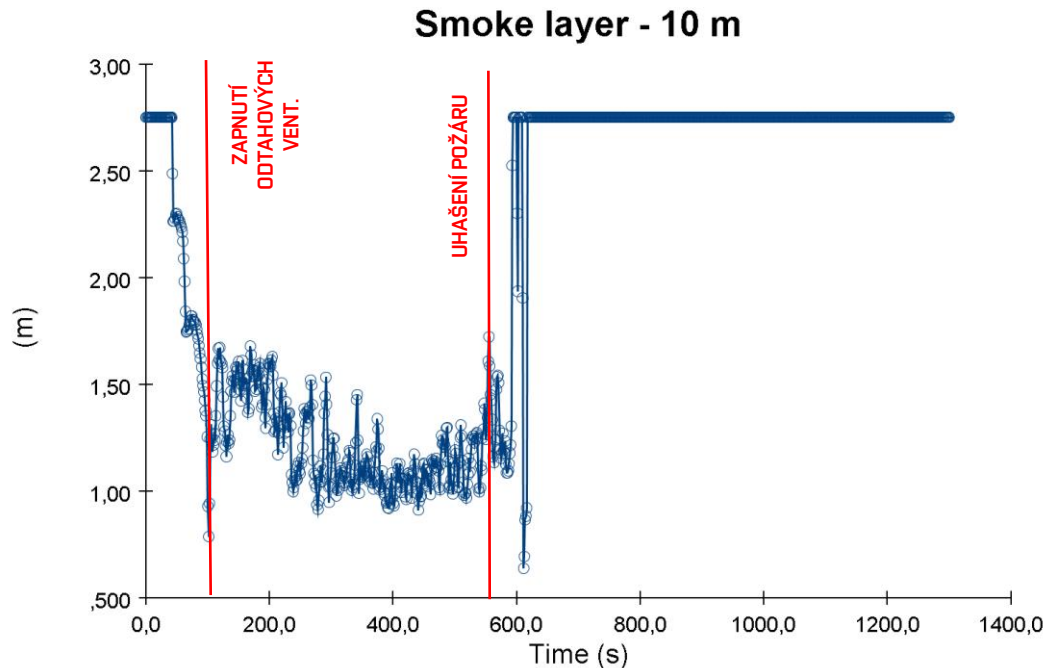


Graf 10 – Vývoj teploty

Z uvedeného grafu lze pozorovat průběh teploty v místě posuvného ventilátoru, který je svou pozicí nejbliž k požáru. Nejvyšší teplota na posuvném ventilátoru v průběhu požáru je 156 °C. Posuvný ventilátor Colt Veje 415 T s certifikací na požární odolnost F300/120 (teplota [°C]/doba [s]) vyhovuje podmínkám simulovaného požáru.

Stejně jako v kouřové sekci 1 lze konstatovat, že snížení teploty vlivem zapnutí posuvných ventilátorů v místě nejbliž umístěného ventilátoru nelze pozorovat. To je způsobeno blízkostí mezi posuzovaným ventilátorem a požárem.

C.2.5.3 Výška spodní hr. kouřové vrstvy ve vzdál. 10 m od ložiska požáru

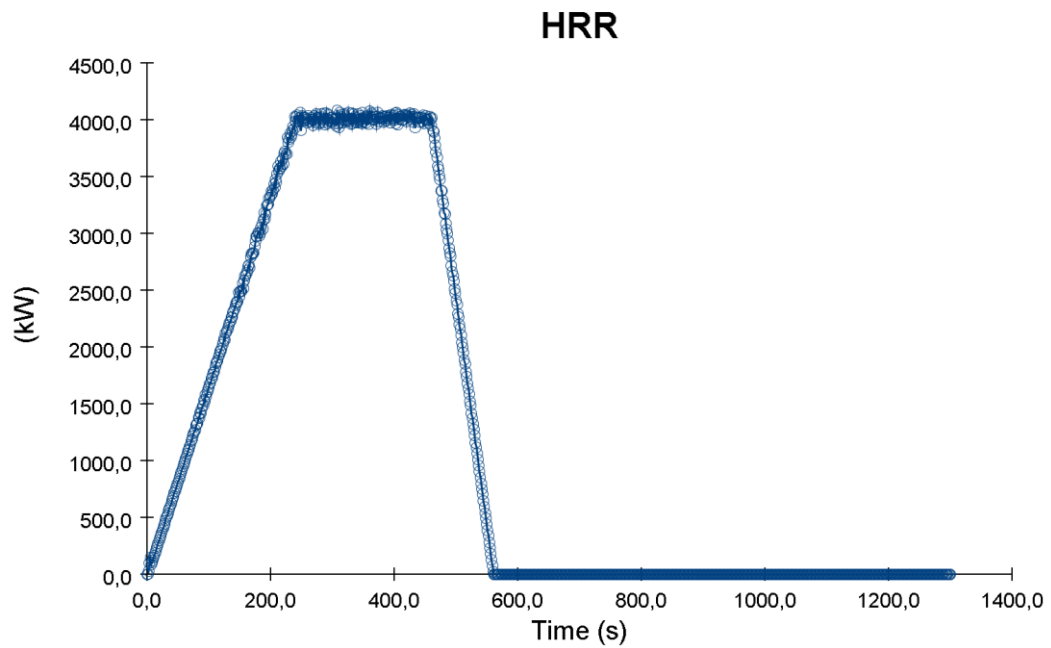


Graf 11 – Vývoj výšky spodní hrany kouřové vrstvy

V tomto grafu je znázorněn vývoj výšky spodní hrany kouřové vrstvy. Místo, po jehož výšce je tento vývoj sledován je vzdálené 10 m od středu požáru. Z grafu je patrný efekt zapnutí odtahových ventilátorů (90 s), kdy se spodní hranice kouřové vrstvy z výšky 0,6 m začne postupně zvyšovat až na hodnotu 1,6 m. Tento jev je ale krátkodobý. Vlivem rozvojové fáze (výkon neustále roste) požáru se tato hodnota časem opět sníží.

Patrný je také moment, kdy dojde k úplnému uhašení požáru (560 s), produkce kouře se zastaví a začne se projevovat efekt požárního větrání. Dle průběhu v grafu výška spodní hranice po uhašení ještě krátkodobě klesne na hodnotu 0,6 m, to je ale způsobeno lokálními turbulentními prouděními. Její rostoucí trend po uhašení je z grafu patrný.

C.2.5.4 Tepelný výkon požáru v závislosti na době (HRR)



Graf 12 – HRR

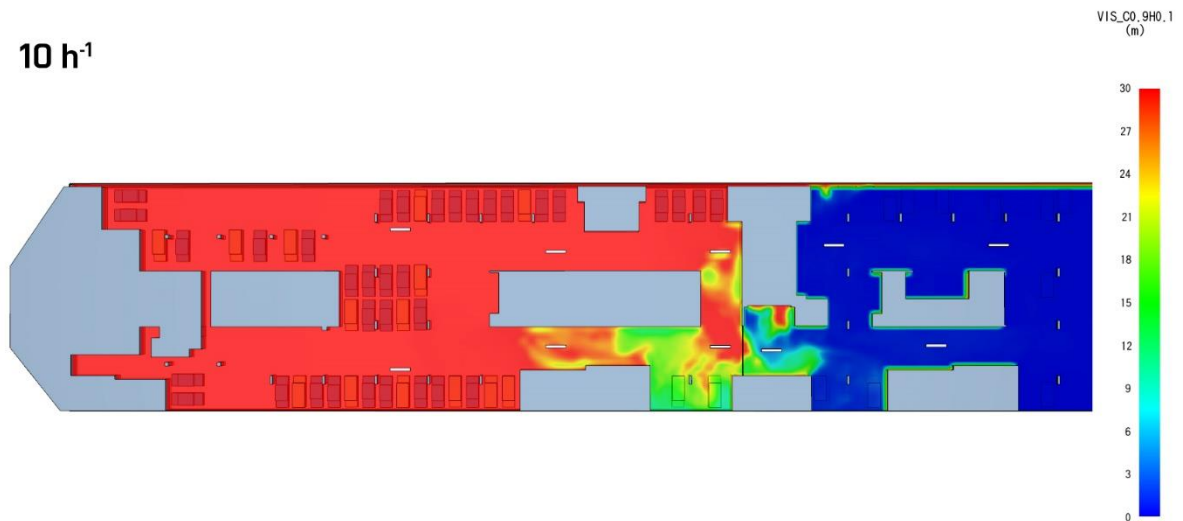
Průběh výkonu požáru v sekci 2 je stejný jako v případě simulace požáru v sekci 1. V čase 0 až 210 s probíhá rozvoj požáru na maximální výkon. V intervalu 240 s a 460 s dosahuje požár maximálního výkonu. Mezi 460 s a 560 s probíhá hašení požáru.

C.2.6 Porovnání scénářů – Sekce 2

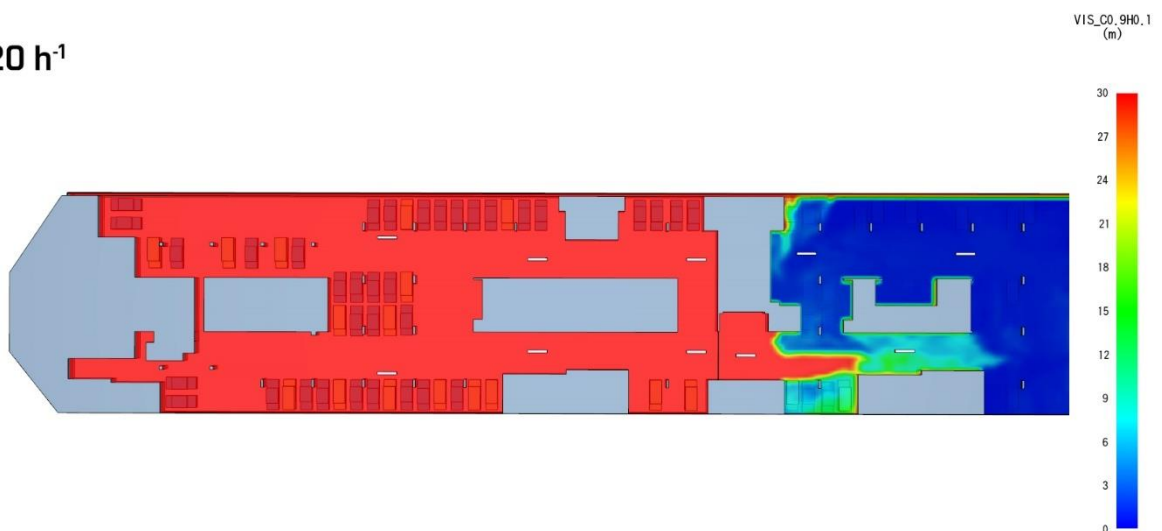
Porovnání jednotlivých scénářů a simulací bylo podrobně rozepsáno pro kouřovou sekci 1. Prostudováním výsledků provedených simulací pro tuto kouřovou sekci byla zjištěna podobná charakteristika a povaha výsledků jako v případě kouřové sekce 1. Z tohoto důvodu není pro tuto sekci porovnání jednotlivých scénářů v této práci podrobně popsáno.

Za zmínku stojí situace, během které u varianty s 10 h^{-1} došlo k rozšíření kouře i do druhé sekce č. 2. Spodní hranice kouřové vrstvy klesla pod hranici vysunutí kouřové zábrany. Použitá škála pro porovnání viditelnosti je v rozsahu 0 až 30 m.

10 h^{-1}



20 h^{-1}



Obrázek 80 – Proniknutí kouře do sousední sekce

Kouř se do druhé sekce dostal v čase 178 s, což je doba, kdy jsou zapnuty pouze odtahové ventilátory. Zcela pronikat přestal v čase 685 s, tedy v době, kdy byl požár již 2 minuty uhašen. Díky kouřové zábraně se do druhé sekce dostalo pouze malé množství kouře. Touto simulací je prokázáno, že návrh kouřových zábran má smysl (zejména pokud je požární větrání navrženo na menší hodnotu než 20 h⁻¹).

Návrh na 10 h⁻¹ je mnohem méně účinný, a použití 20 h⁻¹ je vždy bezpečnějším řešením.

C.2.7 Hodnocení jednotlivých řešení z hlediska doby odvětrání

Přehled provedených simulací			
Název		Lokalita požáru	HODNOCENÍ v časovém kroku 1160 s (10 minut od uhašení)
Scénář 1	Návrh bez anglických dvorců	Sekce 1	NEODVĚTRÁNO
		Sekce 2	NEODVĚTRÁNO
Scénář 2	Navrhované řešení	Sekce 1	ODVĚTRÁNO
		Sekce 2	ODVĚTRÁNO
Scénář 3	Vliv Jetů	Sekce 1	ODVĚTRÁNO
		Sekce 2	ODVĚTRÁNO
Scénář 4	Vliv použití 10 h ⁻¹ výměny	Sekce 1	NEODVĚTRÁNO
		Sekce 2	NEODVĚTRÁNO
Scénář 5	Vliv obsazenosti garáží	Sekce 1	ODVĚTRÁNO
		Sekce 2	ODVĚTRÁNO

Tabulka 14 – Hodnocení scénářů v čase 1160 s

Přehled provedených simulací			
Název		Lokalita požáru	ÚPLNÉ ODVĚTRÁNÍ
Scénář 1	Návrh bez anglických dvorců	Sekce 1	NEODVĚTRÁNO ani v čase 1100 s
		Sekce 2	NEODVĚTRÁNO ani v čase 1100 s
Scénář 2	Navrhované řešení	Sekce 1	ODVĚTRÁNO V ČASE 1100 s
		Sekce 2	TÉMĚŘ ODVĚTRÁNO V ČASE 1160 s
Scénář 3	Vliv Jetů	Sekce 1	ODVĚTRÁNO V ČASE 1200 s
		Sekce 2	TÉMĚŘ ODVĚTRÁNO V ČASE 1200 s
Scénář 4	Vliv použití 10 h ⁻¹ výměny	Sekce 1	NEODVĚTRÁNO ani v čase 1300 s
		Sekce 2	NEODVĚTRÁNO ani v čase 1300 s
Scénář 5	Vliv obsazenosti garáží	Sekce 1	ODVĚTRÁNO V ČASE 1100 s
		Sekce 2	TÉMĚŘ ODVĚTRÁNO V ČASE 1160 s

Tabulka 15 – Hodnocení scénářů z hlediska doby potřebné pro odvětrání

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout provozní a požární systém větrání podzemních garáží. Projekt byl navržen ve dvou technických variantách s výkresovou částí zpracovanou pro potřeby stavebního povolení. První varianta používá posuvné impulzní ventilátory Colt VeJe 415 T, druhá pak indukční ventilátory Colt Cyclone 300 S2 a Cyclone 250 S2. Technické zprávy pro obě řešení jsou v příloze této práce.

Obě navržené varianty splní požadavek na odvětrání prostoru do 10 minut od uhašení požáru, a také požadavek na maximální rychlost proudění vzduchu 5 m/s v prostoru garáží a zejména v oblasti vjezdové/výjezdové rampy, která slouží jako jedna z únikových cest. Při požáru tedy nedojde k překročení této rychlosti, která by mohla negativně ovlivnit evakuaci osob. Simulace rovněž ověřily předpokládaný směr pohybu vzduchu (kouře) k odtahovým šachtám v každé kouřové sekci.

Nejvyšší dosažená teplota na nejbližším posuvném ventilátoru (vůči ohnisku požáru) v kouřové sekci 1 je 128 °C. Na nejbližším ventilátoru v sekci 2 je nejvyšší teplota 156 °C. Navržené posuvné ventilátory Colt VeJe 415 T s certifikací na požární odolnost F300/120 (120 minut provozu při teplotě 300 °C) v těchto konkrétních podmínkách vyhovují.

Díky provedeným simulacím je dostatečně poukázáno na význam použití CFD analýzy při návrhu a optimalizaci systémů požárního odvětrání (ZOTK), zvláště u složitých vnitřních dispozic.

Také byl prokázán hlavní účinek posuvných ventilátorů, čímž je snížení teplot v prostoru, ke kterému dojde díky promísení vzduchu po výšce. Lokální místa s nižší teplotou se v případě použití JETů omezí, ale teplo produkované požárem se lépe rozprostře v rámci celého prostoru, čímž dojde ke snížení tepelného namáhání stavebních konstrukcí, hlavně v místech lokálních teplotních extrémů.

Dalším důležitým závěrem je poukázání vlivu množství větracího vzduchu při požáru, který vyplývá z porovnání simulací s 10 h⁻¹ a 20 h⁻¹ výměnou. S vyšším objemovým průtokem dojde jednak k rychlejšímu odvětrání prostoru, a zároveň ke snížení teplot v místech, kde je tento průtok nejvyšší a dochází k největšímu odvodu tepla.

Velmi důležité bylo při vytváření výpočetního modelu rozdělit výpočetní síť na více částí, čímž došlo k rovnoměrnějšímu rozložení výpočetní zátěže mezi jednotlivá jádra procesoru počítače. To vedlo k urychlení doby výpočtu u každé ze simulací.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *MODELOVÁNÍ TURBULENTNÍHO PROUDĚNÍ* [online]. Praha, 2013, 2013(4) [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <http://chps.fsid.cvut.cz/pt/2013/pdf/3509.pdf>. ČVUT.
2. JÍCHA, Miroslav. *Přenos tepla a látky*. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2029-4.
3. PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6.
4. ING. ADAMOVSÝ, PH.D., Daniel. Technická zařízení za požáru [online]. In: . [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tzb/prednasky/125tzb-09.pdf>
5. Větrání garáží (3. část). *TZB-info* [online]. [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/12303-vetrani-garazi-3-cast>
6. PROF. ING. DRKAL, CSC., František. Větrání podzemních garáží. In: *Časopis VVI*. 56 až 72. ISSN 1210-1389.
7. *VDI 2053: Raumlufttechnische Anlagen für Garagen* [online]. [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <http://axel-zenger.de/projekte/vdi2053.htm>
8. *Odvětrání garáží a krytých parkovišť - Colt CZ* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.coltinfo.cz/adiabaticke-chlazení-odparováním-projektování-vetrání-průmyslových-hal-klimatizace-odvetrání-krytých-parkovišť-a-garazi.htm>
9. Ing. Gebauer, CSc., Ing. Rubinová Ph.D. a Ing. Horká. Požární ochrana ve vzduchotechnice. *TZB-info* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/3335-pozarni-ochrana-ve-vzduchotechnice>
10. *Electronic visualization laboratory: Interactive Exploration of Stress Tensors Used in Computational Turbulent Combustion* [online]. [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.evl.uic.edu/entry.php?id=2202>
11. *Simscale: Turbulence: Which Model Should I Select for My CFD Analysis?* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.simscale.com/blog/2017/12/turbulence-cfd-analysis/>
12. *Thunderhead Engineering: Modeling Jet Fans, Part 1: Background and Convergence Study* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.thunderheadeng.com/2015/02/modeling-jet-fans-part-1/>

13. ING. TOMAN, Stanislav. *TZB-info: Požární větrání chráněných únikových cest, navrhování a některé problémy* [online]. [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/7575-pozarni-vetrani-chranenych-unikovych-cest-navrhovani-a-nektere-problemy>
14. *Research Gate: Numerical study of Carbon Monoxide using Periodic Reversible Supply Exhaust Ventilation in Car Park* [online]. [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/305730536_Numerical_study_of_Carbon_Monoxide_using_Periodic_Reversible_Supply_Exhaust_Ventilation_in_Car_Park
15. *Jetstream - Colt CZ: Jetstream axiální impulsní ventilátor* [online]. [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.coltinfo.cz/adiabaticke-chlazení-jednotky-vetrani-vetrani-prumyslovych-hal-impulsni-ventilator-rizeni-vzduchu-garaze-jetstream.html>
16. *Cyclone - Colt CZ: Cyclone – indukční ventilátor pro větrání garáží* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.coltinfo.cz/adiabaticke-chlazení-vyrobky-aerace-vetrani-prumyslovych-hal-indukcni-ventilator-odvetrani-garazi-cyclone.html>
17. *Archiproducts: Serrande e griglie avvolgibili TGT Hörmann* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://www.archiproducts.com/it/notizie/serrande-e-griglie-avvolgibili-tgt-hormann_57289
18. *Thunderhead Engineering: Modeling Jet Fans, Part 3: Car Park Simulation* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.thunderheadeng.com/2016/04/modeling-jet-fans-part-3-updated/>

Dalším zdrojem pro vypracování práce byly normy uvedené v technické zprávě (PŘÍLOHA Č. 1)

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Značka	Jednotka	Definice
AC	[-]	Alternating current
BS	[-]	British Standard
c	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita
C ₆ H ₆	[-]	Benzen
CFD	[-]	Computational fluid dynamics
CNG	[-]	Compressed Natural Gas
CO	[-]	Oxid uhelnatý
COHb	[-]	Karboxylhemoglobin
DHZ	[-]	Doplňkové hasící zařízení
DNS	[-]	Direct Numerical Simulation
EPS	[-]	Elektrická požární signalizace
f	[h ⁻¹]	Frekvence výměny vozidel
FDS	[-]	Fire dynamics simulator
F _o	[m ^{1/2}]	Parametr odvětrání
GUI	[-]	Graphical user interface
h	[m]	Výška
H ₂	[-]	Vodík
HRR	[]	Heat release rate
h _v	[m]	Výška akumulční vrstvy
HZS	[-]	Hasičský záchranný sbor
CHÚC	[-]	Chráněná úniková cesta
I	[h ⁻¹]	Intenzita větrání (násobná výměna)
JET	[-]	Jet Thrust Stoichiometric
JPO	[-]	Jednotka požární ochrany
k	[mm]	Absolutní drsnost
k	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Součinitel tepelné vodivosti
L	[m]	Délka trasy mezi stanicí HZS a hořícím objektem
LES	[-]	Large Eddy Simulation
Lp(A)	[dB(A)]	Hladina akustického tlaku
LPG	[-]	Liquified Petroleum Gas
MaR	[-]	Měření a regulace
NO _x	[-]	Oxidy dusíku
O	[m ³]	Objem vnitřního prostoru
ÖNORM	[-]	Österreichische Norm
OTK	[-]	Odvod tepla a kouře
p	[Pa]	Tlaková ztráta
P	[-]	Počet stání pro vozidla v úseku
PBŘ	[-]	Požárně bezpečnostní řešení
PEL	[ppm]	Přípustný expoziční limit
ppm	[-]	Parts per million
Q nebo V	[m ³ /h]	Průtok vzduchu
RANS	[-]	Reynolds Averaged Navier-Stokes
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
RPM	[-]	Revolutions per minute
S	[m ²]	Plocha
SHZ	[-]	Stabilní hasící zařízení

SOZ	[-]	Samočinné odvětrávací zařízení
SW	[-]	Software
t _{do}	[s]	Čas dojezdů požárních jednotek
TMPA	[-]	Okolní teplota, teplota všech prvků na začátku simulace
t _v	[min]	Doba výjezdu jednotky PO
v	[m ² /s]	Kinematická viskozita
V _{co}	[m ³ /h]	Celková objemová emise
VDI	[-]	Verein Deutscher Ingenieure
VJ	[km/h]	Průměrná rychlost jízdy požárních automobilů
VZT	[-]	Vzduchotechnika
w	[km/h]	Rychlost jízdy; Rychlost proudění vzduchu
ZOTK	[-]	Zařízení pro odvod tepla a kouře
α	[m ² /s]	Součinitel teplotní vodivosti
λ	[-]	Třecí součinitel
ξ	[-]	Součinitel vřazených odporů
ρ	[kg/m ³]	Hustota

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – DNS (vlevo), LES (uprostřed), RANS (vpravo) [10]	15
Obrázek 2 – Možnosti řešících modelů podle měřítka vírů v modelu [11].....	16
Obrázek 3 – Princip metod modelování turbulence [1]	16
Obrázek 4 – Energetické spektrum turb. vírů pro modely RANS, LES a DNS [1]	16
Obrázek 5 – Koncentrace COHb v závislosti na čase [6]	25
Obrázek 6 – Teorie působení Jet ventilátorů [14]	29
Obrázek 7 – Impulzní posuvný ventilátor (JET) [15]	30
Obrázek 8 – Bokorys a nárys impulzního ventilátoru [15]	30
Obrázek 9 – Indukční posuvný ventilátor [16]	32
Obrázek 10 – Umístění indukčního ventilátoru pod stropem [16].....	32
Obrázek 11 – Rolovací mříž [17]	36
Obrázek 12 – Větrací sekce provozního větrání.....	45
Obrázek 13 – Technická specifikace provozního odtah. ventilátoru	47
Obrázek 14 – Technická specifikace provozního odtah. ventilátoru	48
Obrázek 15 – Rozměry provozního odtah. ventilátoru	49
Obrázek 16 – Kouřové sekce	58
Obrázek 17 – Schematický řez kouř. zástěny	60
Obrázek 18 – Spuštěná kouřová zástěna.....	60
Obrázek 19 – Umístění kouřové zástěny v půdorysu.....	60
Obrázek 20 – Přívod a odvod vzduchu.....	63
Obrázek 21 – Technická specifikace požárního odtah. ventilátoru	68
Obrázek 22 – Technická specifikace a rozměry požárního odtah. ventilátoru	69
Obrázek 23 – Technická specifikace požárního odtah. ventilátoru	70
Obrázek 24 – Technická specifikace požárního odtah. ventilátoru	71
Obrázek 25 – Rozměry požárního odtah. ventilátoru.....	72
Obrázek 26 – Technická specifikace požárního impulzního ventilátoru [15]	73
Obrázek 27 – Rozměry požárního impulzního ventilátoru [15]	74
Obrázek 28 – Umístění požárního impulzního ventilátoru pod stropem [15].....	74
Obrázek 29 – Technická specifikace požárního impulzního ventilátoru [15]	75
Obrázek 30 – Technická specifikace požárního indukčního ventilátoru [16]	76
Obrázek 31 – Technická specifikace požárního indukčního ventilátoru [16]	77
Obrázek 32 – Rozměry požárního indukčního ventilátoru [16]	78
Obrázek 33 – Technická specifikace požárního indukčního ventilátoru [16]	79
Obrázek 34 – Technická specifikace požárního indukčního ventilátoru [16]	80
Obrázek 35 – Rozměry požárního indukčního ventilátoru [16]	81
Obrázek 36 – Rozdělení výpočetní sítě	85
Obrázek 37 – Křivka HRR [prCEN TS 12101-11]	88
Obrázek 38 – Geometrie modelovaného požáru.....	89
Obrázek 39 – Mapa trasy JPO.....	91
Obrázek 40 – Posuvný ventilátor v modelu	93
Obrázek 41 – Odtahové šachty v modelu	94
Obrázek 42 – Přívodní otvory v modelu.....	94
Obrázek 43 – Automobily v modelu	95
Obrázek 44 – Lokalita požárů.....	97
Obrázek 45 – Umístění nejbližšího pos. ventilátoru	104
Obrázek 46 – Umístění nejbližšího pos. ventilátoru	104
Obrázek 47 – Umístění prvku pro sledování výšky kouř. vrstvy	105

Obrázek 48 – Umístění prvku pro sledování výšky kouř. vrstvy	105
Obrázek 49	107
Obrázek 50	108
Obrázek 51	109
Obrázek 52	110
Obrázek 53	111
Obrázek 54	112
Obrázek 55	113
Obrázek 56 – Výskyt kouře v prostoru	115
Obrázek 57 – Rychlost vzduchu ve výšce 1,75 m	116
Obrázek 58 – Rychlost vzduchu ve výšce 2,5 m	116
Obrázek 59	122
Obrázek 60	123
Obrázek 61	124
Obrázek 62	125
Obrázek 63	126
Obrázek 64	127
Obrázek 65	128
Obrázek 66	129
Obrázek 67	134
Obrázek 68	135
Obrázek 69	137
Obrázek 70	139
Obrázek 71	140
Obrázek 72	141
Obrázek 73	142
Obrázek 74	143
Obrázek 75	144
Obrázek 76	145
Obrázek 77 – Rychlost vzduchu ve výšce 1,75 m	148
Obrázek 78 – Rychlost vzduchu ve výšce 2,5 m	148
Obrázek 79 – Lokální maximum rychlosti vzduchu	149
Obrázek 80 – Proniknutí kouře do sousední sekce	154

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Koncentrace COHb v krvi [6].....	26
Tabulka 2 – Tlakové ztráty třením provozních šachet	43
Tabulka 3 – Tlaková ztráta šachty 1 a 2.....	44
Tabulka 4 – Tlaková ztráta šachty 3.....	44
Tabulka 5 – Tlaková ztráta šachty 6 a 7.....	66
Tabulka 6 – Tlaková ztráta šachty 4 a 5.....	66
Tabulka 7 – Tlakové ztráty třením požárních šachet.....	66
Tabulka 8 – Návrhové parametry požáru dle BS 7346-7:2013.....	87
Tabulka 9 – Návrhové parametry požáru dle ČSN P CEN/TR 12 101-5)	87
Tabulka 10 – Návrhové parametry požáru dle prCEN TS 12101-11	87
Tabulka 11 – Polyurethane GM27.....	90
Tabulka 12 – Časová osa.....	92
Tabulka 13 – Přehled provedených simulací	102
Tabulka 14 – Hodnocení scénářů v čase 1160 s.....	155
Tabulka 15 – Hodnocení scénářů z hlediska doby potřebné pro odvětrání.....	155

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Vývoj teploty nad středem požáru, výška 2,75 m	118
Graf 2 – Vývoj teploty na nejbližším posuv. ventilátoru, výška 2,5 m.....	119
Graf 3 – Vývoj výšky spodní hrany kouřové vrstvy.....	120
Graf 4 – HRR	121
Graf 5 – Vývoj teploty.....	131
Graf 6 – Vývoj teploty.....	131
Graf 7 – Vývoj teploty.....	132
Graf 8 – Vývoj teploty.....	132
Graf 9 – Vývoj teploty.....	150
Graf 10 – Vývoj teploty.....	151
Graf 11 – Vývoj výšky spodní hrany kouřové vrstvy	152
Graf 12 – HRR.....	153

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHY

Příloha č. 1 – Technická zpráva – Varianta s impulzními ventilátory

VÝKRESY

Výkres č. 1 – Půdorys 1.PP – Požární a provozní větrání – impulzní vent. M 1:100

Výkres č. 2 – Půdorys 1.PP – Požární a provozní větrání – indukční vent. M 1:100

Výkres č. 3 – Řezy provozních a požárních šachet M 1:50

PŘÍLOHA Č. 1

Varianta s impulzními ventilátory

TECHNICKÁ ZPRÁVA

OBSAH	
1. ÚVOD	2
2. SEZNAM ZAŘÍZENÍ OTK A VZT	2
3. TECHNICKÝ POPIS ZAŘÍZENÍ	3
3.1 Zařízení č. 1: Provozní odvětrání sekce 1	3
3.1.1 Vstupní parametry	3
3.1.2 Technický popis	3
3.1.3 Nezbytně nutné větrání	3
3.1.4 Úpravy vzduchu	3
3.1.5 Rozvody vzduchu	3
3.2 Zařízení č. 2: Požární odvětrání sekce 1	4
3.2.1 Vstupní parametry	4
3.2.2 Technický popis	4
3.2.3 Nezbytně nutné větrání	4
3.2.4 Úpravy vzduchu	4
3.2.5 Rozvody vzduchu	4
3.3 Zařízení č. 3: Provozní odvětrání sekce 2	5
3.3.1 Vstupní parametry	5
3.3.2 Technický popis	5
3.3.3 Nezbytně nutné větrání	5
3.3.4 Úpravy vzduchu	5
3.3.5 Rozvody vzduchu	5
3.4 Zařízení č. 4: Požární odvětrání sekce 2	6
3.4.1 Vstupní parametry	6
3.4.2 Technický popis	6
3.4.3 Nezbytně nutné větrání	6
3.4.4 Úpravy vzduchu	6
3.4.5 Rozvody vzduchu	6
3.5 Zařízení č. 5: Oddělení kouřových sekcí	7
3.5.1 Technický popis	7
3.5.2 Aktivace	7
4. POŽÁRNÍ OPATŘENÍ	7
5. PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ	7
6. EKOLOGIE	7
7. POŽADAVKY NA OSTATNÍ PROFESE	8
7.1 Elektro/MaR	8
7.2 Stavba	8
8. MONTÁŽ, OBSLUHA A ÚDRŽBA	9
9. BEZPEČNOST PRÁCE	9

1. ÚVOD

Projekt v části nuceného provozního a požárního větrání (ZOTK) prostoru podzemních garáží administrativní budovy v Liberci. Výchozí parametry pro návrh zařízení byly převzaty od zpracovatele stavební části.

Projektová dokumentace byla zpracována v souladu s příslušnými normami platnými v České republice.

Provozní i požární větrání podzemních garáží je navrženo nuceně, podtlakově.

Výchozí podklady a údaje

Stavebně dispoziční návrh řešení objektu. Upřesnění a konzultace s investorem a zpracovatelem stavební části. Platné vyhlášky a normy

Technické normy

Při vypracování návrhu části provozního a požárního větrání bylo použito následujících předpisů, technických norem a projekčních podkladů:

- Nařízení vlády 361/2007 Sb. O ochraně zdraví zaměstnanců při práci (hygienický předpis),
- Nařízení vlády 272/2011 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- ČSN 12 7010 – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení,
- BS 7346-7:2013 – Components for smoke and heat control systems
- prTS 12 101-11 – Smoke and heat control systems, Part 11: Horizontal powered ventilation systems for enclosed carparks
- ČSN 73 6058 – ČSN 73 6058 Jednotlivé, řadové a hromadné garáže
- ČSN 73 0872 – Ochrana staveb proti šíření požáru VZT zařízení,
- ČSN 73 0802 – Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty,
- ČSN EN 13779 – Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klim. zařízení,
- Nařízení komise (EU) č. 1253/2014 kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na Ekodesign 2018 větracích jednotek
- Technické podklady výrobců VZT zařízení.

2. SEZNAM ZAŘÍZENÍ OTK A VZT

Zařízení č. 1: Provozní odvětrání sekce 1

Zařízení č. 2: Provozní odvětrání sekce 2

Zařízení č. 3: Požární odvětrání sekce 1

Zařízení č. 4: Požární odvětrání sekce 2

Zařízení č. 5: Oddělení kouřových sekcí

3. TECHNICKÝ POPIS ZAŘÍZENÍ

3.1 Zařízení č. 1: Provozní odvětrání sekce 1

3.1.1 Vstupní parametry

- Násobná výměna vzduchu	n	= 0,5 h ⁻¹
- Teplota exteriéru	t _e	= 20 °C

3.1.2 Technický popis

Větrání sekce 1 je řešeno podtlakově pomocí dvou ventilátorů. Úhrada odvedeného vzduchu bude přes vjezdovou rampu.

3.1.3 Nezbytně nutné větrání

Odtahové ventilátory budou ve stálém provozu. V případě detekce nadměrné koncentrace CO (nad 50 ppm) se zapnou i posuvné ventilátory do prvního výkonnostního stupně. Po snížení koncentrace pod požadovaný limit se posuvné ventilátory vypnou.

V prostoru je zajištěna 0,5 h⁻¹ výměna vzduchu.

$$\text{Odvod} \Rightarrow 1,1018 \text{ m}^3/\text{s}$$

Jsou splněny hygienické limity.

3.1.4 Úpravy vzduchu

Jsou navrženy dva axiální odtahové ventilátory SODECA THT-31-2T/PL a 6 posuvných impulzních ventilátorů COLT VeJe Jetstream 415 T.

Distribuce vzduchu – Odvod vzduchu je zajištěn dvěma axiálními ventilátory, v případě potřeby se sepnou posuvné impulzní ventilátory do prvního výkonnostního stupně pro snížení koncentrace CO.

3.1.5 Rozvody vzduchu

a) Přívod – přívod vzduchu do objektu přirozeně přes vjezdovou rampu.

b) Odvod – pro odvod vzduchu z kouřové sekce 1 slouží 2 ŽB šachty. Odpadní vzduch je odveden do exteriéru přes protidešťovou žaluzii. Sání ŽB šachty je osazeno ocelovým sítem s pozink. úpravou.

3.2 Zařízení č. 2: Požární odvětrání sekce 1

3.2.1 Vstupní parametry

- Násobná výměna vzduchu	n	= 20 h ⁻¹
- Teplota odváděného vzduchu	t _o	= 50 °C

3.2.2 Technický popis

Požární větrání kouřové sekce 1 je řešeno podtlakově pomocí dvou axiálních ventilátorů a soustavy posuvných impulzních ventilátorů. Úhrada odvedeného vzduchu bude přes vjezdovou rampu a dva anglické dvorce.

3.2.3 Nezbytně nutné větrání

Odtahové ventilátory se spustí se zpožděním 90 s po detekci a vyhlášení požárního poplachu. Posuvné impulzní ventilátory se spustí se zpožděním 210 s do druhého výkonnostního stupně. V prostoru je zajištěna 20 h⁻¹ výměna vzduchu.

Odvod => 34,8 m³/s

Splněn požadavek odvětrání prostoru do 10 minut od uhašení požáru.

3.2.4 Úpravy vzduchu

Jsou navrženy dva axiální odtahové ventilátory SODECA THT-125-6T/6-15-F-400 a 6 posuvných impulzních ventilátorů COLT VeJe Jetstream 415 T.

Distribuce vzduchu – Odvod vzduchu je zajištěn dvěma axiálními ventilátory, spolu se systémem posuvných impulzních ventilátorů zapnutých na druhý výkonnostní stupeň.

3.2.5 Rozvody vzduchu

a) Přívod – přívod vzduchu do objektu přirozeně přes vjezdovou rampu a dva anglické dvorce.

b) Odvod – pro odvod vzduchu z kouřové sekce 1 slouží 2 ŽB šachty. Odpadní vzduch je odveden do exteriéru přes žaluziovou krycí klapku EUROCO se servopohonem, která je napojena na EPS. Sání ŽB šachty je osazeno ocelovým sítem s pozink. úpravou.

3.3 Zařízení č. 3: Provozní odvětrání sekce 2

3.3.1 Vstupní parametry

- Násobná výměna vzduchu	n	= 0,5 h ⁻¹
- Teplota exteriéru	t _e	= 20 °C

3.3.2 Technický popis

Větrání sekce 2 je řešeno podtlakově pomocí axiálního ventilátoru. Úhrada odvedeného vzduchu bude přes vjezdovou rampu.

3.3.3 Nezbytně nutné větrání

Odtahový ventilátor bude ve stálém provozu. V případě detekce nadměrné koncentrace CO (nad 50 ppm) se zapnou i posuvné ventilátory do prvního výkonnostního stupně. Po snížení koncentrace pod požadovaný limit se posuvné ventilátory vypnou.

V prostoru je zajištěna 0,5 h⁻¹ výměna vzduchu.

Odvod => 0,5593 m³/s

Jsou splněny hygienické limity.

3.3.4 Úpravy vzduchu

Je navržen axiální odtahový ventilátor SODECA THT-31-2T/PL a 4 posuvné impulzní ventilátory COLT VeJe Jetstream 415 T.

Distribuce vzduchu – Odvod vzduchu je zajištěn axiálním ventilátorem, v případě potřeby se sepnou posuvné impulzní ventilátory do prvního výkonnostního stupně pro snížení koncentrace CO.

3.3.5 Rozvody vzduchu

a) Přívod – přívod vzduchu do objektu přirozeně přes vjezdovou rampu.

b) Odvod – pro odvod vzduchu ze sekce 2 slouží ŽB šachta. Odpadní vzduch je odveden do exteriéru přes protidešťovou žaluzii. Sání ŽB šachty je osazeno ocelovým sítem s pozink. úpravou.

3.4 Zařízení č. 4: Požární odvětrání sekce 2

3.4.1 Vstupní parametry

- Násobná výměna vzduchu	n	= 20 h ⁻¹
- Teplota odváděného vzduchu	t _o	= 50 °C

3.4.2 Technický popis

Požární větrání kouřové sekce 1 je řešeno podtlakově pomocí dvou axiálních ventilátorů a soustavy posuvných impulzních ventilátorů. Úhrada odvedeného vzduchu bude přes vjezdovou rampu a dva anglické dvorce.

3.4.3 Nezbytně nutné větrání

Odtahové ventilátory se spustí se zpožděním 90 s po detekci a vyhlášení požárního poplachu. Posuvné impulzní ventilátory se spustí se zpožděním 210 s do druhého výkonnostního stupně. V prostoru je zajištěna 20 h⁻¹ výměna vzduchu.

$$\text{Odvod} \Rightarrow 21,46 \text{ m}^3/\text{s}$$

Splněn požadavek odvětrání prostoru do 10 minut od uhašení požáru.

3.4.4 Úpravy vzduchu

Jsou navrženy dva axiální odtahové ventilátory SODECA THT-100-4T-10-F-400 a 4 posuvné impulzní ventilátory COLT VeJe Jetstream 415 T.

Distribuce vzduchu – Odvod vzduchu je zajištěn dvěma axiálními ventilátory, spolu se systémem posuvných impulzních ventilátorů zapnutých na druhý výkonnostní stupeň.

3.4.5 Rozvody vzduchu

a) Přívod – přívod vzduchu do objektu přirozeně přes vjezdovou rampu a dva anglické dvorce.

b) Odvod – pro odvod vzduchu z kouřové sekce 2 slouží 2 ŽB šachty. Odpadní vzduch je odveden do exteriéru přes žaluziovou krycí klapku EUROCO se servopohonem, která je napojena na EPS. Sání ŽB šachty je osazeno ocelovým sítem s pozink. úpravou.

3.5 Zařízení č. 5: Oddělení kouřových sekcí

3.5.1 Technický popis

Oddělení kouřových sekcí je řešeno automatickou kouřovou zábranou Smokemaster SM5.

3.5.2 Aktivace

Kouřová zábrana bude v běžném režimu zasunuta. V případě detekce požáru v jedné z kouřových sekcí dojde k automatickému spuštění do stanovené výšky.

4. POŽÁRNÍ OPATŘENÍ

Projektová dokumentace je navržena v souladu s platnou legislativou a příslušnými technickými normami, převážně dle normy ČSN 73 0872 - Ochrana staveb proti šíření požáru VZT zařízení. Jsou navržena tato opatření:

- Zařízení VZT bude chráněno před působením statické elektřiny v souladu s ČSN.
- Otvory pro výfuk vzduchu budou provedeny dle ČSN 73 0872.

V případě požáru dojde k vypnutí systémů provozního větrání. V provozu budou pouze systémy požárního větrání.

V případě změn dokumentace před realizací (např. dispozic ve stavební části) je nutno provést posouzení stávajících řešení požárních opatření a v případě potřeby provést potřebné změny dokumentace, tak aby bylo vyhověno požadavkům požární bezpečnosti.

5. PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ

Z důvodu zajištění a splnění požadavků na ochranu proti šíření hluku od ventilátorů jsou v PD navrženy následující opatření:

- Zařízení, které jsou zdrojem vibrací (ventilátory) budou osazeny na výměny v šachtách pomocí pružných spojek nebo jiných pružných/ohebných prvků.
- Navržená zařízení byla vybrána s ohledem na jejich akustické parametry, byly vybrány ventilátory s nízkým akustickým výkonem.

6. EKOLOGIE

Odpadní vzduch, odváděný vzduchotechnickým zařízením do volné atmosféry neobsahuje látky, které by ohrožovaly ovzduší ve smyslu „Zákona o ovzduší“, a nejsou prováděna žádná mimořádná opatření.

7. POŽADAVKY NA OSTATNÍ PROFESE

7.1 Elektro/MaR

Obecné:

- Provedení uzemnění veškerého zařízení v souladu s ČSN, kabeláž včetně uzemnění.

Zařízení č. 1:

- Silové napájení odtahového ventilátoru, 230/400 V-50 Hz, max 170 W.
- 6x silové napájení VeJe Jetstream 415 T 400/690 V-50 Hz, max 1,5 kW.
- Spouštění posuvných ventilátorů na 2. výkonnostní stupeň při překročení 50 ppm dokud hodnota koncentrace CO neklesne pod 50 ppm.

Zařízení č. 2:

- 2x silové napájení odtahových ventilátorů, 400/690 V-50 Hz, max 10,15 kW.
- 2x silové napájení servopohonu SFA 230 V/60 Hz, 7 W.
- Spouštění 1. odtahového ventilátorů po 90 s, 2. po 100 s po detekci požáru a otevření klapek při detekci požáru.

Zařízení č. 3:

- 2x silové napájení odtahových ventilátorů, 230/400 V-50 Hz, max 160 W.
- 4x silové napájení VeJe Jetstream 415 T 400/690 V-50 Hz, max 1,5 kW.
- Spouštění posuvných ventilátorů na 2. výkonnostní stupeň při překročení 50 ppm dokud hodnota koncentrace CO neklesne pod 50 ppm.

Zařízení č. 4:

- 2x silové napájení odtahových ventilátorů, 400/690 V-50 Hz, max 7,31 kW.
- 2x silové napájení servopohonu SFA 230 V/60 Hz, 7 W.
- Spouštění 1. odtahového ventilátorů po 90 s, 2. po 100 s po detekci požáru a otevření klapek při detekci požáru.

Zařízení č. 5:

- 1x silové napájení servopohonu D version 230 V/50 Hz, 126 W.
- Okamžité spouštění do požadované výšky při detekci požáru.

7.2 Stavba

- Zajištění vyhotovení větracích šachet dle výkresové dokumentace hrubé stavby.
- Požadavek na dodávku výměn pro uchycení odtahových ventilátorů v prostorách šachet.

8. MONTÁŽ, OBSLUHA A ÚDRŽBA

Montáž vzduchotechniky a prvků ZOKT musí provádět odborná firma, při dodržení pokynů uvedených v montážních návodech. Po namontování a odzkoušení zařízení bude vyhotoven předávací protokol.

Pro obsluhu zařízení bude vyhotoven Provozní řád.

9. BEZPEČNOST PRÁCE

Jedná se o stavbu, která svým charakterem nebude při realizaci zdrojem ohrožení zdraví a bezpečnosti pracovníků.

Povinností vedoucích pracovníků je proškolení všech pracovníků, provádění zápisů do stavebního deníku a průběžná kontrola bezpečnosti práce. Pracoviště musí být řádně osvětleno. Na staveništi musí být kompletně vybavená lékárnička pro poskytnutí první pomoci.

Při realizaci bude dodrženo:

- Zákon 309/2006 Sb., kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy
- Nařízení vlády 591/2006 Sb. o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při pracích na staveništích
- Nařízení vlády 362/2005 Sb. o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky
- Zákon č 262/2006 Sb. (Zák. práce) ve znění pozdějších předpisů