

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra technických zařízení budov



Studijní program: Integrovaná bezpečnost staveb

Diplomová práce

PŘETLAKOVÉ VĚTRÁNÍ CHRÁNĚNÉ ÚNIKOVÉ CESTY

OVERPRESSURE VENTILATION OF PROTECTED ESCAPE ROUTE

Bc. Josef Hajm

vedoucí práce: Ing. Pavla Hofbauer Pechová Ph.D.

2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hajm Jméno: Josef Osobní číslo: 478655
 Zadávající katedra: Katedra technických zařízení budov
 Studijní program: Integrální bezpečnost staveb
 Studijní obor/specializace: Integrální bezpečnost staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Přetlakové větrání chráněné únikové cesty
 Název diplomové práce anglicky: Pressure ventilation of the protected escape route

Pokyny pro vypracování:

V rámci rešerše se zaměřte na požadavky správné funkce přetlakového větrání chráněné únikové cesty (CHÚC). V rámci praktické části a v návaznosti na předdiplom (předmět 124SEM) vytvořte počítačový model v programu FDS zvolené přetlakově větrané chráněné únikové cesty a proveďte simulaci provozu vzduchotechniky. Proveďte novou funkční zkoušku přetlakového větrání v dané CHÚC. Výstupy z počítačového modelu následně porovnejte s naměřenými hodnotami.

Seznam doporučené literatury:

Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, v platném znění
 Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb, v platném znění
 ČSN 73 0802 ed. 2 - Požární bezpečnost staveb - nevýrobní objekty, ÚNMZ, 2023
 Pokorný, J. a S. Toman. Požární větrání - větrání chráněných únikových a zásahových cest, SPBI, 2021.
 Kratochvíl, V., Navarová, Š. a M. Kratochvíl, Stavby a požárně bezpečnostní zařízení, Malá encyklopedie požární bezpečnosti objektů a technologií, MV, GR HZS ČR, 2010.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Pavla Hofbauer Pechová, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 5.10.2023 Termín odevzdání DP v IS KOS: 8.1.2024
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Josef Hajm

Název diplomové práce: Přetlakové větrání chráněné únikové cesty

Základní část: Technická zařízení budov podíl: 100 %

Formulace úkolů: V rámci rešerše se zaměřte na požadavky správné funkce přetlakového větrání chráněné únikové cesty (CHÚC) a na systémy přetlakového větrání CHÚC dle ČSN EN 12 101-6. V rámci praktické části a v návaznosti na předdiplom vytvořte počítačový model v programu FDS zvolené přetlakově větrané chráněné únikové cesty a proveďte simulaci provozu vzduchotechniky. V modelu zohledněte netěsnosti dveří. Výstupy z počítačového modelu následně porovnejte s naměřenými hodnotami. V rámci praktické části proveďte novou funkční zkoušku přetlakového větrání v dané CHÚC. Pro měření rychlosti proudění vzduchu použijte termickou a vrtulkovou sondu. Plus vytvořte vlastní měřicí metodu pomocí zařízení, které umožní zachytit vzduch proudící do CHÚC skrz vyústku po určitou dobu. Vlastní měřicí metodu porovnejte s měřením z roku 2022, které bylo provedeno pomocí trychtýře.

Podpis vedoucího DP: Datum:

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

Nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 8. ledna 2024

.....

Bc. Josef Hajm

Poděkování

Chtěl bych vyjádřit upřímné díky vedoucí mé diplomové práce, Ing. Pavle Hofbauer Pechové, Ph.D., za její cenné rady, vstřícnost při konzultaci a odborné vedení během tvorby této práce. Především za zajištění kalibrovaných měřících zařízení, které byly zapůjčeny Katedrou technických zařízení budov (K125) ČVUT a Státním zdravotním ústavem.

Také bych chtěl vyjádřit vděk por. Ing. Michalu Kratochvílovi (HZS ČR), Bc. Martinovi Andrlému a Bc. Pavlovi Zbožkovi za neocenitelnou pomoc při funkční zkoušce požárního větrání.

Rovněž patří mé díky firmě Thunderhead za velkorysost a poskytnutí licence programu Pyrosim. Tento nástroj byl zásadní pro úspěšné provedení mé práce a rozvoj mého pochopení tématu.

Nemohu zapomenout na podporu a pochopení mé rodiny a blízkých přátel. Jejich nekonečná podpora, trpělivost a povzbuzení byly pro mě stěžejní v průběhu celého studia.

Obsah

Obsah	6
Abstrakt	9
Abstract	10
Seznam použitých symbolů a zkratk	11
1 Úvod	13
1.1 Motivace.....	13
1.2 Cíle práce	13
1.3 Struktura.....	13
2 Současný stav poznání	15
2.1 Požární ochrana staveb.....	15
2.1.1 Pasivní požární ochrana.....	15
2.1.2 Aktivní požární ochrana.....	16
2.2 Obecně – únikové cesty.....	17
2.2.1 Členění únikových cest.....	17
2.2.2 Nechráněné únikové cesty	18
2.2.3 Částečně chráněné únikové cesty	18
2.2.4 Chráněné únikové cesty	18
2.2.5 Chráněná úniková cesta typu A.....	18
2.2.6 Chráněná úniková cesta typu B.....	19
2.2.7 Chráněná úniková cesta typu C.....	19
2.3 Větrání chráněných únikových cest.....	19
2.3.1 Přirozené větrání	20
2.3.2 Nucené větrání.....	22
2.3.3 Kombinované větrání.....	23
2.3.4 Přetlakové větrání.....	23
2.3.5 Přetlakové větrání dle ČSN EN 12 101-6	23
3 Navrhování přetlakového větrání a využití modelace	28
3.1 Návrhový výpočet dle ČSN EN 12101-6.....	29
3.2 Řešení nemožnosti dosažení návrhového rozdílu tlaků dle ČSN EN 12101-6.....	31
3.3 Využití modelování.....	32
4 Výběr CHÚC pro ověření funkčnosti	33
4.1 Projektová dokumentace	33
5 Revize CHÚC	35
5.1 Revize CHÚC – požární uzávěry	35
5.2 Revize CHÚC – střecha	36
5.3 Revize HVAC – 2.PP-13.NP	38
5.3.1 Veřejnosti nepřístupná část potrubí.....	38

5.3.2	Veřejnosti přístupná část potrubí	40
6	Modelování CHÚC	42
6.1	Obecně k modelování.....	42
6.2	Obecně k FDS.....	42
6.3	Model prostoru.....	43
6.4	Model netěsností.....	44
6.5	Model vzduchotechniky	45
7	Vyhodnocení simulace.....	49
8	Příprava před zahájením funkční zkoušky	52
8.1	Způsoby měření rychlosti proudění vzduchu.....	52
8.1.1	Popis jednotlivých měřících zařízení	52
8.2	Revize před funkční zkouškou	56
8.3	Zabezpečení bezpečnosti a neovlivnění zkoušky CHÚC.....	57
9	Funkční zkouška – měření objemových průtoků vzduchu.....	59
9.1	Objemový průtok nasávaného vzduchu	59
9.2	Objemový průtok odváděného vzduchu	60
9.3	Objemový průtok přívodního vzduchu	62
9.3.1	Měření rychlosti proudění vzduchu lopatkovým anemometrem	63
9.3.2	Měření rychlosti proudění vzduchu termickým anemometrem	67
9.3.3	Výpočet objemového průtoku na vyústkách dle rychlosti anemometrů	71
9.3.4	Měření objemového průtoku přes vyústky vlastní metodou.....	72
10	Vyhodnocení funkční zkoušky	74
10.1	Srovnání podmínek zkoušek a měřících zařízení.....	74
10.2	Vyhodnocení zkoušky nasávaného vzduchu.....	74
10.3	Vyhodnocení zkoušky odváděného vzduchu	75
10.4	Vyhodnocení zkoušky přiváděného vzduchu	75
10.4.1	Měření 2023 pomocí vrtulkového a termického anemometru.....	75
10.4.2	Porovnání výsledků měření jednotlivých zkoušek.....	76
10.4.3	Porovnání hodnot měření na vyústkách a validace modelu FDS.....	79
11	Analýza zjištěných závad zjištěných při revizích a návrhy opatření	80
11.1	Vzduchotechnický systém.....	80
11.1.1	Samočinně otvíravý světlík – odvod	80
11.2	Dveřní sestavy.....	81
11.3	Okenní otvory.....	82
11.4	Distribuční prvky – stěnové vyústky	83
12	Závěr	84
	Příloha 1 – Kalibrační list Testo 400 vrtulková sonda.....	87
	Příloha 2 – Kalibrační list Testo 400 termická sonda	89
	Příloha 3 – Kalibrační list Datalogger	91

Příloha 4 – Kalibrační list stopky ruční.....	93
Příloha 5 – výpočet nejistoty měření pomocí přístroje Testo 400	97
Příloha 6 – Skript kódu FDS.....	99
Seznam obrázků	105
Seznam tabulek.....	108
Seznam rovnic	109
Literatura	110

Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je ověření funkčnosti přetlakového větrání v chráněné únikové cestě ve výškové budově v Praze. Diplomová práce navazuje na seminární práci předmětu 124SEM v roce 2023. Byl vypracován CFD model chráněné únikové cesty a způsob jejího větrání. První část této práce je věnovaná základním informacím k chráněným únikovým cestám, dle požárního kodexu a popisu tvorby CFD modelu požárního větrání v programu FDS. Druhá část práce popisuje novou požární zkoušku, která využívá přesnější metody měření. Výsledky zkoušky jsou v závěru práce vyhodnoceny a porovnány s CFD modelem vzduchotechniky a hodnotami z požární zkoušky provedené v roce 2022.

Klíčová slova

Požární bezpečnost staveb; požární větrání; chráněná úniková cesta; přetlakové větrání; schodiště; modelování FDS; modelování CFD; pohyb plynů; simulace; funkční zkouška

Abstract

The subject of this master thesis is to verify the functionality of overpressure ventilation in a protected escape route in a high-rise building in Prague. The diploma thesis is a continuation of the seminar work of the course 124SEM in 2023. A CFD model of the protected escape route and the method of its ventilation was developed. The first part of this thesis is devoted to basic information on protected escape routes, according to the fire code and description of the creation of CFD model of fire ventilation in the FDS program. The second part of the thesis describes a new fire test that uses more accurate measurement methods. The results of the test are evaluated and compared to the CFD model of the ventilation system and the values from the 2022 fire test at the end of the thesis.

Keywords

Fire safety of buildings; fire ventilation; protected escape route; positive pressure ventilation; staircase; FDS modeling; CFD modeling; movement of gases; simulation; functional test

Seznam použitých symbolů a zkratk

Latinské symboly

A_i	m^2	Plocha
A_k	m^2	Volná výtoková plocha
A_{eff}	m^2	Efektivní plocha průřezu
K_{eff}	-	Efektivní ztráty potrubí
K_{minor}	-	Sekční ztráty potrubí
v_x	$m \cdot s^{-1}$	Rychlost proudění vzduchu
v_s	$m \cdot s^{-1}$	Střední rychlost proudění vzduchu
Q_v	$m^3 \cdot h^{-1}$	Objemový průtok vzduchu
k	$10^{-3} m$	Koeficient ztrát třením
u_k	%	Relativní nejistota vnesená kalibrací měřícího zařízení
u_r	%	Dílčí relativní nejistota z rozlišení měřícího zařízení
u_b	%	Nejistota vnesená chybami metody – počet a umístění měřicích bodů
u_n	%	Nejistota vnesená chybami metody – náhodné chyby
U	%	Rozšířená kombinovaná standardní nejistota

Řecké symboly

ξ	-	Koeficient malých dynamických ztrát
-------	---	-------------------------------------

Zkratky

CFD	Computational Fluid Dynamics
FDS	Fire Dynamics Simulator
HVAC	Heating, ventilation and air conditioning (Vytápění, větrání a klimatizace)
CHÚC	Chráněná úniková cesta
ČCHÚC	Částečně chráněná úniková cesta
NÚC	Nechráněná úniková cesta
VZT	Vzduchotechnika
LES	Large Eddy Simulation
OBST	Obstructions

PÚ	Požární úsek
SHZ	Stabilní hasící zařízení
PBŘ	Požárně bezpečnostní řešení
PBS	Požární bezpečnost staveb
ČSN	České technické normy
CHÚC-A	Chráněná úniková cesta typu A
CHÚC-B	Chráněná úniková cesta typu B
CHÚC-C	Chráněná úniková cesta typu C
PBZ	Požárně bezpečnostní zařízení
POP	Požárně otevřená plocha
PNP	Požárně nebezpečný prostor
EPS	Elektrická požární signalizace
BIM	Building Information Modeling
SP	Shromažďovací prostor
VP	Výšková poloha

1 Úvod

1.1 Motivace

Diplomová práce se zabývá problematikou přetlakového větrání únikových cest. V rámci požární bezpečnosti staveb se jedná se o stěžejní opatření pro evakuaci osob.

Nesprávným způsobem řešení únikových cest může dojít k přímému ohrožení zdraví a životů osob vyskytujících se v objektu. Rizika ohrožení osob se dále zvyšují, pokud se jedná o výškové objekty a je aplikován nevhodný návrh únikové cesty.

Dalším aspektem je nesprávné užívání a údržba těchto únikových cest. Nedbalé užívání a nedostatečné údržba chráněných únikových cest může mít za následek rozšíření požáru do požárního úseku samotné chráněné únikové cesty. Může dojít k přímému ohrožení životů s fatálními následky.

1.2 Cíle práce

Hlavním cílem práce je provedení funkční zkoušky přetlakového větrání CHÚC. Pro naplnění hlavního cíle diplomové práce byly stanoveny tyto dílčí cíle:

1. Analýza současného stavu poznání – literární rešerše;
2. Analýza současného stavu posuzované CHÚC;
3. Zaznamenání nedostatků CHÚC v návaznosti na požární kodex;
4. Vyhodnocení možných rizik nepřesného měření vlivem nedostatků CHÚC;
5. Oprava CFD modelu dané CHÚC zhotoveného v rámci předmětu 124SEM roku 2023;
6. Příprava nových vlastních metod měření při funkční zkoušce;
7. Analýza výsledků měření funkční zkoušky s výsledky simulace a výsledky starší funkční zkoušky z roku 2022 [3].

1.3 Struktura

Úvod : Motivace, cíle a struktura práce

Současný stav poznání: Problematika PBS v souvislosti působení na lidské zdraví a způsoby úniku osob z ohroženého objektu.

Výběr CHÚC pro ověření funkčnosti: Výběr konkrétní CHÚC pro vytvoření modelu a provedení nové funkční zkoušky.

Revize CHÚC: Revize stavu CHÚC k datu 27.2.2023.

Modelování CHÚC: Tvorba CFD modelu CHÚC.

Vyhodnocení simulace: Vyhodnocení výsledků CFD modelu CHÚC.

Příprava před zahájením funkční zkoušky: Příprava přístrojů a postupů pro provedení funkční zkoušky požárního větrání.

Funkční zkouška – měření objemových průtoků vzduchu: Popis průběhu ověření funkčnosti požárního větrání a následná analýza výsledků měření.

Vyhodnocení funkční zkoušky: Vyhodnocení výsledků funkční zkoušky požárního větrání a CFD modelu v závislosti na návrh a předešlou funkční zkoušku z roku 2022 [3].

Analýza zjištěných závad zjištěných při revizích a návrhy opatření: Analýza zjištěných závad v CHÚC s návrhem nápravných opatření.

Závěr: Shrnutí problematiky a rekapitulace výsledků ověření funkčnosti přetlakového větrání CHÚC.

Příloha 1 – Kalibrační list Testo 400 vrtulková sonda

Příloha 2 – Kalibrační list Testo 400 termická sonda

Příloha 3 – Kalibrační list Datalogger

Příloha 4 – Kalibrační list stopky ruční

Příloha 5 – výpočet nejistoty měření pomocí přístroje Testo 400

Příloha 6 – Skript kódu FDS

2 Současný stav poznání

2.1 Požární ochrana staveb

Požární ochrana staveb je oblast, která prošla výrazným vývojem v průběhu 20. a 21. století. Vývoj byl motivován zvýšeným povědomím o nebezpečích požárů a snahou minimalizovat jejich dopady na lidské životy, majetek a životní prostředí.

V České republice se při návrhu požární bezpečnosti postupuje podle požárního kodexu. Návrh probíhá v projektové dokumentaci požárně bezpečnostního řešení (PBŘ). Dokumentaci zpracovává autorizovaný technik nebo autorizovaný inženýr pro požární bezpečnost staveb. Při projekci je potřeba obsáhnout celou řadu legislativních komponentů označovanou jako požární kodex. Požární kodex tvoří zákony, podzákonné předpisy (vyhlášky a nařízení vlády), české technické normy a evropské návrhové normy též nazývány jako Eurokódy. [26]

Klíčovými základními kameny požárního kodexu je stavební zákon č. 183/2006 Sb. a zákon o požární ochraně č. 133/1985 Sb., včetně dvou vyhlášek č. 246/2001 Sb. - „o požární prevenci“ a č. 23/2008 Sb. - „o technických podmínkách požární ochrany“ (vše ve znění pozdějších předpisů). Vyhláška 23/2008 Sb. nám mimo jiné pro oblast navrhování požární bezpečnosti staveb definuje, které normy řady ČSN jsou závazné. [26]

České technické normy jsou jedny z celosvětově nejpropracovanějších v praxi dochází i k projekci v zahraničí dle platných norem ČSN. Hlavní rámec ČSN tvoří dvě základní „kmenové normy“, ČSN 73 0802 – „Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty“ a ČSN 73 0804 – „Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty“. Důležité místo v požárním kodexu má norma ČSN 73 0810, „Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení“, která vytváří provázanost mezi evropskými normami a ostatními normami řadou ČSN 73 08xx. Celá řada požárních norem ČSN 73 08xx se třídí na [26]:

- *Normy projektové – stanovující požadavky na projektové řešení*
- *Normy předmětové – stanovující technické podmínky konkrétních technických zařízení*
- *Normy zkušební – stanovující zkušební postupy pro ověřování konkrétních vlastností*
- *Normy klasifikační – stanovující způsob klasifikace výsledných vlastností ověřených podle zkušebních norem*
- *Normy hodnotové – uvádějící hodnoty významných veličin pro opakované použití*

Koncepce požárního kodexu je zaměřená na dva základní pilíře PBS, tedy pasivní a aktivní požární ochranu staveb.

2.1.1 Pasivní požární ochrana

Pasivní požární ochrana je základní schopnost objektu jako celku vzdorovat požáru, popřípadě omezit jeho šíření, a to díky dispozičnímu a konstrukčnímu řešení. Tato ochrana má tedy preventivní charakter. Kvalita pasivní požární ochrany je závislá na vhodném členění stavby do požárních úseků (PÚ), použití vhodných stavebních konstrukcí a vyhovujících výrobků, řešením únikových cest, řešením odstupových vzdáleností apod.

Předpokladem pasivní požární ochrany je vhodné dělení stavby do požárních úseků. Požární úsek je základní posuzovanou jednotkou z hlediska požární bezpečnosti stavebních objektů. Požární úsek je prostor ohraničený od ostatních částí objektu, popřípadě od sousedních objektů, a to požárně dělícími konstrukcemi nebo požárně bezpečnostním zařízením (PBZ).

Požárně dělící konstrukce je stavební konstrukce, která brání šíření požáru mimo PÚ a musí být schopná stanovenou dobu odolávat účinkům požáru. Schopnost konstrukce zvládnout účinky požáru se udává v ČSN jako požární odolnost. Požární odolnost konstrukce se zařazuje do stupnice: 15; 30; 45; 60; 90; 120 a 180 minut. Stavební konstrukce lze do této stupnice zařadit pouze na základě přímé nebo rozšířené aplikace výsledků provedených zkoušek nebo početním určením. Pro klasifikaci požární odolnosti konstrukcí se dle ČSN 73 0810 používají písemné značky, které určují mezní stavy požární odolnosti:

- R – únosnost nebo stabilita
- E – celistvost
- I – teploty na neohřívané straně
- W – hustota tepelného toku na neohřívané straně
- S – prostup zplodin hoření

Příklad:

REI 30 = znamená, že jde o nosnou konstrukci (R), s celistvostí (E), teplotou na neohřívané straně (I), s dobou požární odolnosti 30 minut [13]

2.1.2 Aktivní požární ochrana

Aktivní požární ochrana je systém prvků, který slouží jako prevence a doplňuje pasivní ochranu budovy. Jedná se tedy o systém aktivních prvků, které detekují a samočinně nebo řízeně reagují, likvidují, případně snižují účinek vznikajícího požáru v jeho počáteční iniciační fázi. Těmto aktivním prvkům se říká požárně bezpečnostní zařízení (PBZ).

Druhy PBZ jsou definovány ve vyhlášce o požární prevenci 246/2001 Sb. odst. 4), § 2. Jsou jimi:

- *zařízení pro požární signalizaci (např. elektrická požární signalizace, zařízení dálkového přenosu, zařízení pro detekci hořlavých plynů a par, autonomní požární signalizace, ruční požárně poplachové zařízení),*
- *zařízení pro potlačení požáru nebo výbuchu (např. stabilní nebo polostabilní hasicí zařízení, automatické protivýbuchové zařízení, samočinné hasicí systémy),*
- *zařízení pro usměrňování pohybu kouře při požáru (např. zařízení pro odvod kouře a tepla, zařízení přetlakové ventilace, kouřová klapka včetně ovládacího mechanismu, kouřotěsné dveře, zařízení přirozeného odvětrání kouře),*
- *zařízení pro únik osob při požáru (např. požární nebo evakuační výtah, nouzové osvětlení, nouzové sdělovací zařízení, funkční vybavení dveří, bezpečnostní a výstražné zařízení),*
- *zařízení pro zásobování požární vodou (např. vnější požární vodovod včetně nadzemních a podzemních hydrantů, plnicích míst a požárních výtokových stojanů, vnitřní požární vodovod včetně nástěnných hydrantů, hadicových a hydrantových systémů, nezavodněné požární potrubí),*
- *zařízení pro omezení šíření požáru (např. požární klapka, požární dveře a požární uzávěry otvorů včetně jejich funkčního vybavení, systémy a prvky zajišťující zvýšení požární odolnosti stavebních konstrukcí nebo snížení hořlavosti stavebních hmot, vodní clony, požární přepážky a ucpávky),*
- *náhradní zdroje a prostředky určené k zajištění provozuschopnosti požárně bezpečnostních zařízení, zdroje nebo zásoba hasebních látek u zařízení pro potlačení požáru nebo výbuchu a zařízení pro zásobování požární vodou, zdroje vody určené k hašení požárů,*
- *zařízení zamezující iniciaci požáru nebo výbuchu. [14]*

Za vyhrazené druhy (požární technika, pro kterou jsou stanoveny technické podmínky zvláštním právní předpisem, tedy vyhláškou č. 254/1999 Sb., o technických podmínkách požární techniky, ve znění nařízení vlády č. 352/2000 Sb.) PBZ se považují:

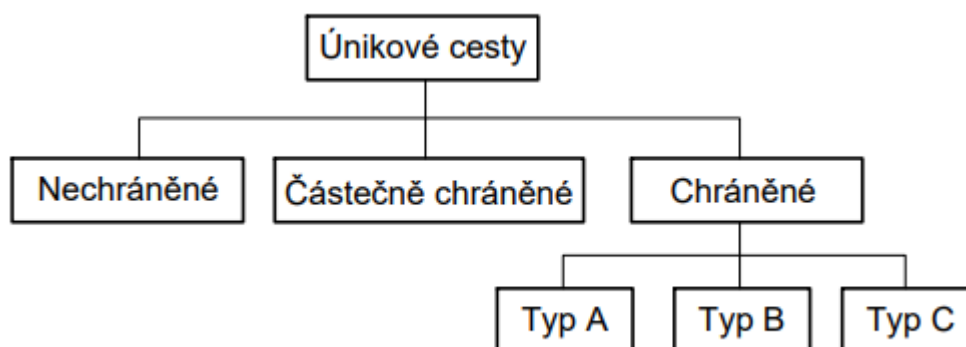
- elektrická požární signalizace,
- zařízení dálkového přenosu,
- zařízení pro detekci hořlavých plynů a par,
- stabilní a polostabilní hasicí zařízení,
- automatické protivýbuchové zařízení,
- zařízení pro odvod kouře a tepla,
- požární klapky,
- požární a evakuační výtahy. [14]

2.2 Obecně – únikové cesty

Únikové cesty jsou komunikace v objektu nebo na objektu, umožňující bezpečnou evakuaci osob z objektu ohroženého požárem nebo z jeho části na volné prostranství. Únikové cesty mohou také poskytnout přístup požárních jednotek do prostorů zasažených požárem. Únikové cesty se dle ČSN člení na chráněné a nechráněné. Pod pojmem bezpečná evakuace se rozumí, že evakuované osoby nebudou vystaveny nebezpečným účinkům požáru, a to především kritickým koncentracím zplodin z hoření. U některých typů únikových cest se setkáme i s ochranou proti vysokým teplotám vniklých při požáru. [1]

2.2.1 Členění únikových cest

Dle ČSN rozdělujeme únikové cesty podle poskytnuté ochrany osobám, které po ní unikají z objektu. Rozlišujeme vzestupně podle stupně poskytnuté ochrany na nechráněné únikové cesty (NÚC), cesty částečně chráněné (ČCHÚC) a na únikové cesty chráněné (CHÚC). [1]



Obr. 1— Členění únikových cest
(graficky upraveno dle [9])

ČSN definuje i termín náhradní úniková možnost. V tomto případě se jedná o možnost úniku osob mimořádným způsobem (tj. namáhavěji než chůzí) nebo použitím pomocných prostředků (např. použitím únikových a požárních žebříků, skluzných tyčí, oken). Náhradní úniková možnost se nepovažuje za únikovou cestu. [1]

2.2.2 Nechráněné únikové cesty

Nechráněná úniková cesta je trvale volný komunikační prostor směřující z posuzovaného požárního úseku k východu na volné prostranství nebo do chráněné únikové cesty. [1] Tento způsob evakuace osob nese své výhody, ale i úskalí. Jednoznačnou výhodou je, že nemusí být požárně oddělena od zbytku objektu. Ovšem nechráněná úniková cesta má celou řadu omezení vzhledem k tomu, že se jedná o nejnižší stupeň ochrany osob vůči účinkům požáru. Nejčastějším omezením je právě mezní délka úniku, do které lze NÚC navrhnout.

2.2.3 Částečně chráněné únikové cesty

S pojmem částečně chráněná úniková cesta se setkáváme v ČSN 73 0804 a ČSN 73 0834. Částečně chráněná úniková cesta je trvale volná komunikace nebo komunikační prostor, kde se lze bez překážek pohybovat směrem k východu na volné prostranství nebo do chráněné únikové cesty [2].

Oproti CHÚC má takto řešená úniková cesta řadu úlev, ale musí splňovat některé z požadavků. Mezi požadavky patří například: musí se nacházet v PÚ bez požárního rizika; nebo může procházet sousedním požárním úsekem, ve kterém se nenachází provoz skupin 5 až 7; nebo může procházet částí posuzovaného požárního úseku, která je prostorem bez požárního rizika (viz 8.3.2). [2]. Dalším aspektem je dostatečné větrání této chráněné únikové cesty.

2.2.4 Chráněné únikové cesty

Chráněná úniková cesta je cesta, která poskytuje trvale volný komunikační prostor vedoucí k východu na volné prostranství a je chráněná proti účinkům požáru požárně dělícími konstrukcemi. [1+2]. Dle požárního kodexu dělíme CHÚC podle doby, po kterou se mohou osoby v únikové cestě zdržovat do tří kategorií:

- CHÚC typu A (4 minuty);
- CHÚC typu B (15 minut);
- CHÚC typu C (30 minut).

Proto, aby bylo možné této doby ochrany dosáhnout musí CHÚC splňovat konkrétní požadavky na požární oddělení od zbylých požárních úseků, požadavky na vhodné dispoziční řešení, a především požární větrání (více o této problematice v kapitole 2.3).

2.2.5 Chráněná úniková cesta typu A

CHÚC-A tvoří požární úsek, který je požárně oddělen od zbytku objektu a ústí přímo na volné prostranství. Tento prostor musí být spolehlivě větrán přirozeným, nuceným nebo kombinovaným způsobem. [8]

Požární uzávěry mezi CHÚC-A a ostatními PÚ musí vykazovat mezní stavy EI, až na specifické výjimky. Tyto požární uzávěry musí být opatřeny samouzavíracím zařízením (C), aby bylo zaručeno, že uzávěr bude uzavřen v případě požáru. Jestliže je CHÚC-A jedinou únikovou cestou v objektu, musí splnit požadavek mezní délky 120 m. Další omezení jsou obdobná jako u NÚC, například nejvyšší přípustný počet osob v jednom únikovém pruhu (550 mm) na únikové cestě. Tento počet osob se určuje obdobně jako u NÚC tabulkovými hodnotami, ovšem v porovnání s NÚC jsou hodnoty výrazně vyšší důsledkem vyšší ochrany evakuovaných osob v CHÚC oproti NÚC. [8]

2.2.6 Chráněná úniková cesta typu B

Obdobně jako u CHÚC-A je CHÚC-B oddělena požárně od zbytku objektu a požárních úseků, ovšem její součástí je větraná předsíň. Větraná předsíň má zamezit šíření zplodin hoření do schodišťového prostoru CHÚC-B a slouží tak jako bezpečnostní prvek, který zvyšuje ochranu osob v schodišťovém prostoru. Na požární předsíň jsou kladeny minimální půdorysné požadavky, a to na minimální půdorysnou plochu 5 m², kde minimální rozměr činí 1,5 m. Tyto požadavky se případně zpřísní v závislosti na počtu osob v CHÚC. Samotný schodišťový prostor CHÚC-B musí být oddělen od požární předsíně kouřotěsnými dveřmi se samozavíračem (C-S). Větrání v CHÚC-B je řešeno obdobně jako CHÚC typu A, přičemž větrací otvory, násobnost výměny vzduchu a doba funkčnosti větrání je navýšena (podrobněji v kapitole 2.3). Při návrhu přetlakového větrání CHÚC-B lze od požární předsíně opustit.

Obdobně jako u CHÚC-A musí požární uzávěry na hranicích s CHÚC s ostatními PÚ musí vykazovat mezní stav EI (vyjma speciálních případů). Nedílnou součástí požárních uzávěrů do CHÚC-B je také samozavírač (C), který zajistí, že v případě požáru budou uzávěry zavřené. Mezní délky se na CHÚC-B neposuzují. [8]

2.2.7 Chráněná úniková cesta typu C

CHÚC-C představuje nejbezpečnější variantu CHÚC a musí být vždy vybavena požární předsíní a přetlakovým větráním. Dispozičně je CHÚC-C stejná jako CHÚC-B s požární předsíní ovšem s rozdílem, že v případě CHÚC-C jsou schodišťový prostor i její požární předsíň přetlakově větrány. Násobnost výměny vzduchu je navýšena oproti ostatním typům CHÚC.

Požární uzávěry mají stejné požadavky jako u CHÚC-B, tedy požadavek na mezní stav EI a samouzavírací zařízení (C). Samotný schodišťový prostor CHÚC-C musí být oddělen od požární předsíně kouřotěsnými dveřmi se samozavíračem (C-S). Mezní délky se na CHÚC typu C neposuzují. [8]

2.3 Větrání chráněných únikových cest

Pro větrání CHÚC se vždy využívá venkovní „čerstvý“ vzduch, který je distribuován do vnitřních prostor. Veličinou, která se při návrhu větrání používá je intenzita větrání (I). Tato veličina udává poměr přiváděného objemového průtoku vzduchu ku objemu větraného prostoru. Intenzita větrání je vyjádřena rovnicí [9]:

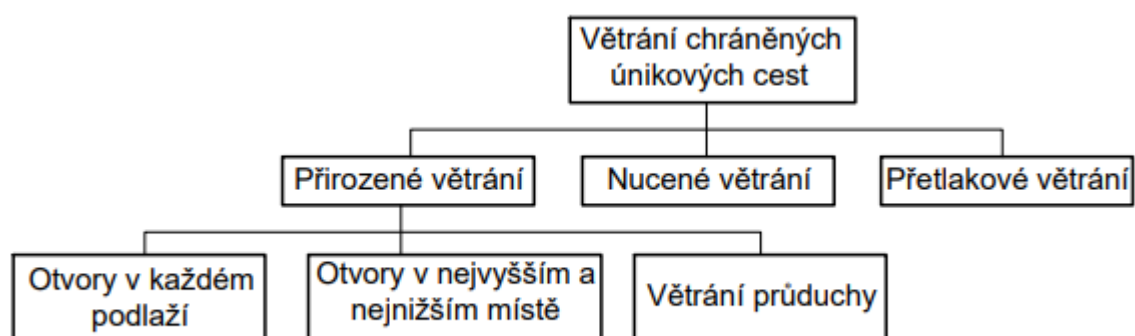
$$I = \frac{V}{O} \quad (1)$$

I intenzita větrání [h⁻¹]

V objemový průtok venkovního vzduchu [m³·h⁻¹]

O objem větraného prostoru [m³]

Požární větrání CHÚC se dělí podle způsobu provedení:



Obr. 2— Členění větrání únikových cest
(graficky upraveno dle [9])

Obecně platí, že CHÚC musí umožnit bezpečnou evakuaci všech osob tak, aby nedošlo k jejich ohrožení zplodinami hoření, především kouřem. Evakuaci osob po CHÚC je možné předpokládat za bezpečnou:

- pokud je tlakovými poměry omezen tok zplodin hoření a kouře do CHÚC, nebo
- pokud je zajištěno zředění přitékajících zplodin hoření do CHÚC na koncentraci 1 % (nejvýše 2 %).

Pakliže je v CHÚC zajištěn přetlak nejméně 25 Pa oproti hořícímu prostoru (případně 12 Pa při instalaci SHZ) je omezen přítok zplodin hoření a kouře do CHÚC. V těchto případech je navrhováno přetlakové větrání CHÚC. Zředění zplodin hoření na stanovenou koncentraci je zajištěno přirozeným nebo nuceným větráním. [9]

2.3.1 Přirozené větrání

Princip proudění vzduchu při přirozeném větrání je založen na tzv. komínovém efektu, to je fyzikální jev, kdy začne vertikálně proudit vzduch na základě rozdílné objemové hustoty vzduchu uvnitř a vně objektu a působením větru. Jak již může být patrné, účinek přirozeného větrání je v průběhu času dosti proměnlivý, a ne vždy stoprocentně spolehlivý. Z tohoto důvodu norma ČSN uvažuje nejkratší dobu evakuace osob do bezpečného prostoru (4 minuty). Jeho účinnost závisí na celé řadě faktorů, mezi které se řadí zejména:

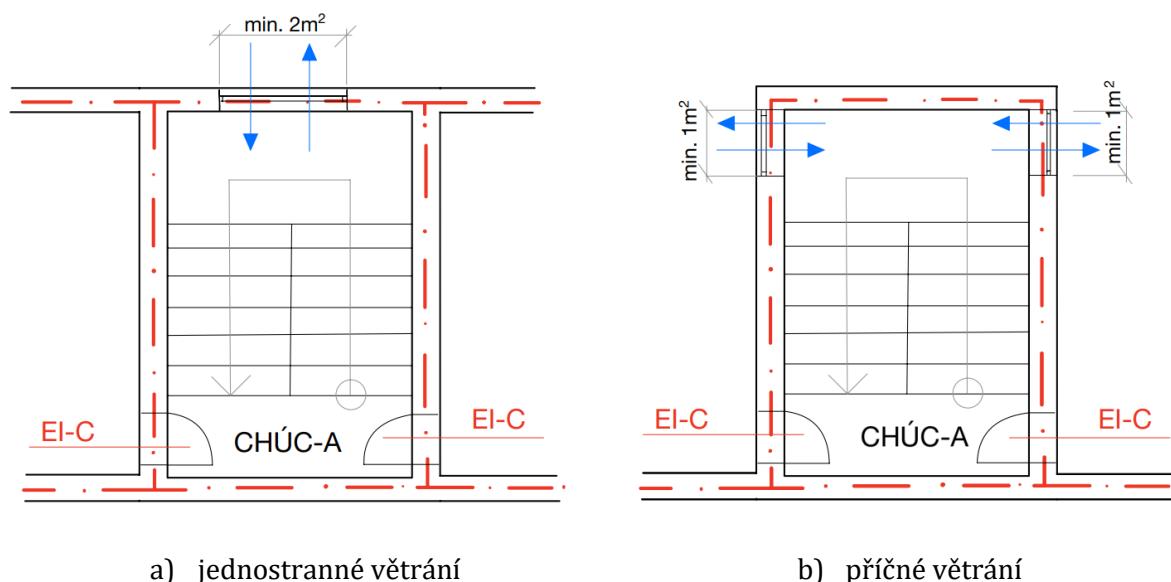
- Rozdíl teplot mezi interiérem a exteriérem objektu,
- Výšková vzdálenost větracích otvorů,
- Výšková poloha případného požáru,
- Poloha s nejvyšší a nejnižší teplotou vzduchu,
- Rychlost a směr proudění větru,
- Poloha větracích průduchů vůči větru,
- Tvar objektu.

Primárním předpokladem přirozeného větrání v CHÚC je zředění přitékajících zplodin hoření na koncentraci 1 %. [9+15 + 17]

Přirozené větrání u CHÚC je možno provést hned několika způsoby. Jeden z nejčastějších způsobů je větrání otevíratelnými otvory (zpravidla okna nebo dveřmi) v každém podlaží a je ho možné aplikovat u CHÚC-A a CHÚC-B s požární předsíní. Člení se na dva případy, kdy otvory umožňují nebo neumožňují příčné provětrání CHÚC (Obr. 3). V případě, že nelze stavebně uplatnit

řešení s příčným provětráním, zajišťuje se provětrání otvorem o minimální ploše 2 m^2 , a to na každém podlaží. U příčného provětrání postačí otvory o ploše minimálně 1 m^2 v každém podlaží. Dalším limitem pro velikost větracích otvorů je půdorysná plocha CHÚC. Jestliže CHÚC má větší půdorysný průmět v jednom podlaží než 20 m^2 , navrhují se plochy větracích otvorů procentuálně z plochy CHÚC a to 10% při jednostranném větrání a 5% při příčném větrání. [9]

U CHÚC-B s požárními předsíněmi se požaduje velikost odvětrávacích otvorů o 25% větší než u CHÚC-A. [9]



Obr. 3 — Příklady větrání otevíratelnými otvory v každém podlaží

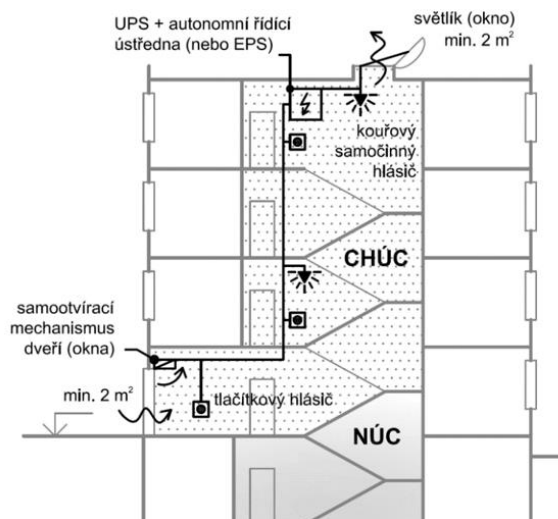
Okenní otvory navržené pro provětrávání CHÚC musí svým provedením a umístěním umožnit snadnou manipulaci. Pakliže je na okenním otvoru instalován manuální mechanismus otevření, nesmí být výše než $1,8 \text{ m}$ nad úrovní podlahy. Pokud je instalováno dálkové ovládání, musí být označeno dle normy ČSN ISO 3864. [9]

Dalším častým a nejúčinnějším způsobem přirozeného větrání CHÚC-A je pomocí otvorů v nejvyšším a nejnižším místě. V tomto případě je větrání zajištěno větracím otvorem o minimální ploše 2 m^2 , umístěným v nejvyšším podlaží únikové cesty a stejně velkým přívodním otvorem ve vstupním podlaží (Obr. 4). [9]

Oba otvory se musí otevírat samočinně prostřednictvím kouřových čidel, popřípadě dálkově ručními tlačítky, které je vhodné umístit do každého podlaží CHÚC. Ruční tlačítko musí být vždy umístěno v podlaží, ze kterého osoby unikají na volné prostranství. Je-li v objektu nainstalován systém EPS, jsou větrací zařízení CHÚC navrhována jako jedno z ovládaných zařízení. [9]

Pokud jsou součástí schodišťového prostoru CHÚC i chodby, po případě podobné prostory, musí být požární větrání posouzeno výpočtem. Zpravidla u chodem delších jak 20 m je potřeba navrhnout nucený přívod vzduchu, aby negativně neovlivňovali větrání v CHÚC. [9]

Materiály, ze kterých je vyhotoven větrací otvor musí splnit třídu reakce na oheň A1 až C, přičemž při použití materiálu třídy C je nutno otvor umístit mimo požárně nebezpečný prostor. Pakliže větracím otvorem v nejvyšším místě CHÚC je světlík, je nutno jej navrhnout tak, aby mechanismus otevírání umožnil otevřít světlík i při zatížení sněhem či větrem. [9]



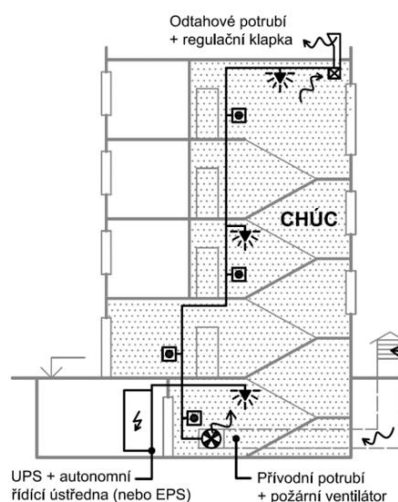
Obr. 4 - Příklad přirozeného větrání s přívodem vzduchu samočinně otvíravými vstupními dveřmi a odvodem vzduchu samočinně otvíravým střešním světlíkem [8]

Posledním druhem přirozeného větrání CHÚC-A je větrání průduchy v každém podlaží. Průduchy zajišťující přívod se nachází u podlahy a odvodní průduchy se nacházejí u stropu. Průřezová plocha těchto průduchů je minimálně 1 % půdorysné plochy CHÚC, kterou větrají. Vzhledem ke komplikovanosti provedení a pochybnostem účinnosti tohoto větrání se větrání průduchy prakticky nepoužívá. [9+28]

2.3.2 Nucené větrání

Nucené větrání zajišťuje konstantní přívod vzduchu do CHÚC ventilátorem (Obr. 5). Hlavním výkonovým parametrem je objemový průtok vzduchu V [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$], který je stanoven součinem intenzity větrání I (počtu výměn za hodinu) a objemu prostoru O . Intenzita větrání I má normativní hodnoty vztahované na typ CHÚC. Konkrétně jde o 10násobnou výměnu vzduchu za hodinu pro CHÚC-A a pro CHÚC-B 12,5násobnou výměnu vzduchu za hodinu. U výrobních objektů je kladen normativní požadavek na minimální objemový průtok přiváděného vzduchu podle typu CHÚC (např. $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Principem nuceného větrání je zajištění určité dodávky vzduchu podle stanovených návrhových parametrů a zajištění odvodu (např. šachtami, průduchy či samotížnou žaluzií), který není nijak řízen ani regulován. V důsledku toho vzniká v CHÚC mírný přetlak, jakožto druhořadý jev, jehož velikost není normativně definována a ani se nejedná o sledovaný parametr. Tento přetlak může částečně zamezit průniku zplodin hoření do prostor CHÚC po dobu, než v prostoru zasaženém požárem při vývinu teplot vznikne vyšší přetlak oproti CHÚC. Úlohou tohoto způsobu větrání je omezit průnik zplodin hoření a kouře do únikové cesty nebo je naředit tak, aby nepřekročily již zmíněnou koncentraci 1 až 2 %. [15+ 9]



Obr. 5 - Příklad nuceného způsobu větrání – přívod vzduchu (ventilátor + sání venkovního vzduchu VZT kanálem) do nejnižšího místa CHÚC a odvod vzduchu odťahovým potrubím s regulační klapkou v nejvyšším místě CHÚC

2.3.3 Kombinované větrání

Jedním z možných návrhů větrání CHÚC je kombinované. Jedná se o kombinaci nuceného a přirozeného principu větrání CHÚC. Nejčastějším návrhem je nucený přívod vzduchu v nejnižším podlaží CHÚC a přirozený odvod v místě nejvýše položeném (např. světlík či okno). Kombinací dvou na sobě odlišných principů větrání CHÚC nese své nevýhody a při nevhodném návrhu může mít negativní vliv na funkčnost požárního větrání.

Jedním z nejčastějších důvodů návrhu je prodloužení CHÚC ve stávajícím objektu do podzemního podlaží, kde je navrženo přirozené větrání CHÚC v nadzemní části. Zde stojí za zvážení a dostatečné posouzení, zda nucený přívod vzduchu do podzemního podlaží objektu a otevřené dveře na volné prostranství neovlivní negativně distribuci vzduchu do ostatních nadzemních podlaží CHÚC.

2.3.4 Přetlakové větrání

Přetlakové větrání CHÚC je neúčinnějším způsobem větrání chráněných únikových cest. Přívod venkovního vzduchu je řešen taktéž ventilátorem jako u nuceného větrání, avšak hlavním návrhovým parametrem je zde přetlak nikoliv průtok vzduchu. Přetlak v CHÚC funguje jako bariéra pro průnik zplodin hoření a tím se jedná o nejbezpečnější pro unikající osoby oproti ostatním druhům větrání. Avšak protikladem ke všem kladům je složitý návrh, provedení, zkoušení, a především celková cena. Nejčastěji se přetlakové větrání navrhuje u objektů, kde nelze uplatnit jiné řešení například u objektů se shromažďovacími prostory, zdravotnických zařízení a únikové cesty s evakuačními výtahy. Přetlakové větrání je normativně požadováno pouze u CHÚC-C s požárními předsíněmi. Před vydáním změny normy Z3, ČSN 73 0802, která je platná od února 2020, bylo možné navrhovat přetlakové větrání pro CHÚC-B bez požární předsíně. [15+ 9]

2.3.5 Přetlakové větrání dle ČSN EN 12 101-6

Dle evropského pojetí, když uvádíme přetlakové větrání únikových cest, je zaveden termín *zařízení pracující na principu rozdílů tlaků*. Podle normy je možné navrhovat tyto zařízení pro [25]:

- Zvyšování tlaku neboli udržování přetlaku v chráněných prostorech
- Snižování tlaku neboli odvod horkých plynů z oblasti požárů (ZOKT)

Evropské pojetí dělí přetlaková větrací zařízení podle svých cílů působení do klasifikačních tříd A až F (viz tabulka 1)

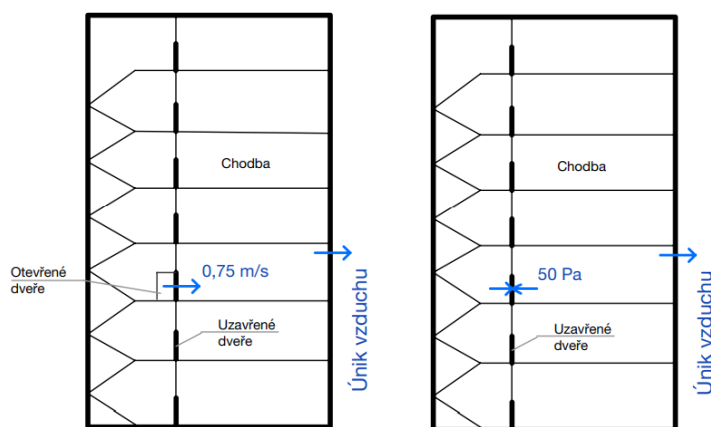
Tabulka 1 – klasifikační třídy zařízení [9]

Třída zařízení	Příklady použití
Zařízení třídy A	Pro únikové cesty. Ochrana na místě.
Zařízení třídy B	Pro únikové cesty a požární zásah.
Zařízení třídy C	Pro únikové cesty při současné evakuaci.
Zařízení třídy D	Pro únikové cesty. Riziko při spánku.
Zařízení třídy E	Pro únikové cesty při postupné evakuaci.
Zařízení třídy F	Hasící zařízení a únikové cesty.

Podle třídy zařízení jsou předepsaná kritéria, která daný prostor musí splnit. Jedná se o kritéria rozdílů tlaků mezi určenými prostory a kritéria průtoku vzduchu. Hodnoty těchto kritérií slouží k výpočtu průtoku větracího vzduchu.

2.3.5.1 Zařízení třídy A

Zařízení třídy A je určeno pro objekty, které jsou děleny do požárních úseků tak, že je to pro osoby bezpečné a mohou zůstat na místě (objekty pro bydlení). Návrhové podmínky korespondují s předpokladem, že evakuace proběhne pouze v prostorách ohrožených požárem. Je tedy velmi nepravděpodobné, že by došlo k otevření více než jedné dveří do CHÚC. Většinou se jedná o jednu dveře buď do PÚ zasažený požárem nebo na volné prostranství. [9]



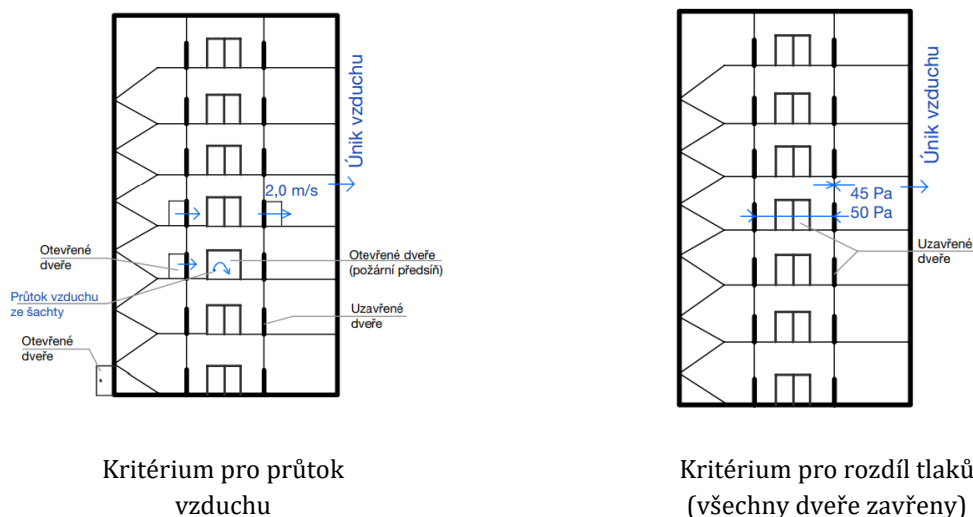
Kritérium pro průtok vzduchu (jedny dveře otevřeny) Kritérium pro rozdíl tlaků (všechny dveře zavřeny)

Obr. 6 – Návrhové podmínky pro zařízení třídy A (graficky upraveno dle [9])

2.3.5.2 Zařízení třídy B

V případě zařízení třídy B návrhové podmínky berou v potaz možnost jak evakuace osob, tak požárního zásahu. Požadavek na evakuaci a současný požární zásah vyvolává potřebu pro otevření dveří na podlaží, kde dochází k rozvoji požáru a současně otevření dveří o podlaží pod ním. Podlaží pod požárem slouží totiž jako tzv. „nástupní prostor“ pro jednotky požární ochrany, které při napojení požární techniky znemožní uzavření dveří. Z tohoto důvodu je velmi obtížné zamezit šíření kouře do prostor CHÚC. Prostor CHÚC musí být ovšem udržován bez většího znečištění kouřem, proto je zde kladen požadavek na větší rychlost proudění vzduchu skrze otevřené dveře na minimálně $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro dosažení vyšší rychlosti proudění vzduchu je potřeba zajistit dostatečný únik vzduchu a kouře z podlaží, kde hoří. To bude z pozdější fáze požáru zajištěno destrukcí oken. V počáteční fázi rozvoje požáru však s touto ventilací nelze předpokládat a je potřeba odvod kouře do venkovního prostoru navrhnout. [9]

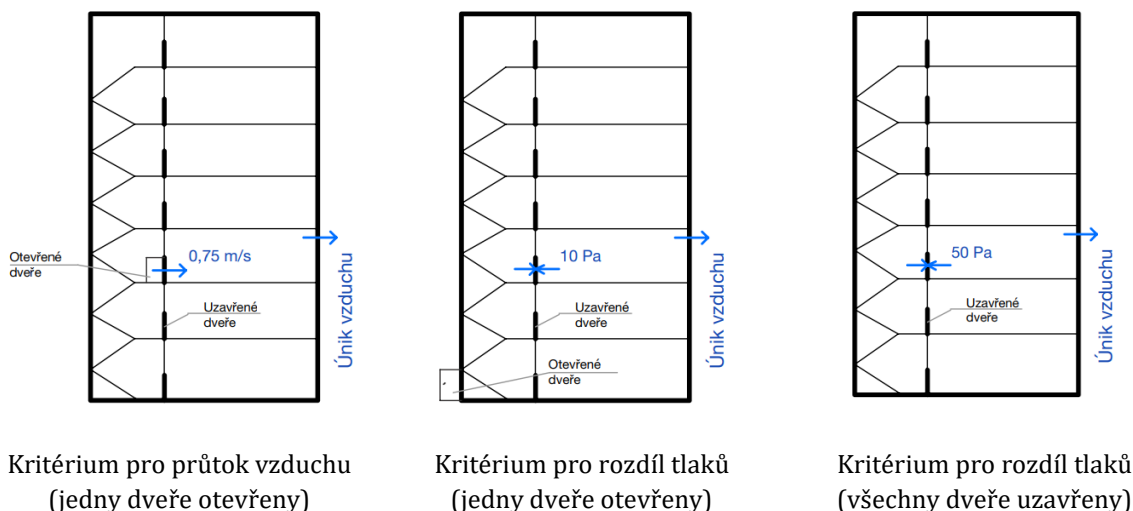
Návrh větracího zařízení musí být takový, aby schodiště, předsíně i výtahové šachty byly bez kouře. Pokud kouř pronikne, nesmí přetlak na schodišti tlačít kouř do výtahových šachet. Z tohoto důvodu se přetlak jak na schodišti, tak ve výtahových šachtách rovná 50 Pa při zavřených požárních uzávěrech. [9]



Obr. 7 – Návrhové podmínky pro zařízení třídy B
(graficky upraveno dle [9])

2.3.5.3 Zařízení třídy C

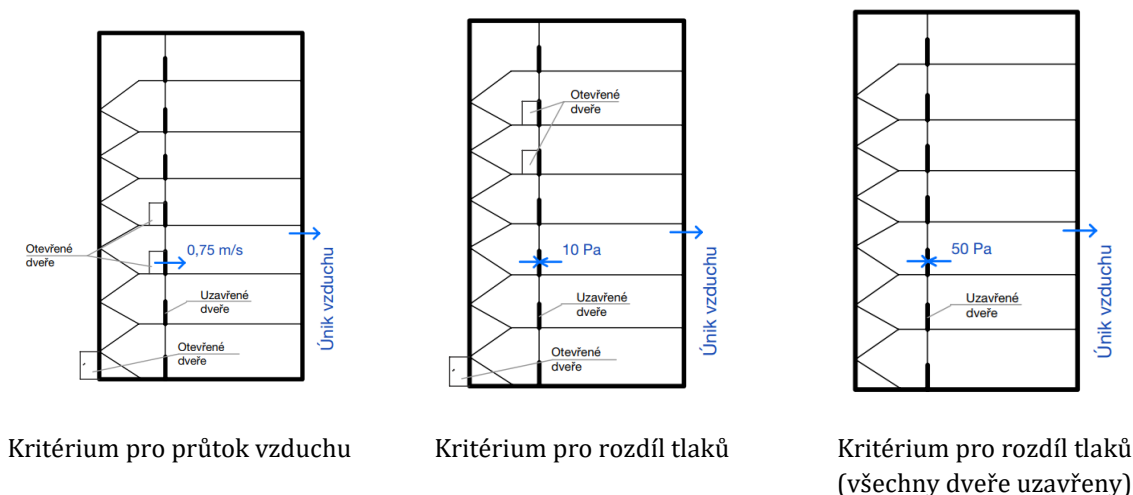
Toto zařízení je určeno pro objekty se souběžnou a současnou evakuací všech osob po vyhlášení požárního poplachu. Pracuje se s předpokladem, že se osoby v CHÚC budou nacházet pouze omezenou dobu a mírné zakouření únikové cesty je přípustné. Dalším předpokladem je, že osoby v objektu budou bdělé a prostora znalé, aby nedošlo k velké prodlevě doby evakuace. [9]



Obr. 8 - Návrhové podmínky pro zařízení třídy C (graficky upraveno dle [9])

2.3.5.4 Zařízení třídy D

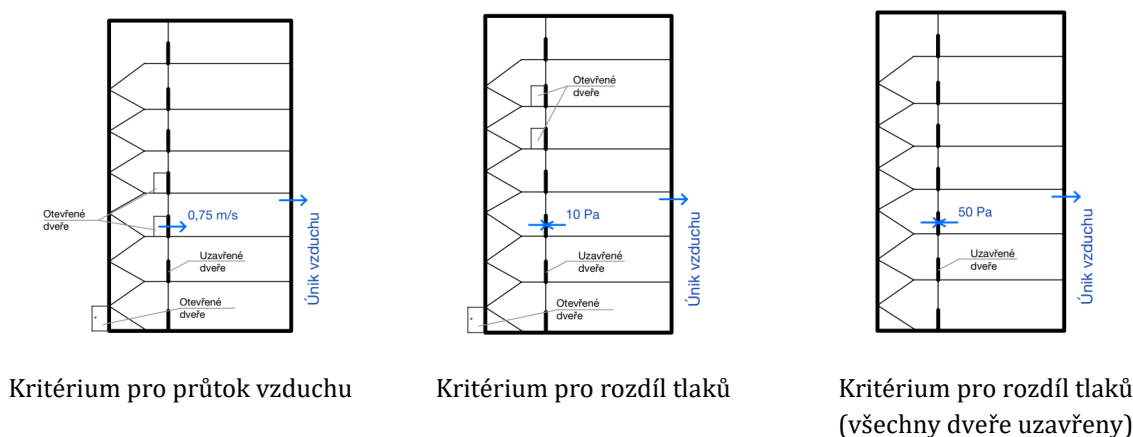
Zařízení třídy D je určeno pro objekty, kde mohou osoby spát (např. nemocnice, domy pro seniory, hotely, ubytovny apod.). Oproti zařízení třídy C je zde předpoklad, že osoby nejsou v bdělém stavu, nejsou znalé prostředí nebo potřebují pomoc při evakuaci, a tím je doba evakuace mnohem delší. [9]



Obr. 9 - Návrhové podmínky pro zařízení třídy D (graficky upraveno dle [9])

2.3.5.5 Zařízení třídy E

Zařízení třídy E je určeno pro objekty s řízenou a postupnou evakuací osob. Doba evakuace se předpokládá výrazně delší než u předchozích tříd, proto CHÚC musí být udržovány po delší dobu bez kouře, aby i v pozdější fázi rozvoje požáru mohli osoby bezpečně unikat na volné prostranství. [9]



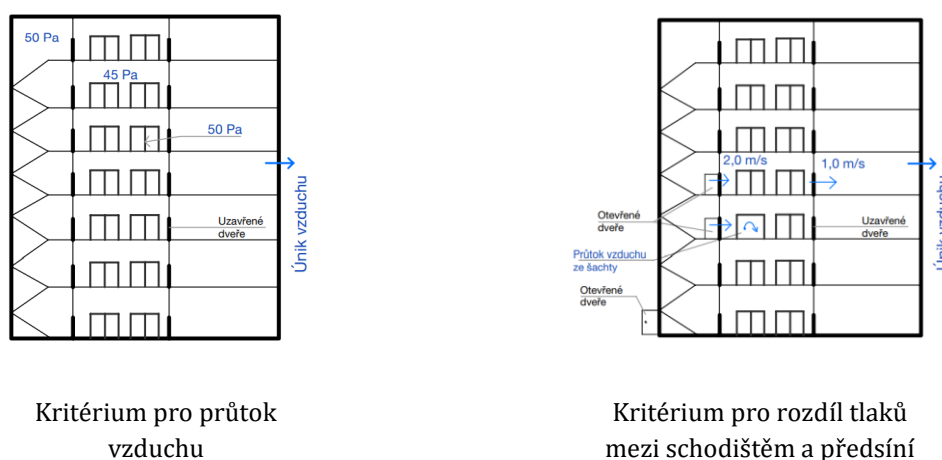
Obr. 10 - Návrhové podmínky pro zařízení třídy E (graficky upraveno dle [9])

2.3.5.6 Zařízení třídy F

Zařízení třídy F se používá v objektech, kde je potřeba minimalizovat možnost závažného zakouření únikových cest i zásahových cest v době plně rozvinutého požáru. Předpoklad otevřených dveří je stejný jako u zařízení třídy B. Aby se zamezilo šíření kouře z rozvinutého požáru, který může mít rychlost proudění vzduchu až $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, je zde nutno navrhnout větrací zařízení tak, aby byla zaručena rychlost proudění vzduchu ve dveřích mezi schodištěm a předsíní minimálně $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a ve dveřích mezi předsíní a prostorem kde hoří, minimálně $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. [9]

Pro dosažení vyšší rychlosti proudění vzduchu je potřeba zajistit dostatečný únik vzduchu a kouře z podlaží kde hoří. To bude z pozdější fáze požáru zajištěno destrukcí oken. V počáteční fázi rozvoje požáru však s touto ventilací nelze předpokládat a je potřeba odvod kouře do venkovního prostoru navrhnout. [9]

Návrh větracího zařízení musí být takový, aby schodiště, předsíně i výtahové šachty byly bez kouře. Pokud kouř pronikne, nesmí přetlak na schodišti tlačít kouř do výtahových šachet. Z tohoto důvodu se přetlak jak na schodišti, tak ve výtahových šachtách rovná 50 Pa při zavřených požárních uzávěrech. Rozdíl 45 Pa je pak požadován mezi požární předsíní a užitným prostorem. [9]



Obr. 11 - Návrhové podmínky pro zařízení třídy F (graficky upraveno dle [9])

3 Navrhování přetlakového větrání a využití modelace

Přetlakové požární větrání CHÚC musí být nezávislé na systému VZT zbylého objektu. U přetlakového větrání musí být zajištěna funkčnost minimálně po dobu 45 minut. Pokud CHÚC slouží i jako zásahová cesta, požadavek je zvýšený na minimální dobu 60 minut. V prostorách CHÚC musí být zajištěn zvýšený tlak oproti přilehajícím provozům, a to na hodnotu nejméně 50 Pa při zavřených dveřích. Pakliže jsou přilehající provozy vybaveny stabilním samočinným hasícím zařízením, může být minimální hodnota přetlaku snížena na 25 Pa. Celkový přetlak v obou případech nesmí překročit 60 Pa. Pokud jsou do CHÚC umístěny požární výtahy, jejichž vstupy ústí do požární předsíně CHÚC, musí být zajištěno přetlakové větrání šachet těchto výtahů přetlakem 50 Pa. Přetlakové větrání požárních výtahů, ústících do požárních předsíní, musí mít samostatný přívod vzduchu [1].

Návrhové podmínky norem ČSN se snaží přiblížit co nejvíce reálnému stavu, který může nastat v CHÚC při požáru objektu. Pro všechny klasifikační třídy zařízení jsou definovány dva návrhové požární scénáře včetně návrhových kritérií.

- 1. stav, kdy jsou všechny dveře do CHÚC uzavřeny. Stav simuluje běžný provoz v okamžiku iniciace požáru během noci, víkendu apod. Ventilátorem je vháněn vzduch do CHÚC v takovém množství, aby došlo k potřebnému přetlaku. V tomto požárním scénáři pro dosažení přetlaku se počítá s účinnou plochou všech netěsností, kudy může přiváděný vzduch unikat do venkovního prostředí nebo sousedních prostor. Tyto netěsnosti tvoří například zavřené dveře, stavební konstrukce, instalační prostupy, výtahové šachty, trvale otevřené otvory a jiné. Aby nedošlo k překročení maximálního přetlaku je nutno instalovat zařízení pro uvolnění přetlaku (např. samočinné přetlakové klapky, ovládaný klapkový systém apod.) [1+9].
- 2. stav, kdy je do CHÚC otevřený příslušný počet dveří, přičemž jsou vždy otevřeny vchodové dveře na volné prostranství a jedny nebo více dalších dveří. Stav simuluje evakuaci v objektu a probíhající hasební zásah. Objemový průtok vzduchu, který je třeba přivést, se určí podle rychlosti proudění vzduchu přes otevřené dveře. Podle třídy zařízení se předpokládá s nejméně dvěma až třemi otevřenými dveřmi [1+9].

Rychlost proudění vzduchu skrze otevřené dveře mezi CHÚC a prostorem s požárem se navrhuje na následující hodnoty [1]:

- $0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, je-li výška $h < 30 \text{ m}$, nebo
- $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, při výšce $30 < h < 60 \text{ m}$; nebo
- $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, u budov s výškou $h > 60 \text{ m}$, nebo u objektu se shromažďovacími prostory $\geq 2 \text{ SP/VP3}$ ($x\text{SP}$ – určuje násobek velikosti shromažďovacího prostoru; VPx – určuje výškovou polohu shromažďovacího úseku), nebo
- $2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, jde-li o zásahovou cestu, nebo
- v případech komplikované evakuace se upřednostňuje provést návrh přetlakového větrání metodami požárního inženýrství (např. CFD model apod.).

Aby systém přetlakového větrání byl funkční je potřeba, aby vzduch z CHÚC proudil přes sousední prostor, ve kterém se nachází požár a následně ven do exteriéru. Tento požadavek můžeme zaručit například speciálními odvětrávacími otvory (např. samočinně otevíratelná okna, klapky, žaluzie apod.), svislými šachtami s potrubím a odvětracími otvory včetně kouřových klapek (otvíravé podle místa požáru), nebo VZT systémem (systém ventilátorů, potrubí a kouřových klapek). [1]

Další návrhovou hodnotou je tzv. síla na kliku, která je maximálně 100 N. Tento aspekt je nutné dodržet, aby nedošlo k domněnce, že jsou dveře zamčené. Nejvíce náchylné na tento problém jsou velmi mladé, starší nebo invalidní osoby [1].

V závislosti na výšce objektu se liší potřeby na distribuci vzduchu do CHÚC. Pro objekty s výškou do 12 metrů je možné jednoho přívodu do schodišťového prostoru. Pakliže je objekt větší než 12 metrů, je nutné užít systém VZT napojený na distribuční prvky, které jsou rozmístěny rovnoměrně po výšce CHÚC. Rovnoměrné rozmístění distribučních prvků je důležité, aby byl zaručen co nejvíce možné rovnoměrný přetlak napříč CHÚC. Nejoptimálnější situací je, když se distribuční prvky nacházejí na každém podlaží, což ovšem nemusí dovolit například dispozice objektu. Největší vzdálenost mezi jednotlivými distribučními prvky by neměla být větší než 3 podlaží. Naopak požární předsíně musí být všechny vybaveny alespoň jedním přívodním místem [1].

Přetlakové větrání CHÚC se musí řídit normou ČSN 73 0872 [27]. Tato norma udává následující požadavky pro umístění sání, odvodu, větracích otvorů a větracích průduchů:

- Nasávání na fasádě je nutné umístit tak, aby všechny otvory, ze kterých může unikat kouř při požáru, byly vzdálené od nasávacího otvoru nejméně 3,0 metry. Pakliže je nasávací otvor nad těmito otvory, přičítá se k minimálnímu požadavku vodorovná vzdálenost odpovídající alespoň rozdílu výšek nejnižších míst obou otvorů (odpovídá úhlu 45°). Tato vzdálenost nesmí překročit však 10 metrů. Pod nasávacím otvorem a ve vymezené ploše se nesmí nacházet požárně otevřená plocha [1+27].
- Druhým řešením je umístění nasávacího otvoru nad střešní plášť. Střešní plášť nesmí ovšem být POP a jeho skladba musí vyhovovat klasifikaci B_{ROOF}(t3). Nasávací otvor se musí umístit tak aby byl vzdálen minimálně 3,0 metry od obvodových stěn. Pod nasávacím otvorem nesmí být povrch střešního pláště proveden z hořlavých hmot do vzdálenosti 3,0 m. Nasávací otvor nesmí být umístěn do požárně nebezpečného prostoru (PNP) od jiných technologií a PÚ. Minimální vzdálenost od ostatních technologií je 3,0 m [1+27].

Přetlakové větrání musí být spuštěno samočinně v návaznosti na samočinné kouřové hlásiče nebo tlačítkové hlásiče na každém podlaží CHÚC. Pokud je v objektu EPS, musí být požární větrání ovládáno právě EPS [1].

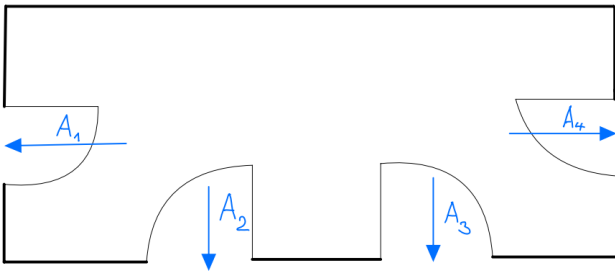
3.1 Návrhový výpočet dle ČSN EN 12101-6

Při návrhu přetlakového větrání CHÚC se postupuje dle ČSN EN 12101-6 - *Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla – Část 6: Technické podmínky pro zařízení pracující na principu rozdílu tlaků – Sestavy*. Při návrhu je potřeba zohlednit možné trasy, kudy může proudit vzduch. Tyto trasy proudění vzduchu je potřeba vnést do výpočtu přes jejich průřezové účinné plochy.

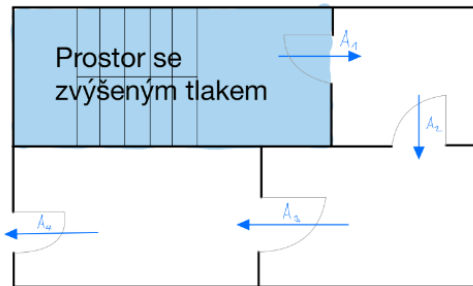
Postup pro zhodnocení potřebného množství vzduchu pro přetlakové větrání CHÚC dle přílohy A, ČSN EN 12101-6 je následující [25]:

- Stanoví se všechny možné trasy průtoku vzduchu se zavřenými dveřmi. Přes tyto trasy prostupuje nebo je odváděn vzduch. Patří sem netěsnosti dveří mezi CHÚC a okolními prostory, trhliny v konstrukcích ohraničující CHÚC, trhliny v konstrukcích budovy mezi nechráněnými prostory v objektu, otvory zřízené pro únik vzduchu z nechráněných prostorů, nebo otvory zřízené pro náhradu vzduchu z chráněných prostorů.

- Určíme charakter trasy úniku vzduchu mezi sousedícími prostory. Trasy mohou být paralelní, sériové nebo kombinované (viz Obr. 12 a Obr. 13).



Obr. 12 – Paralelní trasy úniku vzduchu
(graficky u+praveno [25])



Obr. 13 – Sériové trasy úniku vzduchu
(graficky upraveno [25])

- Výpočet hodnoty průtoku vzduchu netěsnostmi kolem dveří Q_D ($m^3 \cdot s^{-1}$)
- Výpočet hodnoty průtoku vzduchu netěsnostmi kolem oken Q_{window} ($m^3 \cdot s^{-1}$).
- Výpočet hodnoty průtoku vzduchu netěsnostmi dveří výtahových šachet Q_{LD} ($m^3 \cdot s^{-1}$), pokud je ovšem tlak ve výtahové šachtě zvyšován je Q_{LD} zanedbatelný.
- Výpočet hodnoty průniku vzduchu netěsnostmi nuceným odsáváním ze sociálního zařízení a jiných provozů Q_{Tm} ($m^3 \cdot s^{-1}$).
- Výpočet hodnoty průtoku vzduchu netěsnostmi jinými existujícími trasami Q_{other} ($m^3 \cdot s^{-1}$).
- Výpočet celkového požadovaného průtoku přiváděného vzduchu při zavřených dveřích Q_{DC} ($m^3 \cdot s^{-1}$).
- Ve vztahu k třídě zařízení se určí, které dveře budou uvažovány jako otevřené. Pozn. Informace k třídě zařízení naleznete výše v kapitole 2.3.5 této práce.
- Stanoví se všechny možné trasy průtoku vzduchu při otevřených dveřích.
- Výpočet celkového požadovaného průtoku přiváděného vzduchu při otevřených dveřích Q_{DO} ($m^3 \cdot s^{-1}$).
- Výpočet požadovaného průtoku přiváděného vzduchu při otevřených dveřích (dle bodu i) Q_{SDO} ($m^3 \cdot s^{-1}$). K hodnotě se přičte rezerva 15 % zohledňující ztrátu v potrubí.
- Výpočet celkového požadovaného průtoku přiváděného vzduchu včetně přičtení 50 % faktoru pro neznámé úniky Q_S ($m^3 \cdot s^{-1}$).
- Výběr větší z hodnot Q_S ($m^3 \cdot s^{-1}$) nebo Q_{SDO} ($m^3 \cdot s^{-1}$), pro určení výkonu ventilátoru
- Výpočet požadavků na únik vzduchu z prostor bez zvýšeného tlaku s otevřenými dveřmi. Výpočet je proveden z vyšší z hodnot Q_S ($m^3 \cdot s^{-1}$) nebo Q_{SDO} ($m^3 \cdot s^{-1}$).
- Výpočet plochy odvětrávacích otvorů pro únik vzduchu z prostor se zvýšeným tlakem A_{PV} (m^2).
- Výpočet „síly na kliku“ (síly potřebné pro otevření dveří) F_{dc} (N).
- Stanovení skutečného výkonu ventilátoru s ohledem na otevřené i zavřené dveře.

3.2 Řešení nemožnosti dosažení návrhového rozdílu tlaků dle ČSN EN 12101-6

V případě, že není možné dosáhnout rozdílu tlaků u zařízení pro zvyšování tlaků jsou v příloze B ČSN EN 12101-6 [25] uvedeny řešení těchto komplikací.

Primární příčinou, proč nemůžeme dosáhnout návrhové rozdíly tlaků jsou venkovní podmínky, protože výpočet dle ČSN EN 12101-6 předpokládá vztlak způsobený požárem a působením větru. Probíhají-li zkoušky v prostředí, kde vnější podmínky jsou ovlivňovány silným či nárazovým větrem, může být nemožné dosáhnout návrhového rozdílu tlaků [25].

Pokud se předpokládá, že komínový efekt bude důležitým faktorem během zkoušení, můžeme snížit jeho vliv činností zařízení pracujícího na principu rozdílu tlaků jednu hodinu před samotnou zkouškou. Cílem je vyrovnat teplotu vnitřní šachty s teplotou venkovního prostředí. [25]

Kromě venkovních podmínek existují tři hlavní důvody nemožnosti dosáhnout požadovaného rozdílu tlaků [25]:

- a) Nedostatečný přívod vzduchu do prostor se zvýšeným tlakem. Není-li dostatečný přívod vzduchu do prostoru se zvýšeným tlakem, nemůže dojít k vytvoření požadovanému rozdílu tlaků. Průtok vzduchu do míst se zvýšeným tlakem lze zajistit následovně [25]:
 - První způsob je změření celkového přívodu vzduchu na vstupu do ventilátoru. Následně se odečtou netěsnosti potrubí a výsledný průtok se procentuálně rozdělí do jednotlivých distribučních prvků podle měření uskutečněných při přejímce [25].
 - Druhým způsobem je změření průtoku vzduchu na každém distribučním prvku [25].

Jestliže je naměřený průtok vzduchu menší než požadovaná návrhová hodnota, otevřou se určené dveře oddělující prostor bez zvýšeného a se zvýšeným tlakem. Následně se provede nové měření průtoku vzduchu. Pokud se v tomto stavu zvýší průtok, je potřeba provést zkoušku netěsnosti potrubí a provést nápravné opatření [25].

- b) Nadměrný únik vzduchu z prostoru se zvýšeným tlakem. Je-li naměřen nižší rozdíl tlaků než návrhová hodnota, je častým důvodem to, že konstrukce překračuje úroveň netěsnosti povolenou v návrhu. V tomto případě je potřeba ověřit, zda těsnění všech prostupů prostorem se zvýšeným tlakem, tj. kabelových rozvodů, potrubí, kanálů a osvětlovacích instalací je vyhovující, a v případě potřeby je zlepšit. Je nutné taky ověřit osazení i těsnost dveří a těsnost prostupů instalace v mezipatrech [25].

Pakliže netěsnosti nepřekročí předpokládanou úroveň, je nutné zvýšit intenzitu přívodu vzduchu a případně zvýšit únik vzduchu z prostorů bez zvýšeného tlaku [25].

- c) Nedostatečný únik vzduchu z prostorů bez zvýšeného tlaku. Jestliže se během otevření dveří mezi prostorem se zvýšeným tlakem a bez zvýšeného tlaku, zvýší přívod vzduchu do prostoru se zvýšeným tlakem, je pravděpodobnou příčinou menší než očekávaná intenzita úniku vzduchu z prostor bez zvýšeného tlaku. Prověří se, zda na všech podlažích funguje správně větrací zařízení. Pakliže ano, mohou být zapotřebí další otvory pro zvýšení úniku vzduchu [25].

3.3 Využití modelování

Jak je již zmíněno výše v úvodu kapitoly 3, v případě složitých podmínek evakuace je vhodné požární větrání navrhovat pomocí inženýrského přístupu dle § 99 zákona č. 183/2006 Sb.. Tento přístup umožňuje využití i jiných metod návrhu, než uvádí norma a však ovšem za předpokladu, že se prokáže bezpečnost alespoň taková, jaká je předepsána požárním kodexem. Výhodou navrhování jinými metodami je samozřejmě ten fakt, že se můžeme co nejlépe přiblížit realitě a zohlednit veškeré aspekty, které by mohly návrh ovlivnit. Nevýhodou je samozřejmě velká časová náročnost a potřebná odbornost pro zhotovení návrhu.

Tento přístup k problematice je často kombinován i s ověřením samotné evakuace a je vyhotoven celkový model CHÚC. V dnešní době, kdy se BIM model dostává do popředí, je modelace snazší ovšem časově a znalostně náročná. Důležitým aspektem návrhu pomocí inženýrského přístupu je vhodná volba softwaru a správností vstupních dat. Některé softwary poskytnou návrh vzduchotechniky jako takové, v jiných případech lze simulovat při požárním větrání i různé požární scénáře a způsoby provedení evakuace objektu.

Nejvíce reprezentativní modely, které se přibližují realitě, jsou Computational Fluid Dynamics (CFD) modely. CFD modely popisují pomocí simulací proudění tekutin, plynů a tepelných jevů. Využívají základní fyzikální rovnice jako jsou rovnice o zachování hmoty, hybnosti a energie. Nejvíce využívaným programem, který využívá CFD, je FDS od NIST. Více k FDS naleznete v kapitole 6.2 této diplomové práce.

CFD model jako je FDS je možné doplnit modelem evakuace. Velmi oblíbeným programem pro simulování evakuace je program Pathfinder od firmy Thunderhead engineering. Pomocí tohoto programu je možné zkoumat evakuaci s celou řadou proměnlivých faktorů. Lze zkoumat, jak moc jsou unikající osoby ovlivněny škodlivými látkami, které se nacházejí ve zplodinách hoření.

4 Výběr CHÚC pro ověření funkčnosti

Zaměření celé práce se týká konkrétní CHÚC, která se nachází ve výškovém objektu, který je situován v Praze 6 - Dejvice. Jedná se o CHÚC typu B bez samostatně větrané požární předsíně. CHÚC spojuje 14 nadzemních a 2 podzemní podlaží objektu, přičemž schodiště končí ve 13.NP. Ve 14.NP se nachází pouze světlík, kterým je odváděn vzduch při přetlakovém větrání CHÚC.

V tomto objektu se nachází dvě CHÚC typu B bez požární předsíně. Vybraná CHÚC se nachází v jihovýchodní části objektu. Do CHÚC neústí žádný výtah a je tvořena pouze dvouramenným schodištěm s podestami.

Výběr této CHÚC byl podmíněn znalostí objektu, jednoduchou dispozicí, dostupností podkladů a také faktem, že již byla jednou ověřována měřením. Měření v roce 2022 provedl Bc. Lukáš Jordán.

4.1 Projektová dokumentace

Pro ověřování naměřených hodnot přetlakového větrání v CHÚC bylo vycházeno ze získaných dokumentací, které byly vypracovány Ing. F. Kubecem (2002) [19] a Ing. Martinem Pospíšilem (2011) [18].

V roce 2002 vypracoval Ing. F. Kubec dokumentaci požárního zabezpečení vybraného objektu, která obsahuje návrh HVAC v chráněných únikových cestách výše zmíněného objektu. Návrh je koncipován tak aby byly splněny požadavky ČSN, investora, bezpečnostní a hygienické předpisy. Požární větrání CHÚC bylo navrženo dle ČSN, expertizní zprávy REPO (Ing. Reichel) a PBŘ, které vypracoval Ing. Laurin. Vybraná CHÚC (ozn. A2) je větrána radiálním ventilátorem, který je umístěn na střeše v exteriéru. Ventilátor distribuuje vzduch přes svislé potrubí, které vede po celé výšce objektu instalační šachtou, k jednotlivým stěnovým vyústkám. V nejvyšším místě CHÚC je navržena samočinná přetlaková klapka, která zajistí přetlak 25-100 Pa při zavřených oknech a dveřích z CHÚC. Z dokumentace je převzato schéma pro CHÚC-B s označením A2 viz Obr. 14 [19]. Dokumentace uvádí následující návrhové hodnoty:

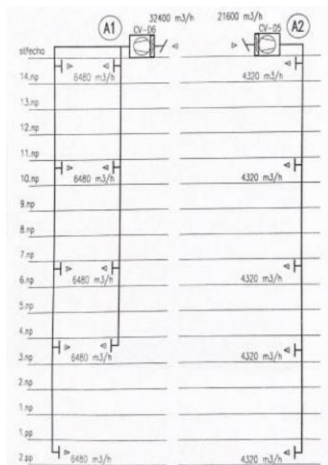
- objem CHÚC: 1 309 m³,
- požadovaná výměna: 15x ·h⁻¹,
- vypočtený objemový průtok přívodního vzduchu: 19 635 m³h⁻¹,
- navržený objemový průtok přívodního vzduchu: 21 600 m³h⁻¹,
- navržený objemový průtok přívodního vzduchu: 6,0 m³s⁻¹,
- minimální přetlak 25 Pa.

V roce 2011 Ing. Martin Pospíšil vypracoval dokumentaci PBŘ zabývající se realizací energeticky úsporných opatření vybrané budovy. Toto PBŘ bylo zpracováno pro stanovení podmínek provedení nového obvodového a střešního pláště budovy. Z PBŘ plynou následující požadavky na větrání vybrané CHÚC-B:

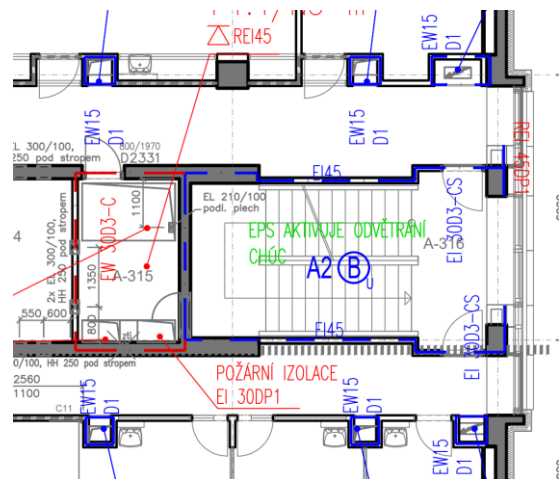
- CHÚC bude větrána uměle a přetlakově,
- Přetlak mezi CHÚC a ostatními prostory bude nejméně 25 Pa,
- požadovaná výměna min. 15x ·h⁻¹,
- doba provozu větrání min. 45 min,

- pro zajištění požadovaného přetlaku v CHÚC je navržen v nejvyšším místě CHÚC světlík, samočinně otevíratelný při dosažení horní meze přetlaku max. 100 Pa. [18]

Pro ověřování návrhových hodnot HVAC z dokumentací [18, 19] vyplývá, že mezi prostorem CHÚC a ostatními přilehlými prostory je stanoven přetlak 25-100 Pa, navržený objemový průtok přívodního vzduchu je stanoven na 21 600 m³·h⁻¹ (4 320 m³·h⁻¹ na každé stěnové vyústce).



Obr. 14 — Schéma přetlakového větrání CHÚC [19]



Obr. 15 — Půdorys vybrané CHÚC ve 2.NP [18]

5 Revize CHÚC

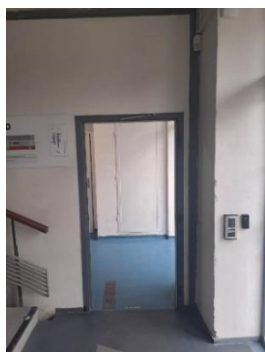
V rámci seminární práce 124SEM [7] proběhla revize stávajícího stavu CHÚC-B. Součástí revize byla prohlídka veřejnosti přístupné (schodišťového prostoru) i veřejnosti nepřístupné částí objektu. Revize veřejnosti nepřístupných míst probíhala v technických místnostech a na střeše.

Revize schodišťového prostoru byla zaměřená převážně na funkčnost požárních uzávěrů a stav vyústek požárního větrání CHÚC. Revize veřejnosti nepřístupných prostor byla zaměřena na kontrolu způsobu vedení potrubí, potrubní rozměry, vizuální kontrolu potrubí a schodu či neshodu s výkresovou dokumentací.

5.1 Revize CHÚC – požární uzávěry

Při revizi k datu 27.2.2023 byly nalezeny nedostatky převážně u požárních uzávěrů. V 1.NP chyběly požární dveře na jedné straně (Obr. 16), na straně druhé bylo zabráněno samozavírači k uzavření dveří (Obr. 17). Jestliže v přetlakově větrané CHÚC chybí uzávěry, nebo je zabráněno jejich uzavření, nemůže systém větrání správně fungovat. Těmito otvory by docházelo k rapidnímu úniku tlaku v CHÚC. Osoby unikající po této CHÚC by mohli být ohroženi požárem.

Mezi 2.NP až 13.NP byly dveře s následujícím výčtem nedostatků: prasklé dveřní křídlo v oblasti kování (Obr. 18), dveřní křídlo nedoléhá na zárubeň (Obr. 19), chybějící těsnění na dveřním křídle i zárubni (Obr. 20, Obr. 21). Nedoléhající dveřní křídlo na zárubeň bylo nejčastějším nedostatkem. Tento nedostatek se nacházel takřka na každém podlaží. Vlivem těchto nedostatků se ztrácí tlak v CHÚC, tím pádem nemusí být zaručen správný chod a funkce přetlaku. Nežádoucím efektem netěsností je pronikání zplodin hoření do CHÚC.



Obr. 16 — Chybějící dveře CHÚC (1.PP)



Obr. 17 — Dveře, zabráněno zavření (1.PP)



Obr. 18 — Poškozené dveřní křídlo (6.NP)



Obr. 19 — Nedovřené dveře (6.NP)



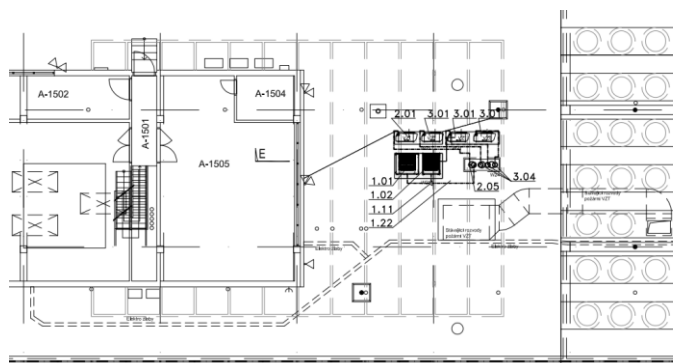
Obr. 20 — Chybějící těsnění na zárubni (2.NP)



Obr. 21 — Chybějící těsnění na zárubni (3.NP)

5.2 Revize CHÚC – střecha

Na střeše nad 14.NP se nachází ventilátor, který zásobuje požární větrání CHÚC vzduchem. Z ventilátoru (Obr. 23) vede směrem do instalační šachty u CHÚC potrubí o rozměrech 0,7x1 m (Obr. 24). Toto potrubí je vedeno v rozmezí 0,4-0,8 m nad úroveň střechy (nad štěrkem a hydroizolací). Potrubí je opatřeno izolací cca 10 mm. Na střeše se nachází také požární rozvodna v místnosti A-1502 (Obr. 22). Z požární rozvodny lze ovládat veškeré požární větrání CHÚC v budově (Obr. 25, Obr. 26).



Obr. 22 — Půdorys střechy [20]



Obr. 23 — Fotografie zakrytování ventilátoru (nasávací otvory)



Obr. 24 — Fotografie ventilátoru a potrubí HVAC

Na střeše se také nachází světlík o rozměrech 0,9x2,4 m, který je otevíravý. Po spuštění požárního větrání v CHÚC dojde samočinně k jeho otevření (Obr. 27, Obr. 29). Pod světlíkem se nachází šachta přes celé 14.NP a ústí do schodišťového prostoru v 13.NP (Obr. 28).



Obr. 25 — Požární rozvodna



Obr. 26 — Ovládací panel v požární rozvodně [3]



Obr. 27 — Samočinně otevíravý světlík



Obr. 28 — Šachta světlíku (pohled z mezipodesty 13. NP)



Obr. 29 — Otevřený světlík [3]

5.3 Revize HVAC – 2.PP-13.NP

5.3.1 Veřejnosti nepřístupná část potrubí

Revize veřejnosti nepřístupné části probíhala v technických místnostech a archivech, prochází zde svislé potrubí HVAC. Svislé potrubí požárního větrání CHÚC v celé délce, včetně odboček k vyústkám, je izolováno cca 4 centimetry minerální izolací s hliníkovou folií. V několika místech na svislém potrubí požárního větrání dochází k odklonu směru nebo dochází k zmenšení průměru potrubí. Revize probíhala převážně na podlaží, kde se nacházejí odbočky k vyústkám (tj. 2.PP; 3.NP; 6.NP; 10.NP). Potrubí v oblasti 13.NP nebylo možné revidovat, jelikož se nacházelo za obkladem v příručním skladu. Veškeré měření dimenzí se provádělo včetně izolace, aby nedošlo k jejímu poškození.

První revize proběhla v archivu s číslem místnosti A-s215 (2.PP). Zde se nachází pouze koleno k vyústce do CHÚC, svislé potrubí vzduchotechniky dále nepokračuje. Koleno k vyústce má rozměr 0,40 x 0,40 m. Za kolenem dochází k rozšíření na 0,60 x 0,40 m. Spodní hrana VZT se nachází ve výšce 1,75 m nad podlahou a dosahuje až ke stropu (Obr. 30).

Prostorem technické místnosti v 3.NP prochází potrubí o stejném průměru po celé výšce. Svislé potrubí má rozměr 0,48 x 0,80 m a koleno k vyústce má rozměr 0,48 x 0,48 m. Za kolenem je rozšíření do vyústky, tj. z šířky 0,48 m na šířku 1,05 m (Obr. 31).

Ve 6.NP za odbočkou k vyústce dochází ke změně průměru svislého potrubí VZT. Příchozí svislé potrubí z 7.NP má rozměr 0,86 x 0,58 m. Za kolenem se nachází redukce na 0,80 m x 0,48 m. Redukce má délku 0,3 m. Koleno k vyústce má rozměr 0,48 m x 0,48 m a nachází se ve výšce 0,90 m nad podlahou. Za kolenem je rozšíření do vyústky, tj. z šířky 0,48 m na šířku 1,05 m (Obr. 32).

V 10.NP po odbočce k vyústce dochází k posunutí svislého potrubí ke stěně CHÚC. V tomto podlaží se nenachází koleno ale přímá odbočka k vyústce (Obr. 33). K posunu dochází na potrubí průběžně tj. je osazen přechod o délce 0,30 m. Odbočka k vyústce má rozměr 0,48 x 0,48 m, v délce 0,30 m a rozšiřuje se k vyústce na 0,48 m na 1,05 m. V dolní části potrubí u podlahy je provedena redukce průřezu potrubí a to z 0,86 x 0,78 m na 0,86 x 0,58 m (Obr. 34). K redukci dochází na potrubí průběžně, a to na vzdálenosti 0,30 m.

Dále proběhla revize na podlažích 12. NP, 13.NP a 14. NP. V 12. NP prochází přímé potrubí, bez odboček a kolen, o rozměrech 0,86 x 0,78 m (Obr. 35). V místech 13. NP a 14. NP bylo potrubí umístěno za příčky ze sádkartonu, tudíž nebylo možné udělat fotodokumentaci. Vyústka ve 13.NP by měla být provedena obdobně jako u 10. NP (Obr. 33).

Prudké rozšíření potrubí před vyústkami má za následek pokles rychlosti proudění vzduchu na jedné ze stran. Tento pokles je možné sledovat u výsledků z funkční zkoušky v roce 2022 [3] i při zkoušce nové v rámci této diplomové práce (kapitola 9.3). Pro lepší představu, jakým způsobem je provedeno napojení VZT potrubí na vyústky, byly vypracovány půdorysná schémata (Obr. 36 a Obr. 37). Pokles rychlostí proudění vzduchu, zjištění při zkoušce 2023, je znázorněn barevně v kapitole 9.3 této diplomové práce.



Obr. 30 — Fotografie rozvodu VZT 2.PP



Obr. 31 — Fotografie rozvodu VZT 3.NP



Obr. 32 — Fotografie rozvodu VZT 6.NP



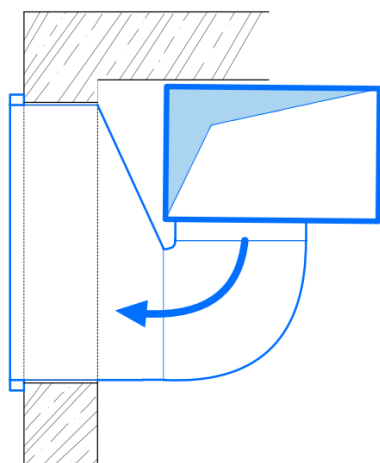
Obr. 33 — Fotografie rozvodu VZT 10.NP



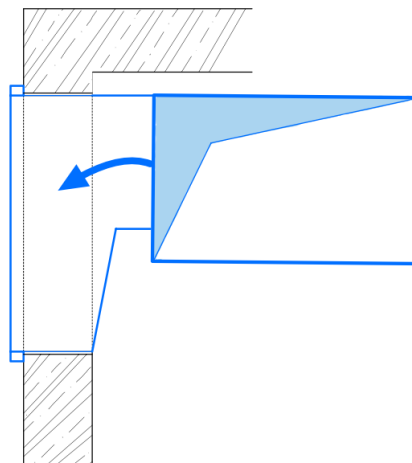
Obr. 34 — Fotografie rozvodu VZT 10.NP



Obr. 35 — Fotografie rozvodu VZT 12.NP



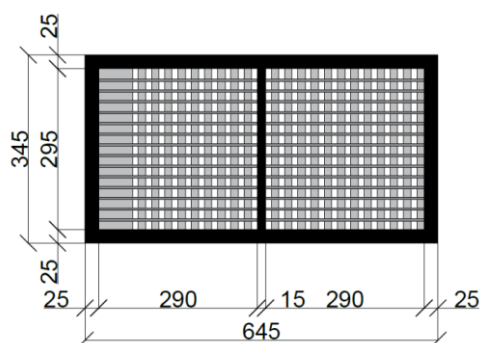
Obr. 36 — Půdorysné schéma napojení VZT potrubí na vyústky (3.NP a 6.NP)



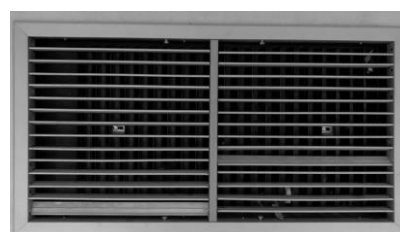
Obr. 37 — Půdorysné schéma napojení VZT potrubí na vyústky (10.NP a 13.NP)

5.3.2 Veřejnosti přístupná část potrubí

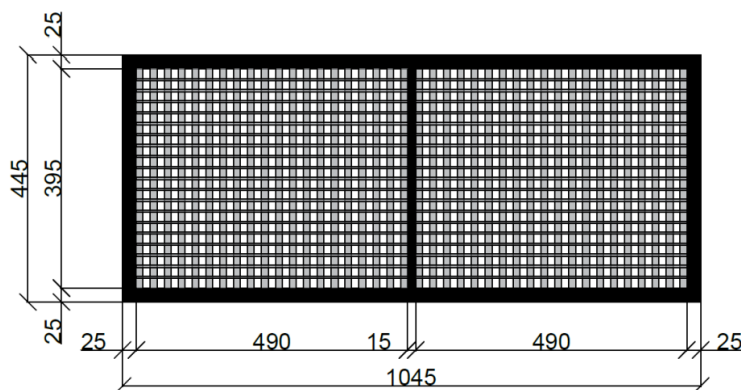
Revize veřejnosti přístupné části probíhala na vyústkách požárního větrání CHÚC, které se nacházejí na 2.PP, 3.NP, 6.NP, 10.NP a 13.NP. V celé CHÚC se nacházejí pouze dva rozměry vyústek. Vyústky se nacházejí pod stropní konstrukcí nebo pod mezipodestou. U některých vyústek bylo zjištěno poškození listů. Fotografie a schéma s rozměry jsou převzaty z práce Bc. Jordána [3]. Stav vyústek z roku 2022 je stejný i v roce 2023.



Obr. 38 — Rozměry vyústky 2.PP [3]



Obr. 39 — Fotografie vyústky 2.PP [3]



Obr. 40 — Rozměry vyústky 3.NP-13.NP [3]



Obr. 41 — Fotografie vyústky 3.NP [3]



Obr. 42 — Fotografie vyústky 6.NP [3]



Obr. 43 — Fotografie vyústky 10.NP [3]



Obr. 44 — Fotografie vyústky 13.NP [3]

6 Modelování CHÚC

6.1 Obecně k modelování

K vymodelování prostoru CHÚC a jejího požárního větrání byl zvolen program FDS (Fire Dynamics Simulator) (verze 6.8.0). FDS využívá systému rovnic založeného na modelu turbulentní proudění nazývaného Large Eddy Simulation (LES). Základní rovnice, které FDS využívá jsou rovnice zachování hmotnosti, hybnosti a energie pro stacionární a nestacionární proudění. Tyto rovnice jsou známé jako Navierovy-Stokesovy rovnice. V další řadě byl využit pro vizualizaci software Smokeview (verze 6.8.0). Pro snazší psaní vstupního kódu pro výpočet byl použit program Notepad++ s nadstavbou pro FDS. Tento program zvýrazní barevně jednotlivé části kódů pro lepší přehlednost (Obr. 45).

```

=====
2PP
=====
&OBST ID='stena1', XB=0,6.7,-0.2,0,0,4, COLOR='GRAY',/
&OBST ID='stena2', XB=6.7,6.9,-0.2,3.7,0.0,4, COLOR='GRAY',/
&OBST ID='stena3', XB=0,6.7,3.5,3.7,0,4, COLOR='GRAY',/
&OBST ID='stena4', XB=-0.2,0,-0.2,3.7,0,4, COLOR='GRAY',/

&OBST ID='Bschod1', XB=1.3,1.6,2.3,3.5,1.9,2, COLOR='YELLOW',/
&OBST ID='Bschod2', XB=1.6,1.9,2.3,3.5,1.7,1.9, COLOR='YELLOW',/
&OBST ID='Bschod3', XB=1.9,2.2,2.3,3.5,1.5,1.7, COLOR='YELLOW',/
&OBST ID='Bschod4', XB=2.2,2.5,2.3,3.5,1.3,1.5, COLOR='YELLOW',/
&OBST ID='Bschod5',XB=2.5,2.8,2.3,3.5,1.1,1.3, COLOR='YELLOW',/
&OBST ID='Bschod6',XB=2.8,3.1,2.3,3.5,0.9,1.1, COLOR='YELLOW',/
&OBST ID='Bschod7',XB=3.1,3.4,2.3,3.5,0.7,0.9, COLOR='YELLOW',/
&OBST ID='Bschod8',XB=3.4,3.7,2.3,3.5,0.5,0.7, COLOR='YELLOW',/
&OBST ID='Bschod9',XB=3.7,4.0,2.3,3.5,0.2,0.5, COLOR='YELLOW',/
&OBST ID='Bschod10',XB=4.0,4.3,2.3,3.5,0,0.2, COLOR='YELLOW',/

```

Obr. 45— Ukázka FDS kódu v programu Notepad++ s nadstavbou pro FDS

6.2 Obecně k FDS

FDS (Fire Dynamics Simulator) je softwarový program vyvinutý National Institute of Standards and Technology (NIST) Spojených států amerických pro počítačovou simulaci požáru. FDS je určen pro studium chování požárů v různých prostředích a objektech a umožňuje modelování vývoje požáru, šíření tepla, produkce kouře a dalších důležitých aspektů.

FDS je založen na počítačovém modelu, který simuluje fyzikální procesy spojené s požárem, jako je spalování paliva, šíření tepla, konvekce a difuze. Program umožňuje uživatelům vytvářet podrobné 3D modely prostředí, včetně stavebních prvků, jako jsou místnosti, stěny, schodiště a další. Hlavním cílem FDS je poskytnout uživatelům nástroj pro analýzu a predikci chování požáru ve stavbách a dalších objektech.

Program umožňuje provádět simulace různých scénářů požáru a zkoumat jejich dopady na prostředí, včetně šíření dýmu, teploty, rychlosti šíření požáru a dalších faktorů. FDS je široce využíván v oblasti požárního inženýrství, kde pomáhá při návrhu bezpečnostních opatření, optimalizaci evakuačních plánů a posouzení rizik spojených s požárem. Program je také využíván pro výzkum a vývoj požárních norem a předpisů. FDS je vysoce specializovaný program vyžadující znalosti požárního inženýrství a modelování fyzikálních procesů. Jeho výstupy mohou být velmi užitečné při posuzování bezpečnosti budov a při plánování preventivních opatření pro minimalizaci rizika požáru.

6.3 Model prostoru

Simulace funkce větrání bude provedena v prostoru o objemu 1360 m³. Samotný prostor CHÚC má rozměry 6,7 x 3,5 x 5,8 m. Tento prostor reprezentuje pouze schodišťový prostor CHÚC nikoliv model požárního větrání (k modelu HVAC více v kapitole 5.5). Prostor byl rozšířen o 0,2 metru na každou stranu, aby velikost vnitřního rozměru CHÚC zůstala stejná i po zadání tloušťek okrajových stěn. Výpočetní síť simulace (MESH) byla dle citlivostní analýzy zvolena 10 x 10 x 10 cm. Takto zvolená výpočetní síť je dostatečně přesná, aby poskytovala relevantní informace o pohybu vzduchu a přetlaku v CHÚC. Rozměry schodů v prostoru CHÚC jsou upraveny v závislosti na výpočetní síti. Výpočetní síť je v programu definována následovně:

```
&MESH IJK=71,39,580, XB=-0.2,6.9,-0.2,3.7,0,58/
```

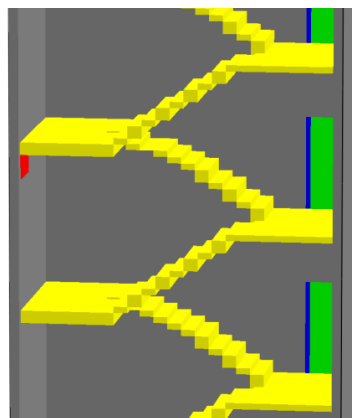
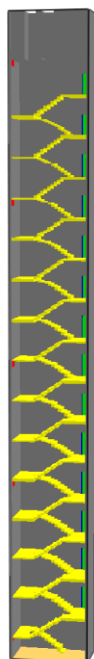
Výpočetní síť je určena souřadnicemi XB, do kterého se zadávají maximální a minimální souřadnice v trojrozměrném kartézském souřadném systému. Tedy musíme definovat rozměr výpočetní sítě ve formátu XB=x₁; x₂; y₁; y₂; z₁; z₂. Celá výpočetní síť je poté rozdělena na menší krychličky, které mají ve svém prostoru stejné vlastnosti. Počet těchto krychliček je definovaný pomocí IJK, kde se zadává počet krychliček v jednotlivých souřadných osách. V tomto případě je 71 krychlí ve směru osy X, 39 krychlí ve směru Y, 580 krychlí ve směru Z. Při přepočtu se jedná o krychli, jako 1 výpočtovou oblast o výše zmíněných 10 x 10 x 10 cm. Obecně platí, že čím více krychlí (jemnější MESH) tím je přesnější výsledek. Ovšem je potřeba mít na paměti, že jemnějším MESHem se prodlužuje také výpočetní čas a požadavky na hardware.

K vymodelování prostoru bylo užito kódu &OBST neboli „*Obstructions*“, pomocí kterého se vytváří pevná tělesa v pravouhlé síti. Pro tyto objekty lze definovat vlastnosti pomocí kódu &SURF. V našem případě, kdy se řeší pouze model šíření vzduchu, který má 20°C, je zbytečné tyto vlastnosti definovat. Veškeré pevné objekty slouží jen k vymezení prostoru, kudy může vzduch tlačенý z HVAC proudit. Pomocí &OBST byly vymodelovány stěny, podesty, mezipodesty, stupně schodů a požární uzávěry). Pro lepší pochopení si rozebereme příklad kódu stěny:

```
&OBST ID='stena1', XB=0,6.7,-0.2,0,53.8,58, COLOR='GRAY',MULT_ID='m1'/
&MULT ID='m1', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=13/
```

Na prvním řádku je příkaz &OBST, který udává, že se bude jednat o objekt. ID definuje název daného objektu, pomocí kterého je možné se odkazovat na jiné příkazy. Dále je zde XB, do kterého se zadávají maximální a minimální souřadnice v trojrozměrném kartézském souřadném systému. Musíme definovat rozměr objektu ve formátu XB=x₁; x₂; y₁; y₂; z₁; z₂. Příkazem COLOR lze definovat barvy pro vizualizaci ve SmokeView. Tato barva lze definovat buď příkazem slovním jako v tomto případě, nebo pomocí RGB čísla barvy.

Na druhém řádku je příklad příkazu &MULT, který rozkopíruje objekt kam potřebujeme, pokud se opakuje. Opět se zde zadává ID pro definici názvu kopírování. Na konci kódu objektu je ID „m1“ zmíněno. Tímto zmíněním jsou příkazy propojeny a FDS ví, že má daný objekt rozkopírovat podle následujících parametrů: DX/DY/DZ, což udává o kolik má být kopie posuta vůči originálu. Výrazy X, Y a Z udávají, vůči které ose souřadného systému posun probíhá. Číslo za rovnítkem poté o kolik bude posun kopie. K_LOWER/K_UPPER definuje počet kopií v záporném/kladném směru po ose. Zde je uveden příklad 13 kopií v kladném směru osy Z o 3,6 metrů.



Obr. 46 — Vizualizace celého modelu CHÚC Obr. 47 — Detail dvou podlaží CHÚC v 1. a 2. NP

6.4 Model netěsností

U funkčnosti CHÚC hraje velkou roli správné užívání zařízení a údržba. Při revizi k datu 27.2.2023 byly nalezeny nedostatky u požárních uzávěrů v CHÚC. V 1.NP chyběly požární dveře a samozavírače účinně neuzavřely dveře. Mezi 2.NP až 7.NP byly dveře s následujícím výčtem nedostatků: prasklé dveřního křídlo v oblasti kování, chybějící těsnění na dveřním křídle i zárubni. Vlivem těchto nedostatků se ztrácí tlak v CHÚC, tím pádem nemusí být zaručen správný chod a funkce přetlaku.

V modelu jsou uvažovány pouze netěsnosti dveří, a to pouze nedovřené dveře. Prvotní model je navržen tak, aby korespondoval se stavem CHÚC při měření HVAC v 2022 [3], při kterém byly dveře v 1.PP zavřené a chybějící dveře zalepené folií (Obr. 48). Je zde uvažováno pouze s netěsností dveří kolem zárubní.



Obr. 48 — Utěsnění dveří 1.PP [3]

V modelu je možné netěsnosti dveří vymodelovat dvěma způsoby:

- VENT: pro otvory větší než jedna buňka v MESH (min. šíře 0,1 m)
- LEAK: pro otvory menší než jedna buňka v MESH (šíře <0,1 m)

V modelu jsou uvažovány pouze netěsnosti pomocí LEAK, tedy menší, než je výpočetní síť MESH. Nejprve je třeba dveře vymodelovat pomocí kódu &OBST. Systém zadávání je obdobný jako u stěn viz kapitola 5.3. Dveře jsou rozděleny na dvě části, dveřní křídlo (zeleně) a netěsnost (modře) (Obr. 49, Obr. 50). Zelená část modelu dveří slouží jako bariera pro vzduch stejně jako stěny. Modrá netěsnost slouží jako základ pro vytvoření úniku vzduchu (pro otvor menší než MESH) pomocí LEAK. Příklad definice dveří v jedné stěně:

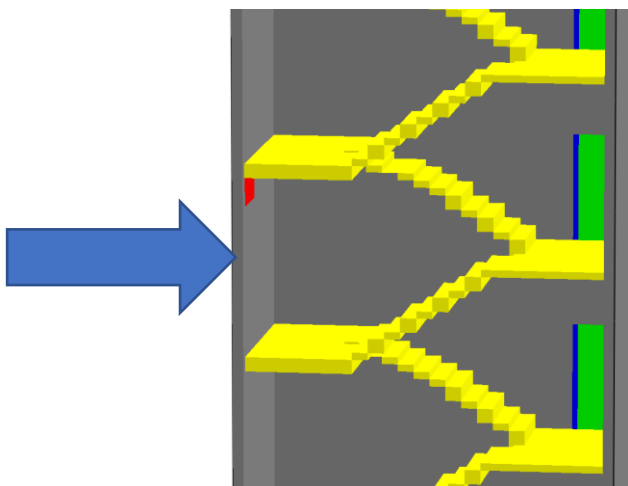
```
&OBST ID='stena1a', XB=0,5.7,-0.2,0,4,7.6, COLOR='GRAY',MULT_ID='m1' /
&OBST ID='stena1b', XB=5.7,6.6,-0.2,0,6,7.6, COLOR='GRAY',MULT_ID='m1' /
&OBST ID='stena1c', XB=6.6,6.7,-0.2,0,4,7.6, COLOR='GRAY',MULT_ID='m1' /
&OBST ID='Dvere', XB=5.8,6.6,-0.2,0,4,6, COLOR='GREEN',MULT_ID='m1' /
```

```
&OBST XB= 5.7,5.8,-0.2,0,4,6, COLOR='BLUE', SURF_ID='DOOR CRACK',MULT_ID='m1' /
&SURF ID='DOOR CRACK', LEAK_PATH=0,1/
&ZONE XYZ=1,1,1.0, LEAK_AREA(0)=0.02 /
```

Oproti jiným objektům si můžete všimnout příkazu &SURF, který v obecné rovině definuje povrchové vlastnosti prvků. Zde je pomocí &SURF definován LEAK_PATH, který udává směr úniku. Čísla udávají mezi, kterými zónami k úniku dochází. Pro správné fungování LEAK je potřeba udat zónu pomocí &ZONE. Tento příkaz funguje na principu bodu, jež se umístí do CHÚC a vytvoří zónu v ohraničeném prostoru objekty. Tudíž máme dvě zóny, jedna je CHÚC a druhá je vnější prostředí mimo model. Přes LEAK_AREA (0), je zadán únik o velikosti 0,02m² do zóny 0 (vnější prostředí). Plocha úniku odpovídá 0,01 m otvoru při výšce dveřního křídla 2 m.



Obr. 49 — Netěsnost dveří v realitě



Obr. 50 — Netěsnost dveří v modelu

6.5 Model vzduchotechniky

Program FDS disponuje systémem, který dokáže simulovat požární větrání (HVAC) mimo výpočetní síť MESH. Modelování HVAC je oprostěno od vytváření fyzických konstrukcí vzduchotechniky pomocí „Obstructions“. Tento systém umožňuje snadnější a rychlejší vytváření HVAC v daném prostoru. Jelikož tento systém je virtuální, tedy pouze výpočetní, nemusí

být fyzicky vázán na MESH v modelu, to umožňuje vytvářet nezaokrouhlený složitější systém vzduchotechniky nezávisle na výpočetní síti. Příklad zjednodušení HVAC potrubí je znázorněn na (Obr. 51).

Celý model HVAC je modelován pomocí aproximace vzduchotechnického potrubí do uzlů (NODE) a spojovacích prvků (DUCT), které simulují jednotlivá potrubí. Uzly se umísťují na místa začátku/konce HVAC nebo kde dochází ke změně rozměrů potrubní sítě (Obr. 51). Vlastnosti potrubí se vnášejí pomocí parametrů do prvků DUCT. Lze zde definovat například průřezová plocha, délka, průtok a ztráty. Ztráty jsou počítány z rovnice kontinuity (2) a rovnice ekvivalentní ztráty (3).

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2)$$

$$K_{\text{eff}} = \sum_i (k_{\text{minor}})_i \left(\frac{A_{\text{eff}}}{A_i} \right)^2 \quad (3)$$

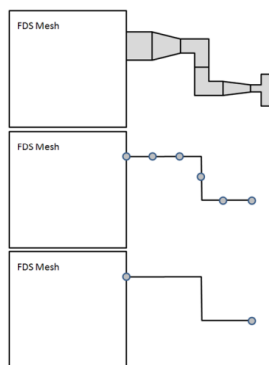
A_i Plocha průřezu [m^2]

A_{eff} Efektivní plocha průřezu [m^2]

v_i Rychlost proudění vzduchu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

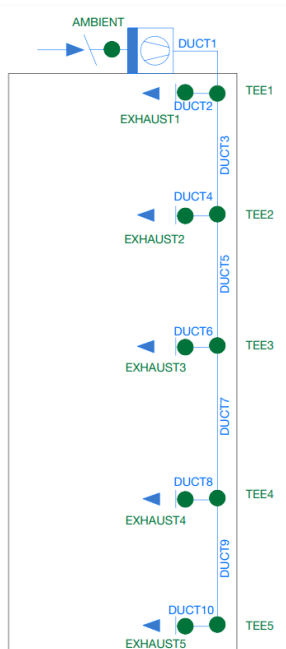
K_{eff} Efektivní ztráty potrubí [-]

k_{minor} Sekční ztráty potrubí [-]



Obr. 51 — Příklad zjednodušení HVAC [4]

Celý model HVAC je rozdělen do 11 NODE bodů a do 10 DUCT potrubí (Obr. 52). Body NODE jsou značeny AMBIENT, TEE a EXHAUST. Mají vždy přiřazené pořadové číslo vzestupně od střechy až po 2.PP. Bod AMBIENT udává v FDS interakci mezi vnějším prostředím a výpočetní sítí. V našem případě to je rozhraní mezi ventilátorem a vnějším prostředím na úrovni střechy. NODE body TEE jsou umístěny vždy na místo potrubí, kde je umístěná odbočka k vyústkám. Simuluje to tedy „T“ průřez, do kterého můžeme zadat vlastnosti na jednotlivé konce (Tabulka 2). Jak již bylo zmíněno výše modely HVAC jsou oproštěny od MESH sítě, je potřeba model HVAC následně propojit s MESH sítí. O toto napojení se postarají NODE body EXHAUST. Jsou to body, které ukončují model HVAC a jsou virtuálně propojeny s VENT plochami v modelu CHÚC. Tyto VENT plochy simulují vyústky. FDS vezme charakteristické vlastnosti vzduchu v bodu EXHAUST a přepočte je na vyústky. Prvky DUCT nahrazují VZT potrubí a propojují jednotlivé NODE body (Obr. 52) a jsou číslovány opět vzestupně od střechy po 2.PP. Na jednotlivé DUCT lze zadat vlastnosti potrubí a tím co nejlépe charakterizovat reálné podmínky v modlu (Tabulka 2).



Obr. 52 — Schéma HVAC v modelu s popisem DUCT a NODE

Tabulka 2 — Seznam NODE bodů s vlastnostmi

Seznam NODE s vlastnostmi						
Označení NODE	Propojení s prvkem (DUCT/VENT)			Ztráty ξ [-]		Poznámky
	1. pořadí	2. pořadí	3. pořadí	(1→2)*	(1→3)**	
EXHAUST1	DUCT2	VENT (vyústka 13.NP)	-	1	-	Virtuální propojení HVAC modelu s VENT (vyústkami). Ztráty ξ jsou způsobené přestupem mezi potrubím a CHÚC.
EXHAUST2	DUCT4	VENT (vyústka 10.NP)	-	1	-	
EXHAUST3	DUCT6	VENT (vyústka 6.NP)	-	1	-	
EXHAUST4	DUCT8	VENT (vyústka 3.NP)	-	1	-	
EXHAUST5	DUCT10	VENT (vyústka 2.PP)	-	1	-	
TEE1	DUCT1	DUCT2	DUCT3	0,3	0	Ztráty ξ jsou způsobené odbočením do ramene z svislého potrubí VZT
TEE2	DUCT3	DUCT4	DUCT5	0,3	0	
TEE3	DUCT5	DUCT6	DUCT7	0,3	0	
TEE4	DUCT7	DUCT8	DUCT9	0,3	0	
TEE5	DUCT9	DUCT10	-	1,3	-	Ztráty ξ jsou způsobené 90° kolenem.

Pozn.: *) Definované tlakové ztráty v bodu NODE proudící mezi prvkem pořadí 1. a 2.

***) Definované tlakové ztráty v bodu NODE proudící mezi prvkem pořadí 1. a 3.

[5] Hodnoty ztrát ξ byly převzaty z webu Engineeringtoolbox.com

Tabulka 3 — Seznam DUCT s vlastnostmi

Seznam DUCT s vlastnostmi							
Označení DUCT	Propojené NODE		Délka [m]	Průřezová plocha [m ²]	Ztráty ξ [-]	Ztráty třením k [-]	Poznámky
	1. pořadí	2. pořadí					
DUCT1	AMBIENT	TEE1	15	0,70	0	0,001	Umístěný FAN 6 m ³ ·s ⁻¹
DUCT2	TEE1	EXHAUST1	0,3	0,16	0,21	0,001	-
DUCT3	TEE1	TEE2	12,2	0,56	0	0,001	-
DUCT4	TEE2	EXHAUST2	0,3	0,16	0,21	0,001	-
DUCT5	TEE2	TEE3	14,6	0,42	0	0,001	-
DUCT6	TEE3	EXHAUST3	0,67	0,16	0,21	0,001	-
DUCT7	TEE3	TEE4	10,5	0,32	0	0,001	-
DUCT8	TEE4	EXHAUST4	0,67	0,16	0,21	0,001	-
DUCT9	TEE4	TEE5	14,5	0,28	0	0,001	-
DUCT10	TEE5	EXHAUST5	0,67	0,16	0,21	0,001	-

Pozn.: [5] Hodnoty tlakových ztrát ξ byly převzaty z webu Engineeringtoolbox.com

[6] Hodnoty ztrát třením k byly převzaty z webu Engineeringtoolbox.com

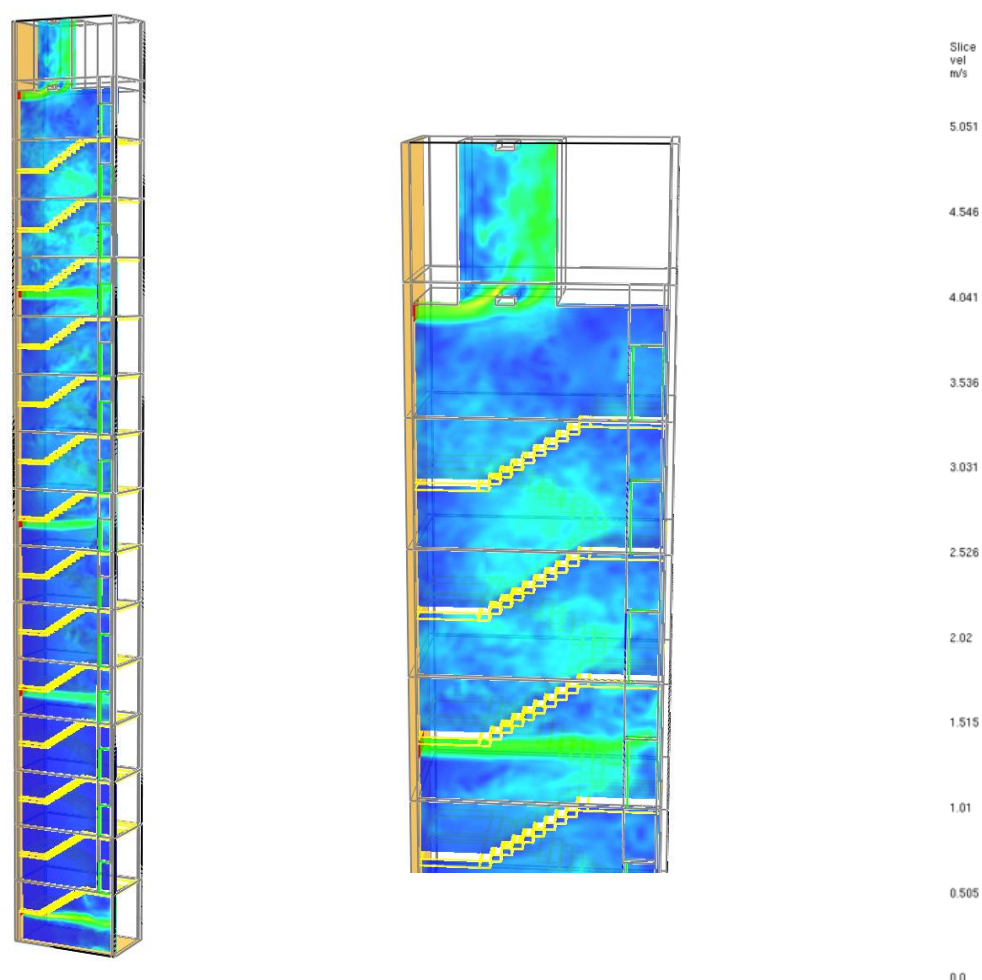
7 Vyhodnocení simulace

Výpočet modelu proběhl pro výpočetní čas 300 sekund. V Tabulce 4 naleznete výsledky střední rychlosti proudění vzduchu v_s naměřených na středu vyústek.

Tabulka 4 — Vyhodnocení vyústek

Místo měření	Střední rychlost proudění vzduchu v_s	Objemový průtok přepočet	Objemový průtok návrhový
	[$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	[$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$]	[$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$]
Vyústka 2.PP	4,58 ^{*)}	2822	4320
Vyústka 3.NP	2,20	3066	
Vyústka 6.NP	2,52	3512	
Vyústka 10.NP	3,52	4905	
Vyústka 13.NP	4,33	6034	

Pozn.: *) vyústka v 2.PP má menší rozměr než ostatní vyústky (645 x 345 mm).



Obr. 53 — Řez CHÚC zobrazující rychlost proudění vzduchu v_s v čase 50 s

Z tabulky 4 a Obr. 53 je patrné, že vyústky na podlaží 3.NP a 6.NP mají mnohem menší rychlost proudění vzduchu než vyústky v ostatních podlaží. Při opakované úpravě vstupních hodnot pro HVAC se hodnota pro v_s ustálila mezi 1,8~2,5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Celkový objemový průtok vzduchu je dán také velikostí vyústek, kde v 2.PP je vyústka jiných rozměrů oproti zbývajícím vyústkám. Porovnáním hodnot objemového průtoku vzduchu, který je vypočten z vzorců:

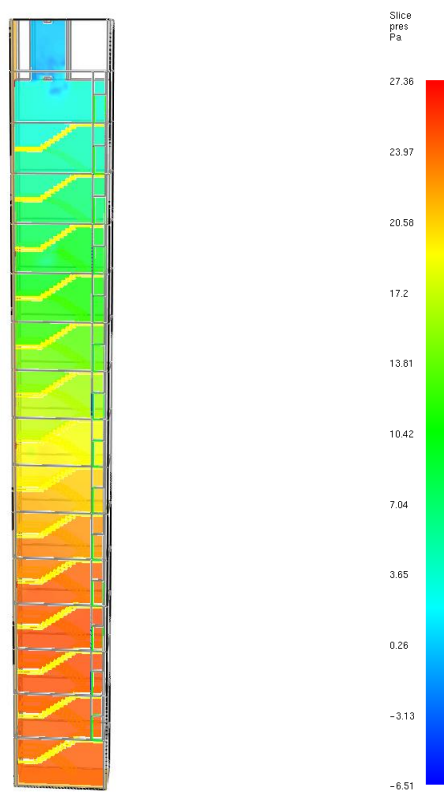
- $Q_{V,2.PP} (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}) = A_k \cdot v_s \cdot 3600 = 0,1711 \cdot 4,58 \cdot 3600 = 2822 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
- $Q_{V,3.NP} (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}) = A_k \cdot v_s \cdot 3600 = 0,3871 \cdot 2,20 \cdot 3600 = 3060 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
- $Q_{V,6.NP} (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}) = A_k \cdot v_s \cdot 3600 = 0,3871 \cdot 2,52 \cdot 3600 = 3512 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
- $Q_{V,10.NP} (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}) = A_k \cdot v_s \cdot 3600 = 0,3871 \cdot 3,52 \cdot 3600 = 4905 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
- $Q_{V,13.NP} (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}) = A_k \cdot v_s \cdot 3600 = 0,3871 \cdot 4,33 \cdot 3600 = 6034 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Tabulka 5 — Porovnání hodnot objemových průtoků vyústkami

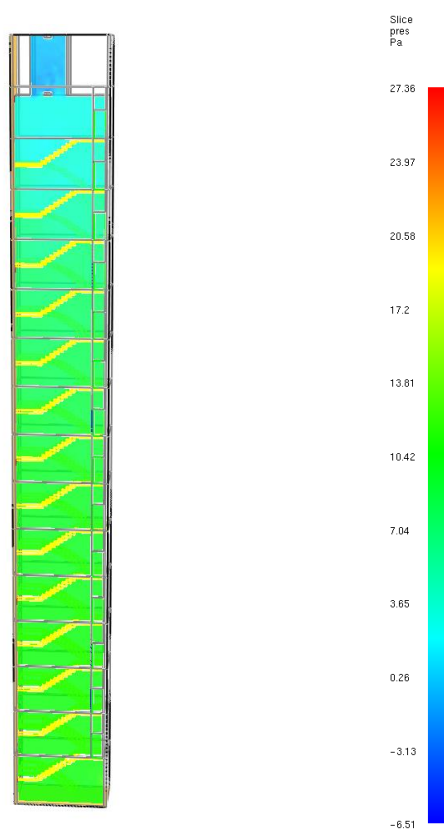
Místo měření	Objemový průtok přepočet	Objemový průtok návrhový	Rozdíl model/návrh
	Model [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	[$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	[%]
Vyústka 2.PP	2822	4320	-34,68
Vyústka 3.NP	3066		-29,03
Vyústka 6.NP	3512		-18,71
Vyústka 10.NP	4905		+1,54
Vyústka 13.NP	6034		+9,68

V tabulce 5 jsou uvedené výsledky objemových průtoků zjištěné z modelu FDS a jsou porovnané s návrhovým objemovým průtokem [18+19]. V posledním sloupci tabulky 5 je uveden rozdíl v % oproti návrhu.

Přetlak v CHÚC B by měl být 25 Pa. Na obrázcích (Obr. 54, Obr. 55) je vyobrazen tlak v CHÚC v průběhu simulace. Tlak se ustálí na cca 15 Pa. Tato hodnota může být reálná vzhledem k netěsnostem dveří v každém podlaží. Reálná hodnota přetlaku naměřená při zkoušce v roce 2022 byla 20,2 Pa.



Obr. 54 — Řez CHÚC zobrazující přetlak v čase 5 s



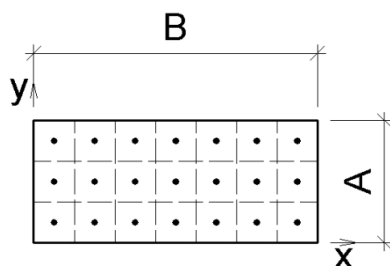
Obr. 55 — Řez CHÚC zobrazující přetlak v čase 50 s

8 Příprava před zahájením funkční zkoušky

8.1 Způsoby měření rychlosti proudění vzduchu

Při kontrole rychlosti proudění vzduchu v průchodu potrubím je důležité vybrat místo s konzistentním a stabilním prouděním bez vírů. Je klíčové zachovávat správný směr a polohu sondy při měření jednotlivých bodů. [10]

Měřicí metoda pro pravoúhle vzduchovody spočívá v rozdělení průřezu na menší části s rovnoměrnou plochou, kde měřicí body jsou umístěny uprostřed těchto částí (Obr. 56). [10]



Obr. 56 — Rozdělení pravoúhlého vzduchovodu na dílčí plochy stejné velikosti [10]

Počet měřících bodů, tedy sítě pro měření, se určuje podle [11] nebo [12], v závislosti na velikosti průřezu. Souřadnice měřících bodů se vyznačí na povrchu vzduchovodu. Pro měření rychlosti proudění vzduchu se běžně využívají dynamické rychlostní sondy jako Prandtlova trubice, Pitotova trubice nebo termoanemometry s teleskopickým držadlem. Sondy těchto zařízení se zasouvají do vzduchovodu skrz vyvrtané otvory o průměru 10 až 12 mm. Jejich směrová citlivost vyžaduje zachování souososti s proudem vzduchu pro přesná měření. Naměřená hodnota na zařízení se odečítá v daném bodě při ustáleném stavu a střední rychlost proudění vzduchu se vypočítá jako aritmetický průměr všech naměřených hodnot z dílčích průřezů. Po dokončení měření se vyvrtané otvory vhodně uzavřou. [10]

Pro provedení funkční zkoušky byly vypůjčeny kalibrované měřicí zařízení, které poskytla ČVUT Fakulta stavební – katedra technických zařízení budov (K125) a Státní zdravotní ústav. Těmito zařízení byly: termický anemometr, vrtulkový anemometr, manometr, dva druhy metrů, vlhkoměr a teploměr se záznamníkem. Využití jednotlivých měřících zařízení popsáno v kapitole 8.1.1.

8.1.1 Popis jednotlivých měřících zařízení

Testo 400 je univerzální přístroj na měření klimatických veličin, v našem případě byl přístroj propojen s rychlostními sondami, a tak fungoval jako anemometr. Přístroj Testo 400 (Obr. 57) byl zapůjčen se dvěma rychlostními sondami (Obr. 58). Každá ze sond pracuje na jiném principu měření.

Vlevo na Obr. 58 je sonda vrtulkového anemometru, která se skládá z teleskopického držáku a rotoru s lopatkami. Proud vzduchu, který narazí na lopatky roztáčí rotor. Rychlost otáčení je přímo úměrná rychlosti větru nebo průtoku vzduchu. Kalibrační list vrtulkové sondy naleznete v Příloze 1.

Vpravo na Obr. 58 je sonda termického anemometru se žhavenou kuličkou. Termický anemometr s žhavenou kuličkou je zařízení navržené k měření rychlosti proudění vzduchu. Princip jeho fungování spočívá v měření změny teploty ohřívajícího senzoru v proudícím vzduchu. Základním prvkem je žhavená kulička (senzor), která je ohřívána elektrickým proudem

na konstantní teplotu nad teplotou okolního prostředí. Když proud vzduchu proudí kolem měřícího zařízení, odnáší teplo z ohřátého senzoru, což způsobuje pokles teploty senzoru. Měřící zařízení sleduje změnu odchylky teploty senzoru od zvolené referenční teploty. Prouděním vzduchu je senzor ochlazován, přičemž tento chladící efekt je přímo úměrný rychlosti proudění vzduchu. Kalibrační list termického sondy naleznete v Příloze 2.



Obr. 57 — Příklad přístroje Testo 400



Obr. 58 — Sonda pro měření přístrojem Testo 400

Dalším zapůjčeným anemometrem byl Testo 417 (Obr. 59), což je lopatkový anemometr fungující na stejném principu jako Testo 400 s lopatkovou sondou. Výhodou tohoto zařízení je jeho kompaktnost. Příklad přístroje Testo 417 byl použit pro měření rychlosti proudění vzduchu na střeše objektu. Pro měření teploty a vlhkosti byly zapůjčeny přístroje COMET S3120E (Obr. 60), které byly využity pro měření exteriérových a interiérových podmínek. Datalogger zaznamenává teplotu a vlhkost. Naměřené hodnoty ukládá do vnitřní, energicky nezávislé paměti. Kalibrační list dataloggeru COMET S3120E naleznete v Příloze 3.



Obr. 59 — Příklad přístroje Testo 417



Obr. 60 — Teploměr, vlhkoměr se záznamem datalogger COMET S3120E

Protože jednotlivé metody měření průtoku vzduchu vykazovaly velké odlišnosti, byl v rámci diplomové práce stanoven cíl, navrhnout vlastní způsob měření rychlosti proudění vzduchu přes vyústky. Byla navržena jednoduchá konstrukce, na kterou byl připevněn igelitový

pytel určitého objemu. Při umístění této konstrukce na vyústku se zaznamenával čas naplnění pytle. Zaznamenaný čas se následně přepočel na průtok přes jednotlivé vyústky.

Na konstrukci bylo užito čtyřhranných hliníkových profilů o průřezu 20x20x1,5 mm od firmy ALBERTS® (Obr. 61), které byly zkráceny na příslušný rozměr. Na rohové spoje byly použity plastové XD spojky dvou typů (rohová a 90°) (Obr. 62 a Obr. 63).



Obr. 61 — Alu trubka 20x20x1,5 mm [21]



Obr. 62 — XD spojka 90° [22]



Obr. 63 — XD spojka s pravoúhlým vývodem [23]

Rohové XD spojky od firmy ALBERTS® se použily pro tvorbu konstrukce (Obr. 64, Obr. 65, Obr. 66) určené na vyústky v nadzemní části objektu kvůli montáži na pomocná madla. Madla z latí sloužila pro zvednutí konstrukce k vyústkám. Madla byla vyhotovena z latí, do kterých byl vyvrtán otvor zapadající do použitých XD spojek (Obr. 67).



Obr. 64 — Rám lapače pro 2.PP



Obr. 65 Ukázka spoje XD spojkami



Obr. 66 — Rám lapače 3.NP-13.NP



Obr. 67 — Ukázka XD spojky s pravoúhlým vývodem

Pro lapací pytel byly použity velkoobjemové pytle na odpad Manutan v objemu 1 000 litrů a tloušťky 37 μm (Obr. 68). Pytle byly slepeny v počtu 4 kusů za sebou, aby došlo k vytvoření většího objemu lapacího zařízení. Při lepení (Obr. 69) bylo dbáno na stejné přesahy spojů, a to 10 cm při každém spoji. Spoje byly vytvářeny vložení jednoho pytle do druhého, tak aby vnitřní přesah byl ve směru proudění vzduchu a netvořil kritické místo protržení. Celkový lapací pytel se skládal ze 3 pytlů na odpad s uříznutým dnem a jedním kompletním pytle na odpad. Nový pytel, před uříznutím dna, má tvar komolého kužele kvůli svaru. Poté co je svar odstraněn, vznikne tubus ve tvaru válce. Tato změna tvaru, kvůli odříznutí svaru, má za následek zvětšení objemu vzduchu pytle. Zvětšení objemu je patrné z rovnice (5) níže.



Obr. 68 — Igelitový pytel Manutan s objemem 1000 l



Obr. 69 — Lepení pytlů do jednoho celku

Pro výpočet objemu lapacího pytle se vychází z délky jednotlivých pytlů ($h_1 = 1,6$ m), obvodu hrdla pytle ($o = 3,2$ m) a přesahu při lepení ($h_2 = 0,1$ m). Z rovnice pro výpočet obvodu kruhu je vypočten průměr pytle, který činí 0,51 m (4). Je potřeba spočítat objem pytle, kterému byl odstraněn svár tvořící dno. Tento pytel tvoří válec o poloměru 51 cm a výšce 160 cm. Po dosazení do rovnice objem tohoto válce je 1,307 m^3 (5). Pro výsledný objem je potřeba započíst přesahy o velikosti 10 cm, které jsou vypočteny v rovnici níže (6). Přesahy jsou započteny čtyřikrát, tj. třikrát na spoje a jedenkrát na uchycení na hliníkovou konstrukci. Celkový objem lapacího pytle tedy činí dle rovnice (7) 4,593 m^3 .

$$r = \frac{o}{2\pi} = \frac{3,2}{2\pi} = 0,51 \text{ m} \quad (4)$$

$$V_{\text{uříznutý}} = \pi \cdot r^2 \cdot h_1 = \pi \cdot 0,51^2 \cdot 1,6 = 1,307 \text{ m}^3 \quad (5)$$

$$V_{\text{přesah}} = \pi \cdot r^2 \cdot h_2 = \pi \cdot 0,51^2 \cdot 0,1 = 0,082 \text{ m}^3 \quad (6)$$

$$V_{\text{lapací}} = V_{\text{nový}} + 3 \cdot V_{\text{uříznutý}} - 3 \cdot V_{\text{přesah}} = 1 + 3 \cdot 1,307 - 4 \cdot 0,082 = 4,593 \text{ m}^3 \quad (7)$$

Pro uchycení pytle bylo užito PVC U profilů od firmy ALBERTS® o rozměrech 20x21x1 mm (Obr. 70). Lapací pytel se protáhl z vnitřní strany hliníkové konstrukce (s přesahem 10 cm) a pomocí PVC U profilů se lapací pytel přichytil na hliníkovou konstrukci (Obr. 71).



Obr. 70 — PVC – U profil [24]

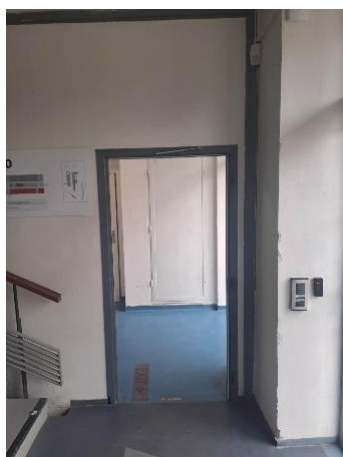


Obr. 71 — Uchycení pomocí PVC – U profilu

8.2 Revize před funkční zkouškou

Dne 20.11.2023 před funkční zkouškou vzduchotechniky proběhla revize vnitřních veřejnosti přístupných prostor (schodišťového prostoru), zda nedošlo ke změně vůči první revizi provedené 27.2.2023 [7]. Revize se týkala pouze veřejnosti přístupných prostor s předpokladem, že se s vzduchotechnikou v prostorách veřejnosti nepřístupných nemanipulovalo. Kontrola primárně probíhala na funkčnosti požárních uzávěrů a stavu vyústek požárního větrání CHÚC.

Při revizi k datu 27.2.2023 [7] byly nalezeny nedostatky převážně u požárních uzávěrů. V 1.NP chyběly požární dveře na jedné straně (Obr. 72), na straně druhé bylo zabráněno samozavírači k uzavření dveří (Obr. 73). Při nové revizi došlo k zjištění, že byly požární uzávěry nahrazeny novými. K výměně došlo i u zárubní (Obr. 74). Nové dveřní křídla se samozavíračem fungují bez problémově.



Obr. 72 — Chybějící dveře CHÚC (stav k 27.2.2023)



Obr. 73 — Dveře, zabráněno zavření (stav k 27.2.2023)



Obr. 74 — Nový stav dveří v 1.PP (stav k 20.11.2023)

Mezi 2.NP až 13.NP nedošlo k odstranění závad, které byly nalezeny při revizi provedené 27.2.2023 [7]. Byly zde nalezeny následující nedostatky: prasklé dveřního křídlo v oblasti kování, dveřní křídlo nedoléhá na zárubeň, chybějící těsnění na dveřním křídle i zárubni. Nejčastějším nedostatkem bylo nedoléhající dveřní křídlo na zárubeň.

Na 5.NP bylo nalezeno zajištěné dveřní křídlo v otevřeném stavu. Zamezení funkce samozavírače je v rozporu s požárním kodexem. Otevřené dveřní křídlo umožňuje šíření požáru a zplodin hoření do CHÚC. Po uvolnění dveřního křídla nedošlo k uzavření, lze předpokládat, že dveřní křídlo bylo takto zajištěno dlouhodobě. Výsledkem zajištění dveří je poškozený samozavírač.

Revize probíhala i na vyústkách požárního větrání CHÚC, které se nacházejí na 2.PP, 3.NP, 6.NP, 10.NP a 13.NP. U některých vyústek bylo zjištěno poškození listů ovšem nedošlo k zhoršení oproti roku 2022. Porovnání stavu vyústek v roce 2022 a v 2023 viz kapitola 11.

8.3 Zabezpečení bezpečnosti a neovlivnění zkoušky CHÚC

Před samotným zahájením zkoušky byly uzavřeny všechny okenní otvory, aby nedocházelo k ovlivnění proudění vzduchu při zkoušce. Měření v CHÚC bylo naplánováno na pondělí 20.11.2023, s ohledem na předpokládanou nízkou obsazenost objektu, způsobenou změnou provozu v tento den. I přes předpoklad nízké obsazenosti bylo potřeba zajistit bezpečnost a neovlivnění zkoušky vstupem jiných osob do prostor CHÚC. Na všech vstupech do CHÚC byly umístěny informační tabulky s páskou (Obr. 75). Tento systém prevence byl zvolen z několika důvodů. Páskou byla vytvořena fyzická bariéra zamezující vstup do CHÚC. Na informační tabulce bylo užito piktogramu, značící zákaz vstupu a nápisů „POZOR NEVSTUPOVAT“. Velikost a barva písma byla zvolena tak, aby upoutali pozornost nejvíce důležité informace (Obr. 76). Pro lepší vyrozumění bylo na informační tabulce napsán datum s časem konání zkoušky, odpovědné osoby za měření a prosba o použití jiných komunikačních prostor objektu. Grafika informační tabulky vychází z dotazníku vypracovaným Bc. Jordánem [3].



Obr. 75 – Zabezpečení dveří páskou

!!! POZOR !!!



NEVSTUPOVAT!

Dne 20.11.2023 od 13:00 probíhá
Probíhá funkční zkouška vzduchotechniky
Prosím použijte jiné schodiště.

Odpovědné osoby:
Bc. Josef Hajm
Ing. Pavla Hofbauer Pechová, Ph.D. (K125)

Obr. 76 – Grafika informační tabulky

9 Funkční zkouška – měření objemových průtoků vzduchu

Funkční zkouška proběhla dne 20.11.2023 od 13:00. Při měření se postupovalo od nejvyššího bodu vzduchotechnického systému požárního větrání, tedy od střechy až po podlaží 2.PP. Konec zkoušky byl naplánován v 14:45 s ohledem na omezení provozu objektu.

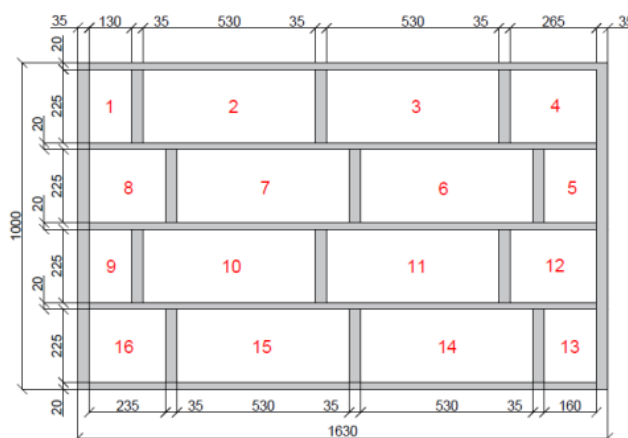
Podmínky řešení: Průměrná teplota před funkční zkouškou byla naměřená v exteriéru na střeše objektu 15,7 °C a relativní vlhkost byla 49,9 %. Vítr se pohyboval rychlostí 5,35 m·s⁻¹ severovýchodním směrem. Rychlost větru byla změřena přístrojem Testo 417. Průměrná teplota v interiéru na schodišti byla 18,3 °C a relativní vlhkost byla 42,4 %.

9.1 Objemový průtok nasávaného vzduchu

Přívod vzduchu zajišťuje venkovní radiální ventilátor na střeše budovy. Při měření bylo ověřováno, zda radiální ventilátor přivádí do CHÚC potřebné množství vzduchu dle původního návrhu. Pro určení množství nasávaného vzduchu byly jednotlivé nasávací otvory krytu ventilátoru podrobeny měření rychlosti proudění vzduchu. K tomuto účelu byl využit kalibrovaný lopatkový anemometr Testo 400. Sonda byla vkládána do středu otvorů (Obr. 77), za hranu krytu, aby nedošlo k ovlivnění měření okolními povětrnostními podmínkami. Systém měření byl zvolen stejný jako prováděl Bc. Jordán [3]. Průběh měření rychlosti proudění nasávaného vzduchu je znázorněn na Obr. 78. Tímto měřením bylo získáno celkem 16 hodnot, které jsou uvedeny v tabulce 6.



Obr. 77 — Průběh měření rychlosti proudění nasávaného vzduchu v nasávacím otvoru



Obr. 78— Schématické rozmístění nasávacích otvorů na krytu ventilátoru (rozměry uvedeny v mm) [3]

Tabulka 6 – výsledky měření nasávaného vzduchu

Objemový průtok nasávaného vzduchu			
Číslo otvoru	Rychlost proudění vzduchu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	Plocha nasávacího otvoru [m^2]	Objemový průtok nasávaného vzduchu [m^3/s]
1	5,62	0,0293	0,1647
2	4,36	0,1193	0,5201
3	3,84	0,1193	0,4581
4	2,5	0,0596	0,1490
5	5,41	0,0360	0,1948
6	5,24	0,1193	0,6251
7	3,07	0,1193	0,3663
8	3,63	0,0529	0,1920
9	3,89	0,0293	0,1140
10	5,24	0,1193	0,6251
11	4,71	0,1193	0,5619
12	2,92	0,0596	0,1740
13	3,81	0,0360	0,1372
14	3,99	0,0119	0,0476
15	5,7	0,1193	0,6800
16	2,8	0,0529	0,1481
Celkový objemový průtok nasávaného vzduchu [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]			5,1580
Celkový objemový průtok nasávaného vzduchu [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$]			18569

Měřením rychlosti proudění vzduchu v jednotlivých nasávacích otvorech bylo určeno, že množství vzduchu nasávaného systémem dosahuje $18569 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Z tohoto hlediska je objem vzduchu, který je nasáván je nedostatečný ve srovnání s navrženým objemem přívodního vzduchu ($21\,600 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$).

Hodnota, který byla při zkoušce naměřena může být ovlivněna prouděním větru. Vítr se pohyboval rychlostí $5,35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ severovýchodním směrem, tudíž rovnoběžně s ventilátorem. Při měření byla snaha zavést sondu anemometru za hranu krytu, ovšem to nebylo dostatečné. Měření v některých bodech se opakovalo z důvodů zastavení nebo opačného proudění vrtulky sondy anemometru.

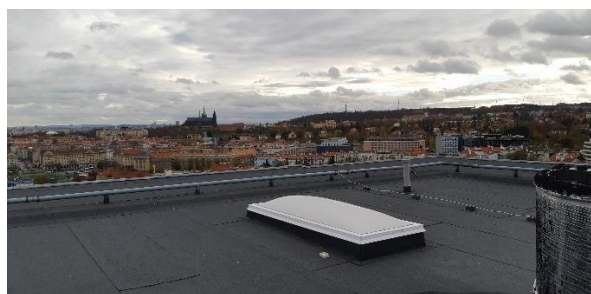
9.2 Objemový průtok odváděného vzduchu

V nejvyšším místě CHÚC se nachází odvodní samočinně otvíravý světlík (Obr. 79, Obr. 80), jehož užití je v rozporu s návrhovou projektovou dokumentací [3+19]. Dle návrhu zde má být umístěna přetlaková klapka, která umožňuje udržení a regulaci přetlaku v rámci CHÚC.

Měření objemového průtoku odváděného vzduchu z CHÚC proběhlo za účelem určení množství ztrát skrze netěsnosti v prostoru CHÚC při zavřených dveřích. Dalším aspektem měření je kontrola předešlého měření [3]. Vzhledem k faktu, že došlo k výměně problematických dveřních křídel (změna tlakových ztrát), je zde předpoklad vyššího objemového průtoku vzduchu přes světlík.

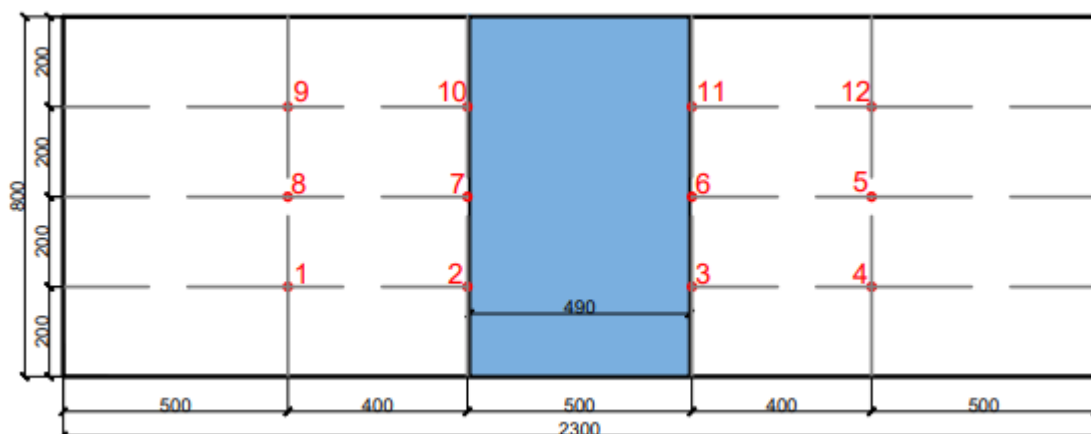


Obr. 79 — Otevřený samočinně otevíratelný světlík při simulaci požární situace [3]



Obr. 80 — Otevřený samočinně otevíratelný světlík při zavřeném stavu

Pro rychlosti proudění vzduchu, které byly použity k výpočtu průměrné rychlosti toku vzduchu a následnému objemovému průtoku odváděného vzduchu byla vytvořena měřicí síť na světlíku. Na této síti bylo naměřeno celkem 12 bodů, jak je znázorněno na schématu (Obr. 81). Anemometr byl vkládán do hloubky 350 mm od hrany světlíku. K měření byl použit kalibrovaný lopatkový anemometr Testo 400. Jak je ze schématu (Obr. 81) patrné, uprostřed světlíku se nachází železobetonový průvlak, který vzhledem k poloze měřících bodů ovlivní proudění vzduchu. Průměrná teplota před zkouškou byla naměřená v exteriéru na střeše objektu 15,7 °C a relativní vlhkost vzduchu byla 49,9 %.



Obr. 81 - Měřicí síť na samočinně otevíratelném světlíku (rozměry uvedeny v mm)

Tabulka 7 – Výsledky měření odváděného vzduchu

Měření odváděného vzduchu – lopatkový anemometr						
Č. bodu	1	2	3	4	5	6
v_x [m·s ⁻¹]	2,69	2,50	3,10	4,50	3,75	2,09
Č. bodu	10	11	12	13	14	15
v_x [m·s ⁻¹]	3,38	4,54	3,21	1,06	2,47	4,49

Z naměřených hodnot rychlosti proudění (tabulka 7) byla stanovena střední rychlost proudění vzduchu v_s na tomto samočinně otevíratelném světlíku následovně:

$$v_s = \frac{\sum_1^{12} v_x}{12} = \frac{37,78}{12} = 3,148 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (8)$$

Pro stanovení objemového průtoku odváděného vzduchu přes světlík je potřeba znát volnou výtokovou plochu A_k [m²] (9). Volná výtoková plocha je rovna půdorysné ploše světlíku. Železobetonový průvlak se neodečítá, protože měření proběhlo 15 cm nad průvlakem ve volné ploše světlíku. Následně dosadíme volnou výtokovou plochu A_k do rovnice (10) pro objemový průtok Q_v [m³·h⁻¹]

$$A_k = 0,8 \cdot A_{\text{světlík}} = 0,8 \cdot 2,3 = 1,84 \text{ m}^2 \quad (9)$$

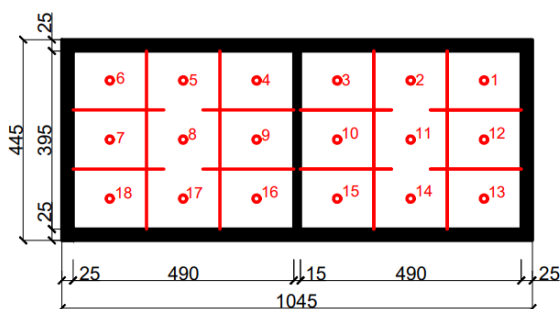
$$Q_v = A_k \cdot v_s \cdot 3600 = 1,84 \cdot 3,148 \cdot 3600 = 20\,852 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (10)$$

Výsledný objemový průtok přes otevřený světlík činí 20 852 m³·h⁻¹.

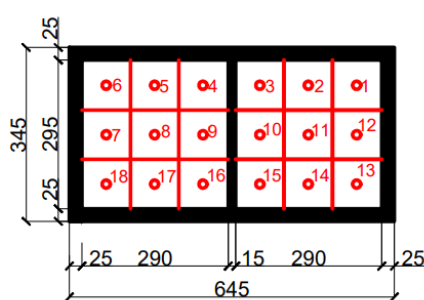
9.3 Objemový průtok přírodního vzduchu

Kontrolní měření pro ověření objemových průtoků přírodního vzduchu na vyústkách se konala v pracovní den, konkrétně v pondělí 20. listopadu 2023 uvnitř budovy během pracovní doby. Všechna měření probíhala za stabilních podmínek v rámci požárního větrání a byla dokončena během krátkého časového okna ve stejný den. Tím se snažilo minimalizovat vliv vnějších faktorů jako je vítr a teplota. Průměrná teplota naměřená v exteriéru na střeše objektu byla 15,7 °C a relativní vlhkost byla 49,9 %. Průměrná teplota v prostorách na schodišti uvnitř objektu byla 18,3 °C a relativní vlhkost byla 42,4 %.

Za účelem ověření správnosti návrhu předešlého měření a CFD modelu bylo provedeno měření uvnitř objektu, které probíhalo na všech vyústkách od 13.NP až po 2.PP. Dle kapitoly 7.1 byla připravena měřicí síť pro každou z vyústek o 18 měřících bodech. Rozmístění měřících bodů na vyústkách v 3.NP, 6.NP, 10.NP a 13.NP je znázorněno na Obr. 82 a na 2.PP je znázorněno na Obr. 83.



Obr. 82 — Měřicí síť na vyústce 3.NP-13.NP (rozměry uvedeny v mm)



Obr. 83 — Měřicí síť na vyústce 2.PP (rozměry uvedeny v mm)

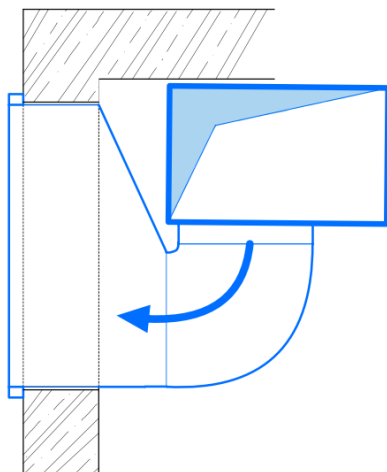
Na výše zmíněné měřicí síti proběhlo měření lopatkovým a termickým anemometrem. Dále měření pomocí lapače (popis konstrukce viz kapitola 7.1)

9.3.1 Měření rychlosti proudění vzduchu lopatkovým anemometrem

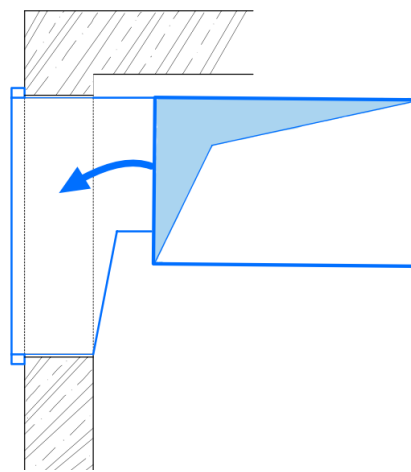
S měřením rychlosti proudění vzduchu se začínalo od nejvyššího podlaží, tedy 13.NP až po nejnižší 2.PP. Vyústka byla vždy rozdělena na 18 měřících bodů viz úvod v kapitole 9.3. Schéma umístění bodů je znázorněno výše na obrázcích Obr. 82 a Obr. 83.

Lopatkový anemometr se vždy umístil na bod tak, aby se osa sondy nacházela na měřeném bodě a aby plně sonda přiléhala k vyústce. Měření prováděli dvě osoby, přičemž jedna pouze odečítala hodnoty z přístroje Testo 400.

Výsledky měření, tedy jednotlivé rychlosti proudění vzduchu v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] na měřících bodech, byly zaneseny do tabulek pro následné vypočtení střední rychlosti vzduchu v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Střední rychlost proudění vzduchu je průměrná rychlost vzduchu na vyústce. Rychlosti proudění vzduchu v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] na měřících bodech byly také zaneseny do barevných schémat pro snadnější pozorování rozdělení rychlosti proudění vzduchu po ploše vyústek. Tyto barevná schémata slouží pro znázornění, jak moc je rychlost proudění vzduchu ovlivněna napojením VZT potrubí na vyústky. Nejvíce lze ovlivnění rychlosti proudění vzduchu pozorovat na vyústkách 3.NP, 6.NP, 10.NP a 13.NP. Na Obr. 84 a Obr. 85 jsou vyobrazeny tvary napojení VZT potrubí na vyústky v půdoryse.



Obr. 84 — Půdorysné schéma napojení VZT potrubí na vyústky (3.NP a 6.NP)



Obr. 85 — Půdorysné schéma napojení VZT potrubí na vyústky (10.NP a 13.NP)

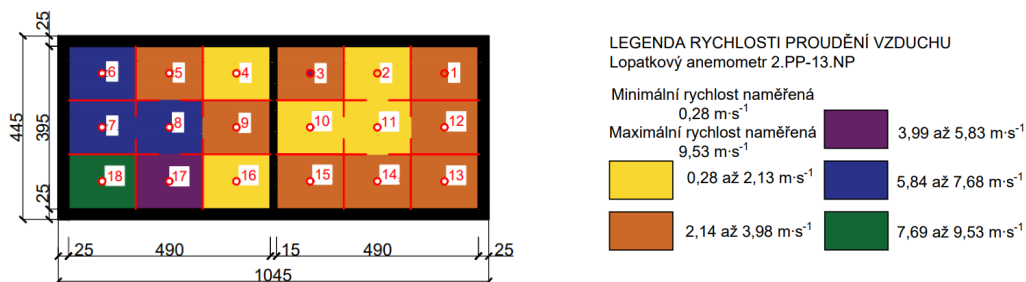
9.3.1.1 Výsledky měření 13.NP

Níže v tabulce 8 jsou uvedeny naměřené hodnoty rychlosti proudění vzduchu v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Aritmetickým průměrem byla stanovena střední rychlost proudění vzduchu v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] na vyústce ve 13. NP v rovnici **(11)**. Na Obr. 86 jsou graficky zaneseny jednotlivé rychlosti proudění vzduchu v_x na měřících bodech.

Tabulka 8 – Výsledky měření 13.NP

Měření vyústky 13.NP – lopatkový anemometr									
Č. bodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9
v_x [m·s ⁻¹]	2,18	1,79	2,50	2,12	2,36	6,65	7,01	6,98	2,89
Č. bodu	10	11	12	13	14	15	16	17	18
v_x [m·s ⁻¹]	0,28	1,11	2,32	2,73	3,68	3,17	1,97	4,52	8,56

$$v_s = \frac{\sum_{i=1}^{18} v_x}{18} = \frac{62,82}{18} = 3,49 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (11)$$



Obr. 86 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 13.NP

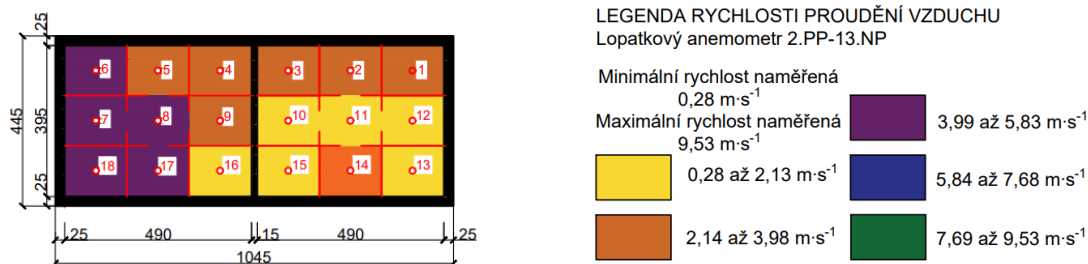
9.3.1.2 Výsledky měření 10.NP

Níže v tabulce 9 jsou uvedeny naměřené hodnoty rychlosti proudění vzduchu v_x [m·s⁻¹]. Aritmetickým průměrem byla stanovena střední rychlost proudění vzduchu v_s [m·s⁻¹] na vyústce ve 10. NP v rovnici (12). Na Obr. 87 jsou graficky zaneseny jednotlivé rychlosti proudění vzduchu v_x na měřících bodech.

Tabulka 9 – Výsledky měření 10.NP

Měření vyústky 10.NP – lopatkový anemometr									
Č. bodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9
v_x [m·s ⁻¹]	3,08	3,63	3,64	3,72	3,89	4,56	5,42	4,20	3,04
Č. bodu	10	11	12	13	14	15	16	17	18
v_x [m·s ⁻¹]	1,76	1,37	1,31	2,00	2,34	1,97	2,12	4,78	4,71

$$v_s = \frac{\sum_{i=1}^{18} v_x}{18} = \frac{57,54}{18} = 3,19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (12)$$



Obr. 87 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 10.NP

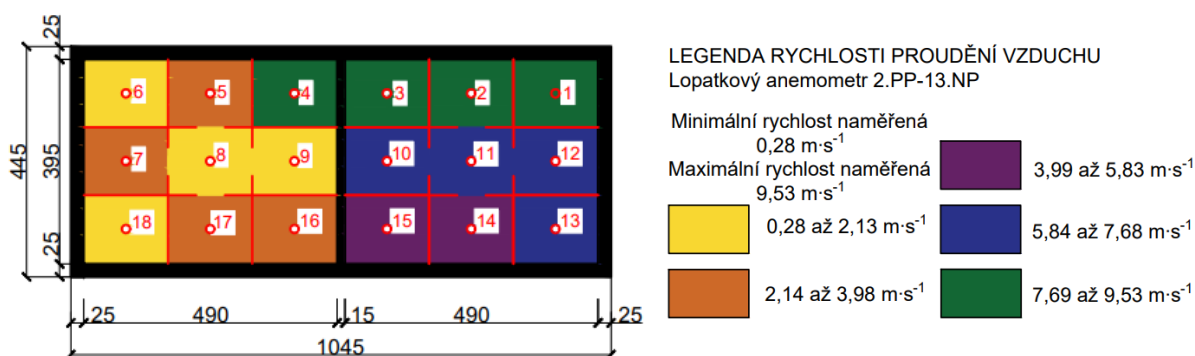
9.3.1.3 Výsledky měření 6.NP

Níže v tabulce 10 jsou uvedeny naměřené hodnoty rychlosti proudění vzduchu v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Aritmetickým průměrem byla stanovena střední rychlost proudění vzduchu v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] na vyústce ve 6. NP v rovnici (13). Na Obr. 88 jsou graficky zaneseny jednotlivé rychlosti proudění vzduchu v_x na měřících bodech.

Tabulka 10 – Výsledky měření 6.NP

Měření vyústky 6.NP – lopatkový anemometr									
Č. bodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9
v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	8,99	8,89	9,53	8,31	3,72	1,62	2,33	1,93	2,11
Č. bodu	10	11	12	13	14	15	16	17	18
v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	5,84	6,33	7,15	7,03	5,03	4,20	3,12	2,16	1,58

$$v_s = \frac{\sum_{i=1}^{18} v_x}{18} = \frac{89,87}{18} = 4,99 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad (13)$$



Obr. 88 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 6.NP

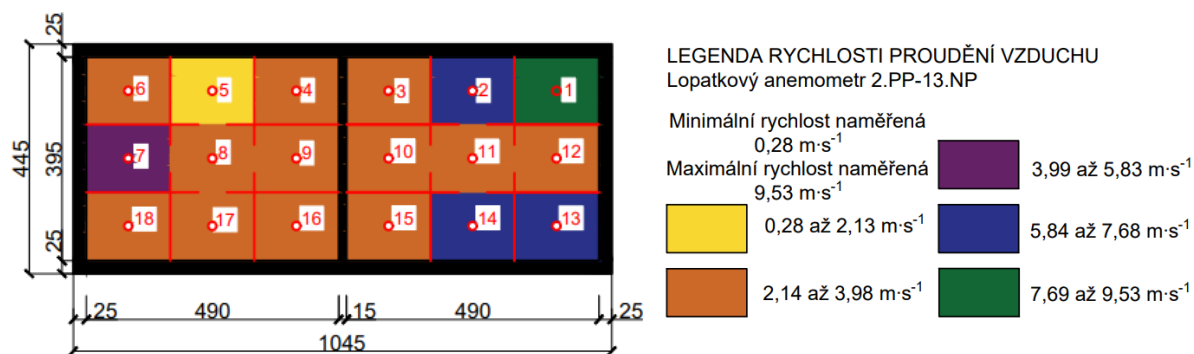
9.3.1.4 Výsledky měření 3.NP

Níže v tabulce 11 jsou uvedeny naměřené hodnoty rychlosti proudění vzduchu v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Aritmetickým průměrem byla stanovena střední rychlost proudění vzduchu v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] na vyústce ve 3. NP v rovnici (14). Na Obr. 89 jsou graficky zaneseny jednotlivé rychlosti proudění vzduchu v_x na měřících bodech.

Tabulka 11 – Výsledky měření 3.NP

Měření vyústky 3.NP – lopatkový anemometr									
Č. bodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9
v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	8,49	6,23	3,18	2,69	2,02	3,65	4,74	3,46	2,40
Č. bodu	10	11	12	13	14	15	16	17	18
v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,37	2,79	3,38	6,83	6,24	3,24	3,03	2,76	2,87

$$v_s = \frac{\sum_{i=1}^{18} v_x}{18} = \frac{70,37}{18} = 3,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad (14)$$



Obr. 89 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 3.NP

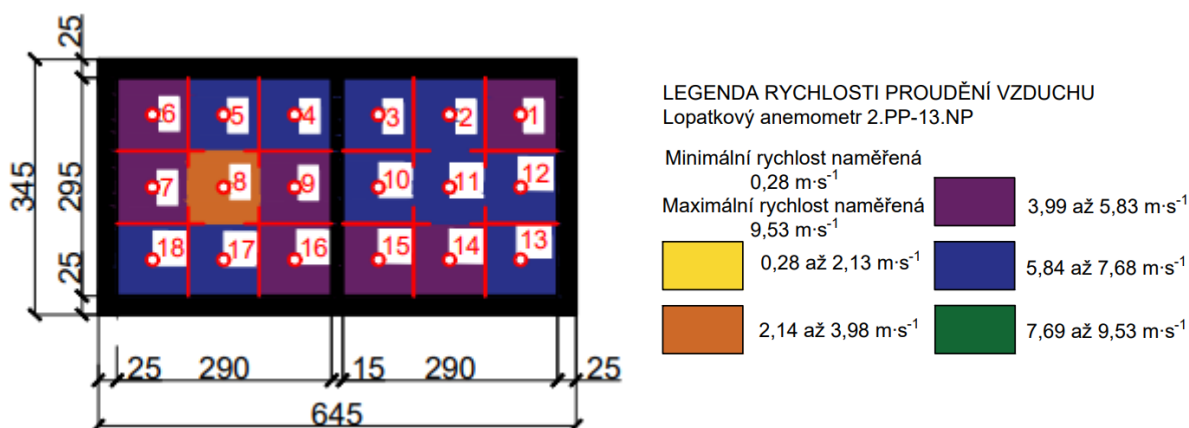
9.3.1.5 Výsledky měření 2.PP

Níže v tabulce 12 jsou uvedeny naměřené hodnoty rychlosti proudění vzduchu v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Aritmetickým průměrem byla stanovena střední rychlost proudění vzduchu v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] na vyústce ve 2. PP v rovnici (15). Na Obr. 90 jsou graficky zaneseny jednotlivé rychlosti proudění vzduchu v_x na měřících bodech.

Tabulka 12 – Výsledky měření 2.PP

Měření vyústky 2.PP – lopatkový anemometr									
Č. bodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9
v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	4,39	7,30	7,47	7,34	7,12	4,20	4,20	3,86	5,69
Č. bodu	10	11	12	13	14	15	16	17	18
v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	6,72	7,12	7,12	7,05	5,34	5,34	5,53	5,85	6,41

$$v_s = \frac{\sum_{i=1}^{18} v_x}{18} = \frac{108,05}{18} = 6,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad (15)$$



Obr. 90 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 2.PP

9.3.1.6 Závěr

Souhrn středních rychlostí proudění vzduchu na jednotlivých vyústkách je sepsán do tabulky 13. Ze schémat znázorňujících rozdělení rychlosti proudění vzduchu na plochách vyústek je patrné, že je rychlost proudění vzduchu ovlivněna napojením VZT potrubí na vyústky. Na vyústce 10.NP

a 13.NP se kumulují vyšší rychlosti proudění vzduchu na levé straně vyústky. U vyústek 3.NP a 6.NP se naopak kumulují vyšší rychlosti proudění vzduchu na pravé straně vyústky. Nižší rychlosti proudění vzduchu se nacházejí na opačné straně, kde dochází k rozšiřování napojení VZT potrubí. Na vyústce 2.PP dochází k rovnoměrnému rozdělení rychlosti proudění vzduchu po ploše, protože zde není prudké rozšíření napojovacího VZT potrubí.

Tabulka 13 – Souhrn středních rychlostí na vyústkách

Podlaží vyústky	Střední rychlost proudění vzduchu
	v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
13.NP	3,49
10.NP	3,19
6.NP	4,99
3.NP	3,90
2.PP	6,01

9.3.2 Měření rychlosti proudění vzduchu termickým anemometrem

Měření rychlosti proudění vzduchu probíhalo obdobným systémem jako u měření lopatkovým anemometrem. Začínalo se u vyústky v 13.NP a pokračovalo se do nižších podlaží až po vyústku ve 2.PP. Schéma umístění bodů je znázorněno na obrázcích Obr. 82 a Obr. 83.

Termický anemometr se vždy umístil na bod tak, aby žhavená část sondy se nacházela na měřeném bodě a aby nebyla v zákrytu s listy vyústky. Měření prováděli dvě osoby, přičemž jedna pouze odečítala hodnoty z přístroje Testo 400.

Výsledky měření, tedy jednotlivé rychlosti proudění vzduchu v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] na měřících bodech, byly zaneseny do tabulek pro následné vypočtení střední rychlosti vzduchu v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Střední rychlost proudění vzduchu je průměrná rychlost vzduchu na vyústce. Rychlosti proudění vzduchu v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] na měřících bodech byly také zaneseny do barevných schémat pro snadnější pozorování rozdělení rychlosti proudění vzduchu po ploše vyústek. Tyto barevná schémata slouží pro znázornění, jak moc je rychlost proudění vzduchu ovlivněna napojením VZT potrubí na vyústky.

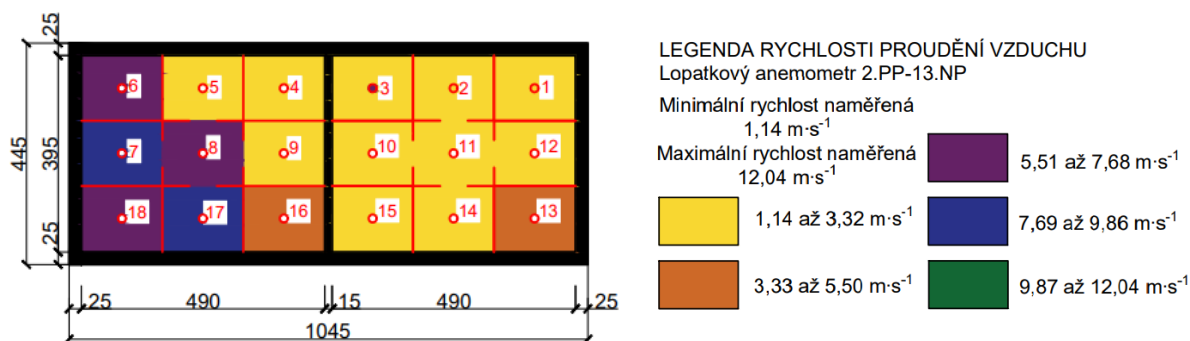
9.3.2.1 Výsledky měření 13.NP

Níže v tabulce 14 jsou uvedeny naměřené hodnoty rychlosti proudění vzduchu v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Aritmetickým průměrem byla stanovena střední rychlost proudění vzduchu v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] na vyústce ve 13. NP v rovnici (16). Na Obr. 91 jsou graficky zaneseny jednotlivé rychlosti proudění vzduchu v_x na měřících bodech.

Tabulka 14 – Výsledky měření 13.NP

Vyústka 13.NP – termický anemometr									
Č. bodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9
v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,76	2,6	2,27	1,22	2,93	7,57	9,59	5,89	2,85
Č. bodu	10	11	12	13	14	15	16	17	18
v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,18	1,14	2,29	3,63	3,29	2,58	3,58	8,41	7,11

$$v_s = \frac{\sum_{i=1}^{18} v_x}{18} = \frac{70,89}{18} = 3,94 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad (16)$$



Obr. 91 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 13.NP

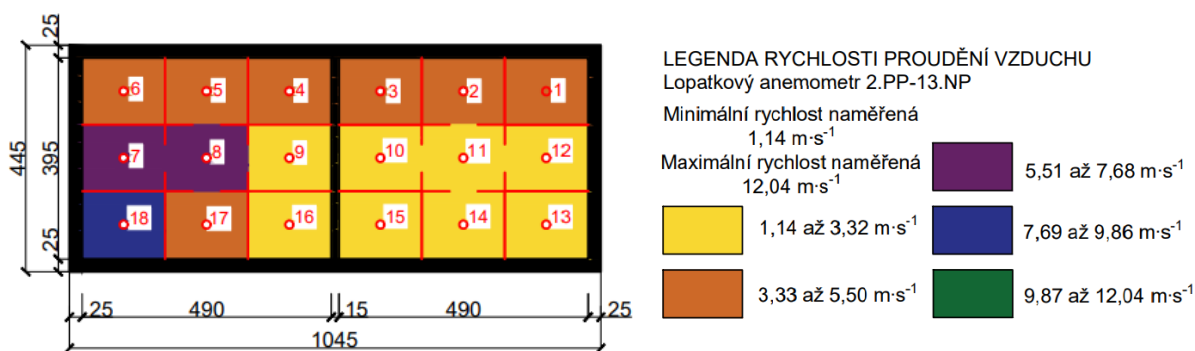
9.3.2.2 Výsledky měření 10.NP

Níže v tabulce 15 jsou uvedeny naměřené hodnoty rychlosti proudění vzduchu v_x [m·s⁻¹]. Aritmetickým průměrem byla stanovena střední rychlost proudění vzduchu v_s [m·s⁻¹] na vyústce ve 10. NP v rovnici (17). Na Obr. 92 jsou graficky zaneseny jednotlivé rychlosti proudění vzduchu v_x na měřících bodech.

Tabulka 15 – Výsledky měření 10.NP

Vyústka 10.NP – termický anemometr									
Č. bodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9
v_x [m·s ⁻¹]	3,73	4,52	4,39	3,71	4,51	5,03	7,17	5,63	3,12
Č. bodu	10	11	12	13	14	15	16	17	18
v_x [m·s ⁻¹]	1,98	1,63	1,87	2,35	2,27	2,47	3,11	4,18	7,86

$$v_s = \frac{\sum_1^{18} v_x}{18} = \frac{69,53}{18} = 3,86 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (17)$$



Obr. 92 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 10.NP

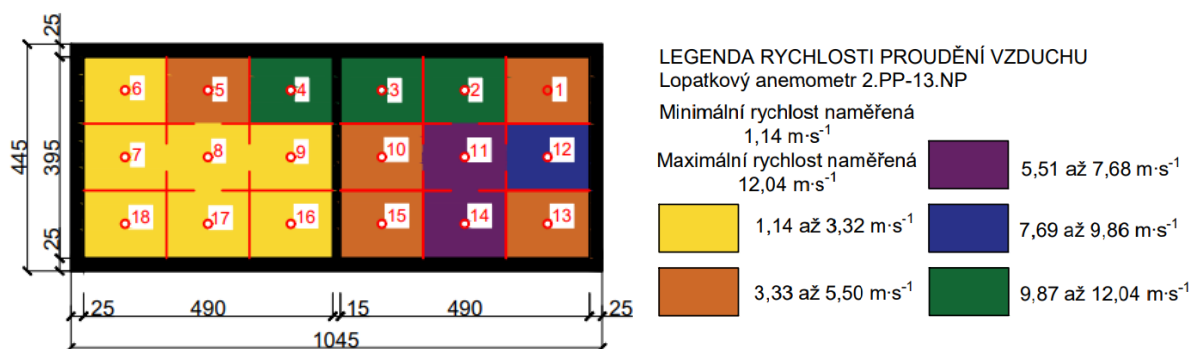
9.3.2.3 Výsledky měření 6.NP

Níže v tabulce 16 jsou uvedeny naměřené hodnoty rychlosti proudění vzduchu v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Aritmetickým průměrem byla stanovena střední rychlost proudění vzduchu v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] na vyústce ve 6. NP v rovnici (18). Na Obr. 93 jsou graficky zaneseny jednotlivé rychlosti proudění vzduchu v_x na měřících bodech.

Tabulka 16 – výsledky měření 6.NP

Vyústka 6.NP – termický anemometr									
Č. bodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9
v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	4,23	10,91	12,04	9,90	5,5	2,73	3,02	2,25	2,52
Č. bodu	10	11	12	13	14	15	16	17	18
v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	4,79	6,45	8,93	5,12	6,44	3,77	2,29	3,31	2,36

$$v_s = \frac{\sum_{i=1}^{18} v_x}{18} = \frac{96,56}{18} = 5,36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad (18)$$



Obr. 93 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 6.NP

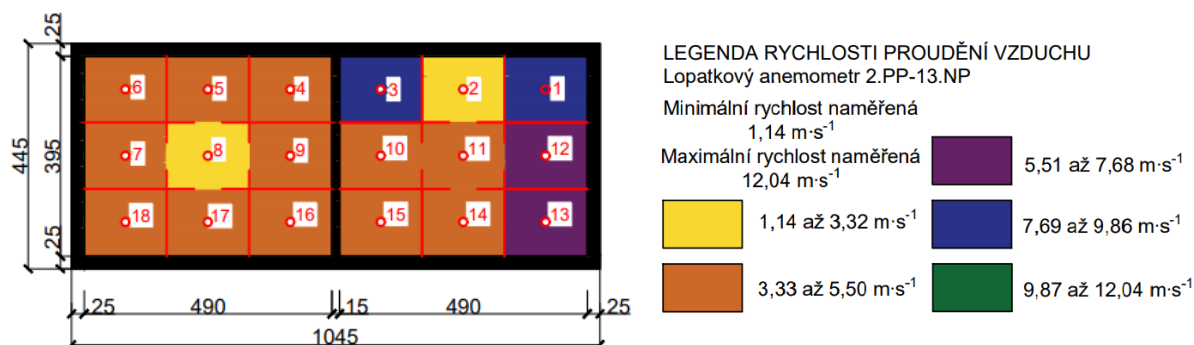
9.3.2.4 Výsledky měření 3.NP

Níže v tabulce 17 jsou uvedeny naměřené hodnoty rychlosti proudění vzduchu v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Aritmetickým průměrem byla stanovena střední rychlost proudění vzduchu v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] na vyústce ve 3. NP v rovnici (19). Na Obr. 94 jsou graficky zaneseny jednotlivé rychlosti proudění vzduchu v_x na měřících bodech.

Tabulka 17 – výsledky měření 3.NP

Vyústka 3.NP – termický anemometr									
Č. bodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9
v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	9,31	3,11	8,35	4,48	3,74	4,33	4,51	3,27	3,78
Č. bodu	10	11	12	13	14	15	16	17	18
v_x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	4,10	4,97	7,61	7,06	5,06	4,70	4,22	4,07	4,11

$$v_s = \frac{\sum_{i=1}^{18} v_x}{18} = \frac{90,78}{18} = 5,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad (19)$$



Obr. 94 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 3.NP

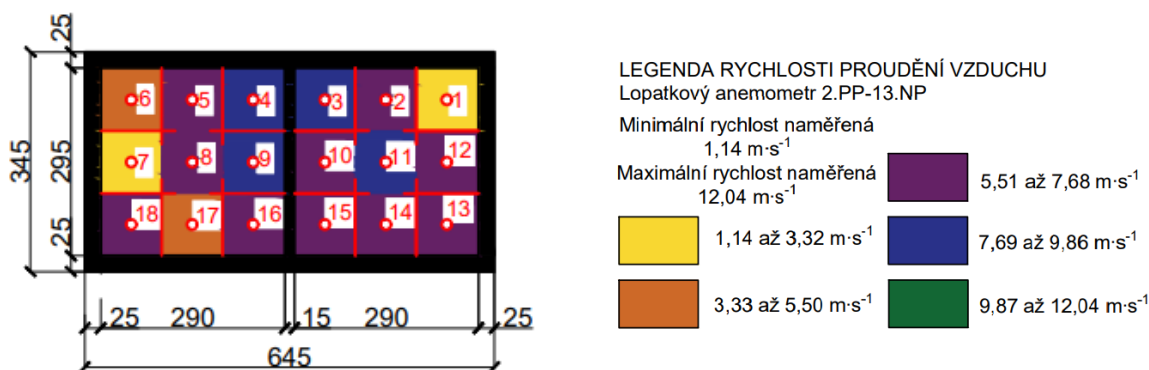
9.3.2.5 Výsledky měření 2.PP

Níže v tabulce 18 jsou uvedeny naměřené hodnoty rychlosti proudění vzduchu v_x [m·s⁻¹]. Aritmetickým průměrem byla stanovena střední rychlost proudění vzduchu v_s [m·s⁻¹] na vyústce ve 2. PP v rovnici (20). Na Obr. 95 jsou graficky zaneseny jednotlivé rychlosti proudění vzduchu v_x na měřících bodech.

Tabulka 18 – Výsledky měření 2.PP

Vyústka 3.NP – termický anemometr									
Č. bodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9
v_x [m·s ⁻¹]	2,20	6,69	8,18	7,78	7,06	3,88	3,32	5,55	7,78
Č. bodu	10	11	12	13	14	15	16	17	18
v_x [m·s ⁻¹]	6,89	7,97	7,50	7,67	7,51	7,22	6,53	5,12	5,90

$$v_s = \frac{\sum_{i=1}^{18} v_x}{18} = \frac{114,75}{18} = 6,38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (20)$$



Obr. 95 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 2.PP

9.3.2.6 Závěr

Souhrn středních rychlostí proudění vzduchu na jednotlivých vyústkách je sepsán do tabulky 13. Ze schémat znázorňujících rozdělení rychlosti proudění vzduchu na plochách vyústek je patrné, že je rychlost proudění vzduchu ovlivněna napojením VZT potrubí na vyústky. Na vyústce 10.NP a 13.NP se kumulují vyšší rychlosti proudění vzduchu na levé straně vyústky. U vyústek 3.NP a 6.NP se naopak kumulují vyšší rychlosti proudění vzduchu na pravé straně vyústky. Nižší rychlosti proudění vzduchu se nacházejí na opačné straně, kde dochází k rozšiřování

napojení VZT potrubí. Na vyústce 2.PP dochází k rovnoměrnému rozdělení rychlosti proudění vzduchu po ploše, protože zde není prudké rozšíření napojovacího VZT potrubí.

Tabulka 19 – Souhrn středních rychlostí na vyústkách

Podlaží vyústky	Střední rychlost proudění vzduchu
	v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
13.NP	3,94
10.NP	3,86
6.NP	5,36
3.NP	5,04
2.PP	6,38

9.3.3 Výpočet objemového průtoku na vyústkách dle rychlosti anemometrů

Pro výpočet objemových průtoků na jednotlivých vyústkách je potřeba znát volnou výtokovou plochu A_k [m^2]. S ohledem k postupu měření rychlostí proudění vzduchu, kdy sondy anemometru byly umístovány těsně za lamely mřížky vyústky, je uvažováno, že výtoková plocha se rovná ploše vyústky. Vzhledem k faktu, že stav vyústek se nezměnil od předchozího měření [3], budou převzaty hodnoty volné výtokové plochy A_k .

Tabulka 20 – Souhrn volných výtokových ploch vyústek [3]

Podlaží vyústky	Volná výtoková plocha
	A_k [m^2]
13.NP	0,3871
10.NP	
6.NP	
3.NP	
2.PP	

Výpočet objemového průtoku jednotlivých vyústek se řídí vztahem:

$$Q_v = A_k \cdot v_s \cdot 3600 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{]} \quad (21)$$

kde

Q_v [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]..... Objemový průtok přívodního vzduchu

A_k [m^2]..... Volná výtoková plocha

v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]..... Střední rychlost proudění vzduchu

V tabulce 21 jsou uvedeny objemové průtoky na jednotlivých vyústkách pro jednotlivé měřící metody. Je zde spočten i celkový průtok přívodního vzduchu pro kontrolu výpočtu.

Tabulka 21 – Přepočet objemového průtoku na vyústkách

Podlaží vyústky	Vrtulková anemometr			termický anemometr			
	Volná výtoková plocha	Střední rychlost proudění vzduchu	Objemový průtok	Volná výtoková plocha	Střední rychlost proudění vzduchu	Objemový průtok	
	A_k [m ²]	v_s [m·s ⁻¹]	Q_v [m ³ ·h ⁻¹]	A_k [m ²]	v_s [m·s ⁻¹]	Q_v [m ³ ·h ⁻¹]	
13.NP	0,3871	3,49	4864	0,3871	3,94	5491	
10.NP		3,19	4445		3,86	5379	
6.NP		4,99	6954		5,36	7469	
3.NP		3,90	5435		5,04	7024	
2.PP	0,1711	6,01	3702	0,1711	6,38	3930	
$Q_{\text{celek},1} =$			25400	$Q_{\text{celek},2} =$			29293

9.3.4 Měření objemového průtoku přes vyústky vlastní metodou

Měření objemového průtoku vlastní metodou lapacího zařízení začínalo od vyústky umístěné v 13.NP a pokračovalo se do nižších podlaží až po vyústku ve 2.PP. Měřenou veličinou byl čas [s], za který je schopná vyústka lapací pytel o určitém objemu naplnit. Jednoduchým výpočtem je získán výsledný objemový průtok na jednotlivých vyústkách.

Čas byl měřen dvěma osobami, a to prostřednictvím stopek a videozáznamu. Z videozáznamu byl následně odečten čas, kdy došlo k plnému naplnění lapacího zařízení.

Na vyústce v 13.NP bylo měření provedeno celkem třikrát, přičemž byly naměřeny následující časy: 4,80 s; 4,53 s; 4,6 s. Z videozáznamu byly odečteny časy 4,98 s; 4,07 s a 4,26 s. Pro výpočet objemového průtoku je uvažována průměrná hodnota ze všech 6-ti naměřených hodnot 4,54 s.

$$Q_v = \frac{V_{\text{lapač}}}{t_{\text{měř}}} \cdot 3600 = \frac{4,593}{4,54} \cdot 3600 = 3642 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (22)$$

Na vyústce v 10.NP bylo měření provedeno celkem dvakrát, přičemž byly naměřeny následující časy: 5,88 s; 5,62 s. Z videozáznamu byl odečten čas 5,44 s a 5,11 s. Pro výpočet objemového průtoku je uvažována průměrná hodnota ze všech čtyř naměřených hodnot 5,52 s.

$$Q_v = \frac{V_{\text{lapač}}}{t_{\text{měř}}} \cdot 3600 = \frac{4,593}{5,52} \cdot 3600 = 2995 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (23)$$

Na vyústce v 6.NP bylo měření provedeno pouze jedenkrát, z důvodu časového limitu na celkovou zkoušku, přičemž byl naměřen čas 5,48 s. Z videozáznamu byl odečten čas 4,99 s. Pro výpočet objemového průtoku je uvažována průměrná hodnota 5,24 s ze všech naměřených časů na této vyústce.

$$Q_v = \frac{V_{\text{lapač}}}{t_{\text{měř}}} \cdot 3600 = \frac{4,593}{5,24} \cdot 3600 = 3155 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (24)$$

Na vyústce v 3.NP bylo měření provedeno pouze jedenkrát, z důvodu časového limitu na celkovou zkoušku, přičemž byl naměřen čas 5,58 s. Z videozáznamu byl odečten čas 5,38 s. Pro výpočet objemového průtoku je uvažována průměrná hodnota 5,48 s ze všech naměřených časů na této vyústce.

$$Q_v = \frac{V_{\text{lapač}}}{t_{\text{měř}}} \cdot 3600 = \frac{4,593}{5,48} \cdot 3600 = 3017 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (25)$$

Na vyústce v 2.PP bylo měření provedeno pouze jedenkrát, z důvodu časového limitu na celkovou zkoušku, přičemž byl naměřen čas 6,22 s. Z videozáznamu byl odečten čas 5,11 s. Pro výpočet objemového průtoku je uvažována průměrná hodnota 5,67 s ze všech naměřených časů na této vyústce.

$$Q_v = \frac{V_{\text{lapač}}}{t_{\text{měř}}} \cdot 3600 = \frac{4,593}{5,67} \cdot 3600 = 2916 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (26)$$

Souhrn objemových průtoků vzduchu na jednotlivých vyústkách:

Tabulka 22 – Souhrn objemových průtoků na vyústkách

Podlaží vyústky	Objemový průtok
	$Q_s [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
13.NP	3642
10.NP	2995
6.NP	3155
3.NP	3017
2.PP	2916

10 Vyhodnocení funkční zkoušky

10.1 Srovnání podmínek zkoušek a měřících zařízení

Důležitým aspektem výsledků zkoušky jsou podmínky, při kterých byly získány. Při zkouškách vzduchotechnického systému požárního větrání hraje velkou roli rychlost větru, směr proudění větru, teplota a relativní vlhkost vzduchu interiéru i exteriéru. Níže v tabulce 23 naleznete porovnání těchto povětrnostních podmínek.

Tabulka 23 – Porovnání povětrnostních podmínek

Funkční zkouška	Průměrná teplota [°C]		Relativní vlhkost [%]		Rychlost větru [m·s ⁻¹]	Směr pohybu větru
	Exteriér	interiér	Exteriér	Interiér		
Měření Jordán 2022	13,2	25,1	41,2	27,2	7~8	Západní
Měření Hajm 2023	15,7	18,3	49,9	42,4	5,35	Severovýchodní

Z tabulky 23 vyplývá, že největší rozdíl je v rychlosti a směru větru, který může ovlivnit výsledky zkoušky. Nejvíce jsou ovlivněny výsledky měření nasávaného vzduchu vzhledem k jeho umístění a orientaci. V roce 2022 měření nasávaného vzduchu nebyla ovlivněna tak jako při měření v roce 2023, kdy pohyb větru byl rovnoběžně se sáním ventilátoru. Rozdíly v teplotách a relativní vlhkosti vzduchu jsou zanedbatelné.

V rámci měření jednotlivých prvků systému přetlakového větrání byly užity obdobné měřící přístroje a způsob měření, aby bylo výsledky možné porovnávat. V rámci zkoušky 2023 se měřily pouze rychlosti proudění, ze kterých byl následně objemový průtok stanoven výpočtem. Souhrn použitých přístrojů je uveden v tabulce 24.

Tabulka 24 – Souhrn použitých přístrojů

Funkční zkouška	Přístroje pro měření rychlosti proudění vzduchu/objemového průtoku systému požárního větrání		
	Měření ventilátoru	Měření světlíku	Měření distribučních prvků
Měření Jordán 2022	Testo 400 16 měřících bodů	Testo 400 8 měřících bodů	Testo 400 8 měřících bodů Testo 420 s usměrňovačem proudění měřeno po polovinách výustek
Měření Hajm 2023	Testo 400 16 měřících bodů	Testo 400 12 měřících bodů	Testo 400 12 měřících bodů Improvizované lapací zařízení měřena celá vyústka v celku

10.2 Vyhodnocení zkoušky nasávaného vzduchu

Měřením rychlosti proudění vzduchu v jednotlivých nasávacích otvorech při zkoušce v roce 2023 bylo určeno, že množství vzduchu nasávaného systémem dosahuje **18 568 m³·h⁻¹**. Z tohoto hlediska je objem vzduchu, který je nasáván nedostatečný ve srovnání s navrženým objemem přívodního vzduchu (**21 600 m³·h⁻¹**). Hodnota může být zkreslená pohybem a rychlostí proudění větru.

Vítr se pohyboval rychlostí $5,35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ severovýchodním směrem, tudíž rovnoběžně s ventilátorem. Při měření byla snaha zavést sondu anemometru za hranu krytu, ovšem to nebylo dostatečné. Měření v některých bodech se opakovalo, z důvodů zastavení nebo opačného proudění vrtulky sondy anemometru. Z důvodu omezených časových možností nešlo zkoušku opakovat jiný den za příznivějších podmínek.

Při měření v roce 2022 bylo naměřeno množství nasávaného vzduchu o hodnotě **21 948 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$** , což je dle návrhu projektové dokumentace dostačující objemový průtok. Vzhledem k povětrnostním podmínkám, které byly při měření v roce 2022 a v roce 2023, jsou výsledky zjištěné Bc. Jordánem relevantnější a méně zkreslené.

10.3 Vyhodnocení zkoušky odváděného vzduchu

Měření bylo záměrně provedeno obdobným způsobem jako v roce 2022, aby bylo snáze porovnatelné. Vzhledem ke geometrii světlíku a umístování sondy anemometru pod úroveň střešního pláště, nejsou měření ani v jednom případě tolik ovlivněna povětrností na přímo. Sání větru zvyšuje účinnost komínového efektu, tudíž se předpokládá, že díky sání bude vzduch přes světlík proudit rychleji. Vzhledem k faktu, že sání větru kladně ovlivňuje odvětrávání CHÚC není za potřebí zjišťovat, v jaké míře je měření ovlivněno.

Výsledný objemový průtok přes otevřený světlík činí **20 852 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$** a byl zjištěn pomocí 12 měřících bodů. V roce 2022 bylo měřeno 8 bodů a objemový průtok činil **11 787 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$** . Navýšení objemového průtoku může být způsobeno zlepšením tlakových podmínek v CHÚC. Především jedná o výměnu požárních uzávěrů v 1.PP, kdy v roce 2022 dveřní uzávěr chyběl.

Z pohledu funkčnosti přetlakového větrání CHÚC a samotného návrhu vzduchotechniky není možné odvádět vzduch takovýmto způsobem. Objemový průtok je příliš vysoký u prostoru, kde má být udržovaný zvýšený tlak. Při tomto stavu lze stěží dodržet návrhové rozdíly tlaků, které byly stanoveny v dokumentaci. Nehledě na fakt, že projektová dokumentace uvažuje se samočinnou přetlakovou klapkou, a nikoliv se světlíkem.

10.4 Vyhodnocení zkoušky přiváděného vzduchu

10.4.1 Měření 2023 pomocí vrtulkového a termického anemometru

V rámci měření bylo užito dvou druhů sond anemometru Testo 400. Níže v tabulce je uveden souhrn středních rychlostí proudění vzduchu a přepočtených objemových průtocích na distribučních prvcích v jednotlivých podlažích. Z hodnot je patrné, že při použití termické sondy anemometru Testo 400 došlo k naměření vyšších hodnot rychlostí proudění vzduchu. Tento problém mohl být způsoben nesprávnou obsluhou sondy, kdy při odečtení rychlosti proudění vzduchu v měřeném bodě nebyla sonda ustálená. Pohyb sondy v jakémkoliv směru mohl způsobit druhořadé proudění vzduchu okolo žhaven části sondy. Tato cyklická chyba mohla být způsobena nedostatkem času na funkční zkoušku. Ze středních rychlostí proudění vzduchu naměřených termickým anemometrem je zřejmé, že se rychlost proudění vzduchu je největší na podlaží 3.NP a 6.NP. V těchto podlažích jsme byli obeznámeni, že dochází stanovený čas na funkční zkoušku. Zkouška probíhala od nejvyššího distribučního prvku v 13. NP až po nejnižší distribuční prvek ve 2.PP.

Vzhledem k ovlivněným hodnotám špatným použitím termické sondy anemometru, nebudou tyto hodnoty porovnávány s modelem a předchozí funkční zkouškou z roku 2022. Zároveň při předchozím měření v roce 2022 nebyla použita termická sonda pro měření rychlostí proudění vzduchu na výústkách.

Tabulka 25 – Souhrn výsledků měření na vyústkách

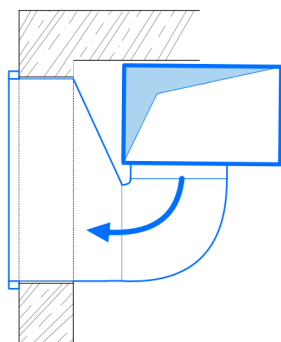
Podlaží vyústky	Vrtulková anemometr		Termický anemometr	
	Střední rychlost proudění vzduchu	Objemový průtok	Střední rychlost proudění vzduchu	Objemový průtok
	v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	Q_v [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$]	v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	Q_v [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$]
13.NP	3,49	4864	3,94	5491
10.NP	3,19	4445	3,86	5379
6.NP	4,99	6954	5,36	7469
3.NP	3,90	5435	5,04	7024
2.PP	6,01	3702	6,38	3930
	$Q_{\text{celek},1} =$	25400	$Q_{\text{celek},2} =$	29293

10.4.2 Porovnání výsledků měření jednotlivých zkoušek

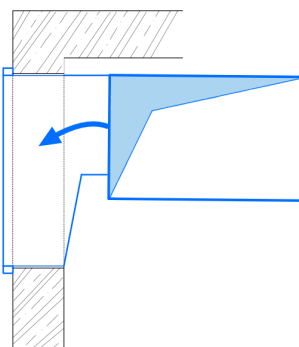
Měření v obou případech probíhalo pomocí vrtulkového anemometru Testo 400. Měřenou veličinou byla rychlost proudění vzduchu a pomocí její střední hodnoty byl dopočítán objemový průtok na jednotlivých vyústkách.

V tabulce níže jsou uvedeny hodnoty zjištěné při měření vrtulkovým anemometrem při zkouškách v období 2022–2023. Na jednotlivých vyústkách byly naměřeny rozdílné hodnoty, ovšem při sumarizaci všech objemových průtoků na vyústkách došlo ke zjištění, že objemový průtok přes všechny vyústky je téměř stejný. K tomuto jevu mohlo dojít díky tvaru VZT potrubí za vyústkou a většímu počtu měřených bodů v roce 2023. Na každé vyústce bylo změřeno 18 bodů oproti 12 bodům, které byly měřeny v roce 2022 [3].

Rychlost proudění vzduchu na vyústce je ovlivněna tvarem VZT potrubí za odbočkou. Na obrázcích Obr. 96 a Obr. 97 za odbočkou dochází k rychlému rozšíření potrubí na tvar vyústky. Toto rozšíření je provedeno vždy na jednu ze stran, tudíž jedna z hran potrubí vede do vyústky napřímo. Rozšíření má za následek, že na straně, která vede na přímo, nedochází tak velkému poklesu rychlosti proudění vzduchu jako u strany vyústky, kde se potrubí rozšiřuje.



Obr. 96 — Půdorysné schéma napojení VZT potrubí na vyústky (3.NP a 6.NP)



Obr. 97 — Půdorysné schéma napojení VZT potrubí na vyústky (10.NP a 13.NP)

Dle původní projektové dokumentace objemový průtok na distribučních prvcích, tedy stěnových vyústkách, má být $4\,320\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Této hodnotě nevyhověl v obou případech distribuční prvek ve 2.PP.

Tabulka 26 – Porovnání objemových průtoků 2022x2023

Podlaží vyústky	Vrtulkový anemometr				
	Volná výtoková plocha	Měření 2023		Měření 2022	
		Střední rychlost proudění vzduchu	Objemový průtok	Střední rychlost proudění vzduchu [3]	Objemový průtok [3]
	A_k [m ²]	v_s [m·s ⁻¹]	Q_v [m ³ ·h ⁻¹]	v_s [m·s ⁻¹]	Q_v [m ³ ·h ⁻¹]
13.NP	0,3871	3,49	4864	4,38	6102
10.NP		3,19	4445	3,24	4519
6.NP		4,99	6954	4,11	5724
3.NP		3,90	5435	4,05	5643
2.PP	0,1711	6,01	3702	6,34	3962
$Q_{\text{celek},1} =$			25400	$Q_{\text{celek},2} =$	25950

V roce 2022 provedl Bc. Jordán kontrolní měření pomocí přístroje Testo 420 (Obr. 98) s integrovaným usměrňovačem proudění (trychtýřem) o rozměrech 610x610 mm. Usměrňovač proudění slouží k uklidnění turbulentního proudění a rozložení jej na měřící přístroj rovnoměrně. Měřenou veličinou přístroje Testo 420 je objemový průtok v m³·h⁻¹.



Obr. 98 — Přístroj pro měření objemového průtoku Testo 420 s integrovaným usměrňovačem proudění [3]

Přístroj Testo 420 je hodně přesný přístroj ovšem jeho nedostatkem je již zmíněný usměrňovač proudění. Usměrňovač má pouze standardizovaný rozměr a nelze jej umístit na vyústky v celé jejich ploše, tudíž zde může vzniknout nejistota přesnosti měření. Pomocí přístroje Testo 420 byly změřeny všechny stěnové vyústky až na vyústku 13.NP. Její objemový průtok byl dopočten poměrem z měření pomocí lopatkového sondy přístroje Testo 400, a to z důvodů špatné dosažitelnosti vyústky. Hodnoty zjištěné při tomto měření jsou sepsány v tabulce 28.

Tabulka 27 – Souhrn objemových průtoků měřených pomocí Testo 420

Podlaží výústky	Objemový průtok
	Q_s [$m^3 \cdot h^{-1}$]
13.NP	3682
10.NP	2996
6.NP	3927
3.NP	3405
2.PP	2654

Při součtu jednotlivých průtoků získáme celkový objemový průtok přírodního vzduchu a ten činí **16 664 $m^3 \cdot h^{-1}$** . Dle projektové dokumentace je navržen objemový průtok pro přívod vzduchu **21 600 $m^3 \cdot h^{-1}$** , tudíž naměřená hodnota není dostačující.

V roce 2023 bylo pro kontrolní měření užito improvizovaného zařízení s lapačem. Přestože se nejedná o nejpřesnější a nejsofistikovanější zařízení, lze porovnat měření pomocí improvizovaného měřicího zařízení s lapačem s přístrojem Testo 420. U lapače byl využit stejný princip měření, a to s omezení ovlivnění měření turbulentním prouděním. Při tomto měření bylo zjištěno následujících hodnot objemového průtoků:

Tabulka 28 – Objemové průtoky měřené pomocí lapače s porovnáním oproti Testo 420

Podlaží výústky	Objemový průtok	Odchylka od Testo 420
	Q_s [$m^3 \cdot h^{-1}$]	[%]
13.NP	3642	-1,09
10.NP	2995	-0,10
6.NP	3155	-19,65
3.NP	3017	-11,35
2.PP	2916	+9,89

Naměřené hodnoty pomocí lapače se liší od Testo 420 v rozmezí ± 20 %. Toto kontrolní měření potvrdilo relevantnost měření distribučních prvků pomocí přístroje Testo 420. Oba přístroje vnášejí do měření větší nejistotu.

Přístroj Testo 420 vnášejí nejistotu měření právě nemožností umístit jej na celou výústku z důvodů malého usměrňovače proudění. Měření 3.NP – 10. NP probíhalo po polovinách výústek. Obě naměřené hodnoty objemových průtoků se následně sumarizovaly. Hodnoty rychlosti proudění vzduchu na výústce v 13.NP byly dopočítány poměrem pomocí měření přístrojem Testo 400. Nejistota je do měření vnesena usměrňovačem proudění přístroje Testo 420, který nelze v tomto případě umístit na celou výústku.

Improvizovaný přístroj s lapačem vnášejí nejistotu měření primárně lidským faktorem. Největší nejistotu vnášejí pomalé přiložení přístroje na výústku a způsob měření času pomocí ručních stopek.

10.4.3 Porovnání hodnot měření na vyústkách a validace modelu FDS

V tabulce 30 je uveden souhrn všech měřených výsledků v porovnání s výsledky z FDS modelu a návrhového objemového průtoku dle [19]. V tabulce jsou vyobrazeny barevně hodnoty průtoků na vyústkách, které vyhoví návrhovému objemovému průtoků jsou podbarveny zeleně, a které nevyhoví jsou podbarveny červeně.

Nejblíže k návrhovému objemovému průtoku se přibližují měření pomocí vrtulkovou sondou anemometru Testo 400. Měřicí přístroje, které mají zabránit ovlivnění výsledků turbulentním prouděním vzduchu, jsou na všech vyústkách nedostatečné. Model FDS je v porovnání s návrhovým objemovým průtokem nedostatečný na vyústkách 2.PP – 6.NP.

Tabulka 29 – Porovnání výsledků modelu FDS a reálných měření

Místo měření	Objemový průtok					Objemový průtok návrhový
	[m ³ ·h ⁻¹]					[m ³ ·h ⁻¹]
	Model FDS	Vrtulkový anemometr Testo 400 2022 [3]	Vrtulkový anemometr Testo 400 2023	Vrtulkový anemometr Testo 420 2022 [3]	Lapač	Výpočet
Vyústka 13.NP	6034	6102	4864	3682	3642	4320
Vyústka 10.NP	4905	4519	4445	2996	2995	
Vyústka 6.NP	3512	5724	6954	3927	3155	
Vyústka 3.NP	3066	5643	5435	3405	3017	
Vyústka 2.PP	2822	3962	3702	2654	2916	

Když porovnáme výsledky modelu FDS s výsledky měření z funkčních zkoušek zjistíme, že model se více přibližuje měření pomocí Testo 420 a improvizovanému měření lapačem. To může mít za následek, že v modelu jsou umístěny měřicí body bezprostředně před vyústkami a nedochází k ovlivnění turbulentním prouděním vzduchu. Vzhledem k velké míře nejistoty reálného měření nelze model považovat za validovaný.

11 Analýza zjištěných závad zjištěných při revizích a návrhy opatření

Následující kapitola je věnovaná analýze závad zjištěných při revizích, které omezují správnou funkci přetlakového větrání CHÚC. Celkem byly provedeny tři revize, proběhly v dubnu roku 2022, únoru a listopadu roku 2023.

11.1 Vzduchotechnický systém

Objemový průtok ventilátorem, který pohání celý systém požárního větrání, byl naměřen jako vyhovující v roce 2022 [3]. V listopadu 2023 byla zkouška ovlivněna povětrností a předpokládá se, že nedošlo ke změně ve výkonu ventilátoru, jelikož se s ním nemanipulovalo.

Hodnoty objemových průtoků ventilátorem je potřeba vztáhnout na celý VZT systém. V ideálním případě by byl vzduchotechnický systém vzduchotěsný a bez ztrát. Celkový průtok vzduchu do CHÚC je stanoven součtem průtoků na jednotlivých distribučních prvcích (stěnových vyústkách).

V tabulce 32 naleznete porovnání součtů naměřených průtoků všech vyústek v CHÚC s návrhovým objemovým průtokem, který by měl být distribuován do CHÚC. V tabulce jsou zeleně podbarveny hodnoty, které vyhovují návrhovému objemovému průtoků a naopak hodnoty, které nevyhovují jsou podbarveny červeně.

Tabulka 30 – Vyhodnocení pomocí součtu objemových průtoků

Měření a přístroj	Součet objemových průtoků na distribučních prvcích [m ³ ·h ⁻¹]	Návrhový objemový průtok přívodního vzduchu [19] [m ³ ·h ⁻¹]
Měření 2022 Testo 420 [3]	16 664	21 600
Měření 2022 Testo 400 [3]	25 950	
Měření 2023 Testo 400	25 400	
Měření 2023 Lapač	15 700	

Z tabulky 32 je patrné, že měřením pomocí Testo 420 v roce 2022 a pomocí lapače v roce 2023, došlo ke ztrátě průtoků ve VZT systému o **4 936 m³·h⁻¹** (22,85 %) u Testo 420 a o **5 900 m³·h⁻¹** (27,31 %) u lapače. Tyto výsledné ztráty mohou být dosti zkreslené nepřesnosti měření, která je popsána v kapitole 10.4.2 této práce.

Měření pomocí Testo 400 v obou letech nevykazovalo žádné markantní ztráty v systému. Jediné zásadní zkreslení výsledku plyne z přepočtu z rychlosti proudění vzduchu na objemový průtok vzduchu.

11.1.1 Samočinně otvíravý světlík – odvod

V nejvyšším místě CHÚC se nachází odvodní samočinně otvíravý světlík, jehož užití je v rozporu s návrhovou projektovou dokumentací. Dle návrhu zde má být umístěna přetlaková klapka, která umožňuje udržení a regulaci přetlaku v rámci CHÚC. Jedná se o nejzávažnější problém na této CHÚC. Díky velkému množství vzduchu, který proudí přes světlík do exteriéru, nelze v CHÚC udržet navržené rozdíly tlaků. V tomto provedení požární větrání v CHÚC funguje spíše jako nucené než přetlakové.

Světlík nesplňuje ani požadavky stanovené normou ČSN 73 0802 v čl 9.4.5, kdy je omezení pro aerodynamickou plochu odvodního prvku. Aerodynamická plocha odvodního prvku musí vycházet z množství přiváděného vzduchu s ohledem na maximální rychlost proudění vzduchu $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v tomto odvodním prvku. Naměřené rychlosti proudění vzduchu v tomto otvoru jsou mnohem vyšší než mezní maximální rychlost určená normou, viz kapitola 9.2 této práce.

Návrhem nápravného opatření pro tuto závadu je instalace samočinné přetlakové klapky na místo světlíku, tak jak je navrženo v projektové dokumentaci. Samočinná přetlaková klapka je schopná regulovat přetlak v CHÚC na požadovanou hodnotu, která byla určena návrhem. Přetlaková klapka taktéž zabraňuje překročení maximální hodnoty přetlaku v CHÚC.

11.2 Dveřní sestavy

Dveřní sestavy v CHÚC musí splnit požadavky EI 30/DP3-C,S a to hned v několika případech nesplní.

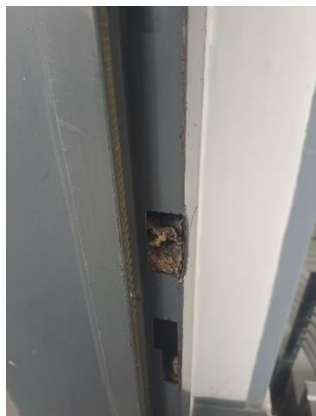
V 1.PP došlo k nápravě nedostatků odhalených v revizích 2022 [3] a 27.2.2023 [7]. Nedostatky spočívaly v zablokování dveří tak, aby samozavírač nemohl uzavřít dveřní křídlo na straně jedné a na straně druhé chybělo celé dveřní křídlo v zárubni. Nyní se v tomto místě nachází nové dveřní sestavy včetně zárubní. Tyto dveře splňují požadavek EI 30/DP3-C,S.

Mezi 2.NP až 13.NP nedošlo k odstranění závad, které byly nalezeny při revizích provedené v dubnu 2022 [3] a 27.2.2023 [7]. Byly zde nalezeny následující nedostatky:

- prasklé dveřního křídlo v oblasti kování (Obr. 100)
- dveřní křídlo nedoléhající na zárubeň
- chybějící těsnění na dveřním křídle i zárubni
- vyplnění zárubně nečistotami v oblasti kování (Obr. 99)

Nedoléhající dveřní křídlo na zárubeň bylo nejčastějším nedostatkem a je způsoben špatným užíváním a údržbou. Například na 5.NP bylo nalezeno dveřní křídlo zajištěné (Obr. 101) v otevřeném stavu, čímž trpí mechanismus samozavíracího zařízení. V případě nedovření dveří (Obr. 102) je umožněno šíření požáru a zplodin hoření do CHÚC, což je v rozporu s požárním kodexem a funkcí CHÚC.

Návrhem nápravného opatření je kompletní výměna dveřních soustav za nové, pravidelná revize jejich stavu a případné opravy. Dále s ohledem na vysokou hustotu osob pohybující se na tomto schodišti a nízkou znalostí požárních předpisů, se doporučuje umístění výstražných cedulek na dveře s informací, že dveře se nesmí blokovat. Tato výstražná cedulka by mohla snížit náklady na budoucí údržbu dveřních sestav v CHÚC po případě vyloučit opětovnou výměnu dveřních sestav v krátkém časovém úseku.



Obr. 99— Nečistoty v zárubni 7.NP



Obr. 100— Poškozené dveřní křídlo 6.NP



Obr. 101 — Zajištěné dveřní křídlo 5.NP



Obr. 102 — Nedovřené dveře 5.NP

11.3 Okenní otvory

Okenní otvory nacházející se v CHÚC mají spodní část, která lze otevřít. Vrchní část okenního otvoru tvoří fixní zasklení. Část, která lze otevřít, je potencionálním rizikem pro únik větracího vzduchu a naruší tím funkci přetlakového větrání. Během funkční zkoušky byly všechny okenní tvory zkontrolovány, zda jsou uzavřeny, ovšem během provozu zůstávají často okenní křídla otevřená.

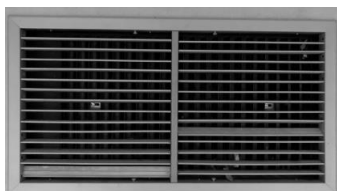
Pro napravení této závady jsou dvě možná opatření:

- Zamezit trvale otevírání okenních křídel, tedy výměnou otvíravých okenních částí za fixní zasklení.
- Opatření okenního křídla samozavíračem lokálně či dálkově ovládaným (např. napojením na EPS).

Vzhledem k charakteru využívání objektu a počtu okenních otvorů v této CHÚC, je první možné opatření nejvíce relevantnější ať už z hlediska údržby a revizí nebo z hlediska finančního.

11.4 Distribuční prvky – stěnové vyústky

Nedostatkem na stěnových vyústkách je poškození první řady nastavitelných lamel mřížky. Tato vada přímo ovlivňuje rychlost proudění přiváděného vzduchu do CHÚC nemá zásadní vliv na funkci celého systému větrání. Poškození je pravděpodobně způsobené vandalismem vzhledem k faktu, že hůře dostupné vyústky jsou méně poškozené. Níže na fotografiích je vyobrazeno porovnání stavu vyústek v roce 2022 a v roce 2023.



Obr. 103— Fotografie vyústky 2.PP [3]



Obr. 104— Fotografie vyústky 2.PP 11/2023



Obr. 105 — Fotografie vyústky 3.NP [3]



Obr. 106— Fotografie vyústky 3.NP 11/2023



Obr. 107 — Fotografie vyústky 6.NP [3]



Obr. 108— Fotografie vyústky 6.NP 11/2023



Obr. 109 — Fotografie vyústky 10.NP [3]



Obr. 110— Fotografie vyústky 10.NP 11/2023



Obr. 111 — Fotografie vyústky 13.NP [3]



Obr. 112— Fotografie vyústky 13.NP 11/2023

12 Závěr

Diplomová práce se zabývala přetlakovým větráním konkrétní CHÚC ve výškové budově v Praze. Hlavním cílem bylo ověření její funkčnosti měření průtoků vzduchu různými metodami, ověření správnosti měření v předešlých letech [3] a validace modelu FDS, který byl vypracován v rámci předmětu 124SEM [7].

První část práce byla věnována literární rešerši požární bezpečnosti s důrazem na evakuaci a CHÚC. Byly zde popsány jednotlivé způsoby únikových cest, jejich specifikace a požadavky. V rámci této rešerše byla kladena vyšší priorita na přetlakové větrání CHÚC s ohledem na prověřování funkčnosti CHÚC, která je právě přetlakově větraná. Dále je v této části podrobněji rozváděno přetlakové větrání CHÚC z hlediska normativních požadavků, návrhu a shrnutí rizik, které se mohou vyskytnout při návrhu přetlakově větraných CHÚC. V posledních kapitolách první části práce bylo popsáno, jakým způsobem vznikl samotný CFD model CHÚC, od počáteční revize až po výsledky simulace.

Druhá část diplomové práce se zabývá přípravou funkční zkoušky a fyzickým ověřením funkčnosti přetlakového větrání ve vybrané CHÚC. Ověření proběhlo pouze na základě měření objemových průtoků jednotlivých částí vzduchotechnického systému za účelem zjištění, zda dosahují návrhových hodnot, které byly stanoveny v projektové dokumentaci. Dále bylo zjišťováno, zda jednotlivé části CHÚC jsou schopny plnit i aktuálně platné normativní požadavky. Hlavní sledovanou veličinou při funkční zkoušce byla rychlost proudění vzduchu ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) a objemový průtok vzduchu ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$). V posledních kapitolách došlo k porovnání stavu CHÚC mezi obdobími 2022 a 2023.

Všechny naměřené hodnoty uvedené v této diplomové práci jsou zjištěny s určitou mírou nejistoty, která vychází z nejistoty přístrojů a postupu provedených měření. Vypočítané hodnoty nejistoty pro jednotlivé měřící přístroje jsou:

- Testo 400 anemometr – vrtulková sonda: nejistota 10,6 %
- Testo 400 anemometr – termická sonda: nejistota 11,8 %
- Datalogger Comet teploměr: nejistota 1,4 %
- Datalogger Comet vlhkoměr: nejistota 4 %

Uvedené rozšířené nejistoty měření jsou dány součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %.

Při měření výše zmíněných parametrů se prokázalo, že přetlakově větraná CHÚC typu B bez požární předsíně má několik nedostatků. Objemový průtok přírodního vzduchu byl v projektové dokumentaci stanoven návrhovou hodnotou **21 600 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$** na základě požadované výměny vzduchu v prostoru CHÚC. Pro kontrolu dodržení této návrhové hodnoty byly sečteny objemové průtoky na jednotlivých distribučních prvcích od 2.PP až po 13.NP. Pro měření objemových průtoků bylo využito přístroje Testo 400 s termickou i lopatkovou sondou a improvizovaného měřícího přístroje s lapacím zařízením. Výsledné hodnoty skutečného objemového průtoky přírodního vzduchu činila **25 400 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$** při užití Testo 400 a **15 700 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$** při užití improvizovaného zařízení. Z výsledků měření vyplývá, že objemový průtok přírodního vzduchu vyhoví, když budeme brát v potaz nepřesnost měření improvizovaného zařízení. Při užití anemometru Testo 400 bylo zjištěno dostatečných objemových průtoků na všech stěnových vyústkách kromě vyústky v 2.PP, celkový součet všech objemových průtoků vzduchu je dostačující.

Pro možnost zjištění správnosti měření při funkční zkoušce 2022 byly užity prakticky totožné postupy měření, které ovšem byly zpřesněny použitím většího počtu ověřovacích měřících bodů. Při zkoušce v roce 2022 byl použit stejný anemometr Testo 400 s lopatkovou sondou, a navíc byl použit anemometr Testo 420 s integrovaným usměrňovačem proudění. Pokud výsledky zjištěné při funkční zkoušce porovnáme s výsledky zjištěnými v roce 2022 [3], jsou dosti obdobné. Výsledné hodnoty skutečného průtoku přírodního vzduchu činily **25 950 m³·h⁻¹** při užití Testo 400 a 16 664 m³·h⁻¹ při užití Testo 420 s integrovaným usměrňovačem proudění. Z výsledků vyplývá, že při měření pomocí přístroje Testo 400 bylo zjištěno dostatečného objemového průtoku vzduchu. Nedostatečný průtok při měření pomocí přístroje Testo 400 byl opět na stěnové vyústce ve 2.PP. Při měření celkového objemového průtoku pomocí přístroje Testo 420 došlo ke zjištění nedostatečného objemového průtoku, obdobně jako u použití improvizovaného zařízení s lapačem v roce 2023.

Pokud porovnáme měření pomocí přístroje Testo 420 a pomocí improvizovaného zařízení s lapačem, obě metody mají společnou charakteristiku a tou je vysoká nejistota měření. Improvizované zařízení je nepřesné především díky nesnadnému nasazování na stěnové vyústky, kdy dochází již k částečnému naplňování lapače. Počáteční částečné naplňování lapače dosti zkreslí výsledný čas plného naplnění. Nejlepší metodou by bylo spuštění větracího systému až v moment, kdy by byl lapač umístěn na vyústky. Problém spočívá v tom, že by byl zde měřen počáteční náběh výkonu ventilátoru nikoliv plný výkon. U přístroje Testo 420 je největší nevýhodou integrovaný usměrňovač proudění, který má standardizovaný a neměnný rozměr. Díky integrovanému usměrňovači proudění nešlo (dle fotografií z [3]) umístit přístroj přes celou vyústku. Měření proběhlo na polovinách stěnových vyústek. Z těchto důvodů se domnívám, že obě měření vnášejí do výsledků velkou míru nejistoty ať již samotným přístrojem, vhodností či způsobem použití a výsledky nejsou relevantní k usnesení závěru, že větrání není dostačující.

Ačkoliv v rámci této diplomové práce nebylo předmětem zkoumat tlakové podmínky přetlakového větrání, zaměřil jsem se na revizi prostorů, abych zjistil, zda došlo ke zlepšení vůči roku 2022. Při funkční zkoušce v roce 2022 [2] bylo zjištěno nedostatečného přetlaku v CHÚC. Příčinou nedostatečného přetlaku v CHÚC byly nedostatky, které jsou blíže popsány v 11 kapitole této diplomové práce. Největším nedostatkem, který markantně ovlivní přetlak v CHÚC je použití samočinně otvíravého světlíku nikoliv přetlakové klapky, která byla navržena v dokumentaci. Světlík nemá možnost jakýmkoliv způsobem regulovat tlak v CHÚC a navržené přetlakové větrání potom má charakter spíše nuceného větrání. Dalším nedostatkem, který ovlivní tlakové podmínky, je stav požárních uzávěrů tedy dveří. Ačkoliv došlo k náhradě dveří v 1.NP, kde byl původně naměřen přetlak 0 Pa, v ostatních podlaží zůstává stav dveří stejný nebo se ještě zhoršil. S těmito nedostatky nelze mluvit o funkčním systému přetlakového větrání.

V rámci práce byl zhotoven CFD model CHÚC v programu FDS, který nese známky nedostatků. Tyto nedostatky byly odhaleny, ale nepodařilo se přijít na příčinu. Při porovnání s výsledky reálného měření se nepovedlo prokázat správnost modelu, a tudíž nemůže být validován. Z práce na modelu vyplývá, že inženýrský přístup není jednoduché aplikovat bez pokročilých znalostí a praxe. Zároveň by bylo dobré upozornit na složitost a časovou náročnost při využívání CFD modelů. V požárnické praxi je prakticky nepředstavitelné vytvářet takovéto modely na koncepčně a dispozičně jednoduché CHÚC právě s ohledem na časovou náročnost. Ve složitějších objektech, kde se posuzuje i evakuace inženýrským přístupem, by bylo vhodné modely větrání CHÚC zahrnout.

V závěru práce proběhla analýza zjištěných závad a návrh jejich nápravných opatření. V analýze je taktéž porovnání stavu CHÚC v roce 2022 [3] a v roce 2023. V analýze bylo zjištěno, že největším nedostatkem této CHÚC jsou závady, které ovlivňují nejen tlakové podmínky

v schodišťovém prostoru, ale i přímo ohrožují unikající osoby v CHÚC (případ zajištěných dveří). Do závad lze zařadit samočinně otvíravý světlík, zanedbaný stav dveřních sestav a otvíravá okenní křídla v CHÚC. Otvíravá okna nejsou tak důležitým nedostatkem, pokud zůstanou zavřená. Samozřejmě to se nedá stoprocentně zaručit.

Z této diplomové práce vyplývá, jak moc podstatnou roli v požární bezpečnosti hraje změna kmenových norem ČSN z hlediska principu a přístupu k přetlakovému větrání chráněných únikových cest. Důležitým bodem je odlišnost přístupu prokazování funkčnosti větrání, když sebemenší odlišnosti principu měření vyvede velice rozdílné výsledky. Práce také poukazuje na fakt, v jakém stavu se mohou nacházet v dnešní době CHÚC. Ačkoliv původní návrh mohl být správný, následné provedení může mít fatální následek z hlediska bezpečnosti osob v objektu za požáru. Je až zarážející, že si nikdo stavu, v jakém se nachází tato konkrétní CHÚC nevšiml při pravidelných kontrolách. Lze se jen domnívat, že kontroly mají spíše formální charakter bez důkladného prověření funkčnosti CHÚC.

Příloha 1 – Kalibrační list Testo 400 vrtulková sonda

	Testo, s.r.o. - kalibrační laboratoř Jinonická 80, 158 00 Praha 5 tel.: 00420222266711 www.kalibrace.testo.cz		
KALIBRAČNÍ LIST číslo: 2021/1663		Strana číslo: 1 / 2 Site number	
<i>Calibration certificate number:</i>			
Zadavatel: <i>Customer</i>	Testo, s.r.o. Jinonická 80 158 00 Praha 5	<p>Kalibrace byla provedena v souladu se zákonem o metrologii číslo 505 / 1990 v platné verzi. Tento kalibrační list je dokladem o návaznosti k národním etalonům, které realizují jednotky měření podle Mezinárodní soustavy jednotek SI (International System of Units - SI). Uživatel je povinen provádět recalibraci předmětu ve vhodných intervalech.</p> <p>Český institut pro akreditaci, o.p.s. je členem mezinárodních organizací jako je European co-operation for Accreditation (EA) a International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) pro vzájemné uznávání kalibračních listů (certifikátů).</p> <p><i>The calibration is performed in accordance with the law concerning legal metrology Nr. 505/1990 in the amended version. This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI). The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.</i></p> <p><i>The Czech Accreditation Institute, is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates.</i></p>	
Uživatel: <i>User</i>	Státní zdravotní ústav Šrobárova 49/48 100 00 Praha 10		
Předmět: <i>Object</i>	Anemometr T400 Vrtulová sonda		
Výrobce: <i>Manufacturer</i>	Testo SE & Co. KGaA Testo SE & Co. KGaA		
Typ: <i>Type</i>	Přístroj/instrument 0563.4001 Sonda / probe 0635.9340		
Výrobní číslo: <i>Serial number</i>	Přístroj/instrument 00276597 Sonda / probe		
Interní číslo: <i>Internal number</i>	Přístroj/instrument 001633 Sonda / probe 001633/2		
Rozsah: <i>Scale</i>	(0,2...15)m/s Rozlišení 0,01 m/s		
Přesnost: <i>Accuracy</i>	±(0,1 m/s ±1,5 % z nam. hod.) ±1 digit		
Minulá kalibrace: <i>Last calibration</i>	09.05.2018, KL 2018/1304		
Datum kalibrace: <i>Date of calibration</i>	06.05.2021		
Další kalibrace do: <i>Next calibration to</i>	řídí se interními předpisy uživatele		
<p>Tento kalibrační list (certifikát) nesmí být reprodukován jinak, než v celkovém počtu stran s výjimkou povolení laboratoře, která jej vydala. Kalibrační list je bez podpisu neplatný.</p> <p><i>This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission the issuing laboratory. Calibration certificate without signature is not valid.</i></p> <p>Výsledky kalibrace byly získány za podmínek a s použitím postupů uvedených v tomto kalibračním listě, a vztahují se pouze ke dni a místu, ve kterých byla kalibrace provedena. Kalibrace byla provedena v místě sídla kalibrační laboratoře.</p> <p><i>Calibration results were obtained for conditions and using the procedures in this calibration certificate, and apply only to the date and place in which calibration was performed. The calibration was performed at the location of the calibration laboratory.</i></p>			
Datum přijetí: <i>Date of receipt</i>	22.04.2021 	Kalibraci provedl: <i>Person in charge</i>	Kalibrační list schválil: <i>Authorized</i>
Datum vystavení: <i>Date of issuance</i>	06.05.2021	Bc. Jiří Sázkavský, DiS. Laborant	 Karel Zíka Vedoucí kalibrační laboratoře

**KALIBRAČNÍ LIST číslo: 2021/1663**

Calibration certificate number:

Strana číslo: 2 / 2

Site number

Použité etalony: ALMEMO 2590 sn.:H16121096, Sonda TH4K2 sn.:16120122, Kalibrační list: S23447 TIS
Reference standards Pitotova trubice AIRFLOW s vyhodnocovacím systémem Westenberg Engineering, Kalibrační list: 6079 Westenberg

Použité prostředky: Aerodynamický tunel - Westenberg / wind channel - Westenberg
Used equipments

Kalibrační postup: KP-05 Kalibrace číslicových anemometrů
Calibration method

Kalibrace byla provedena v souladu s interním postupem přímým srovnáním měřených hodnot kalibrovaného přístroje s referenčním materiálem nebo pracovním etalonem.

The calibration was conducted in accordance with internal method, by direct comparison of the measured values of the calibration article with the reference or working standard.

Okolní podmínky: Teplota / temperature (21,3 ±1,5)°C
Ambiencecondition Vlhkost / humidity (31,8 ±3)%RH
 Tlak / air pressure (979,8 ±5)hPa

Naměřené hodnoty: Referenční hodnota* a Hodnota* jsou průměry z 10 naměřených hodnot.
Measuring results *Reference value* and Value* are the average of 10 measured values.*

Referenční hodnota* <i>Reference value</i>	Hodnota* <i>Value</i>	Odchylka <i>Deviation</i>	Nejistota <i>Uncertainty</i>
Proudění			
0,19 m/s	0,24 m/s	0,05 m/s	0,09 m/s
0,99 m/s	1,04 m/s	0,05 m/s	0,13 m/s
3,01 m/s	2,92 m/s	-0,09 m/s	0,15 m/s
6,01 m/s	5,86 m/s	-0,15 m/s	0,15 m/s
10,00 m/s	9,76 m/s	-0,24 m/s	0,18 m/s

Nejistota: Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %.
Uncertainty Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA - 4/02 M:2013.

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor $k = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %.
The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with publication EA - 4/02 M:2013.

Poznámka:
Note

Konec kalibračního listu
 End of the calibration certificate

Příloha 2 – Kalibrační list Testo 400 termická sonda

		Testo, s.r.o. - Kalibrační laboratoř Jinonická 80, 158 00 Praha 5 tel.: 00420222266715 www.kalibrace.testo.cz		
KALIBRAČNÍ LIST číslo: 2022/1845		Strana číslo: 1 / 2 <i>Site number</i>		
<i>Calibration certificate number:</i>				
Zadavatel: <i>Customer</i>	Testo, s.r.o. Jinonická 80 158 00 Praha 5	Kalibrace byla provedena v souladu se zákonem o metrologii číslo 505 / 1990 v platné verzi. Tento kalibrační list je dokladem o návaznosti k národním etalonům, které realizují jednotky měření podle Mezinárodní soustavy jednotek SI (International System of Units - SI). Uživatel je povinen provádět recalibraci předmětu ve vhodných intervalech.		
Uživatel: <i>User</i>	Státní zdravotní ústav Šrobárova 49/48 100 00 Praha 10	Český institut pro akreditaci, o.p.s. je členem mezinárodních organizací jako je European co-operation for Accreditation (EA) a International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) pro vzájemné uznávání kalibračních listů (certifikátů).		
Předmět: <i>Object</i>	Anemometr T400 Termická sonda	<i>The calibration is performed in accordance with the law concerning legal metrology Nr. 305/1990 in the amended version. This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI). The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.</i>		
Výrobce: <i>Manufacturer</i>	Testo SE & Co. KGaA Testo SE & Co. KGaA	<i>The Czech Accreditation Institute, is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates.</i>		
Typ: <i>Type</i>	Přístroj/instrument 0563.4001 Sonda / probe 0635.1049			
Výrobní číslo: <i>Serial number</i>	Přístroj/instrument 00276597 Sonda / probe			
Interní číslo: <i>Internal number</i>	Přístroj/instrument 001633 Sonda / probe 001633/10			
Rozsah: <i>Scale</i>	Sonda: (0...+10)m/s Rozlišení 0,01 m/s			
Přesnost: <i>Accuracy</i>	$\pm(0,03 \text{ m/s} \pm 5 \% \text{ z nam. hod.})$ $\pm 1 \text{ digit}$			
Minulá kalibrace: <i>Last calibration</i>	18.10.2019, KL 2019/4631			
Datum kalibrace: <i>Date of calibration</i>	21.04.2022			
Další kalibrace do: <i>Next calibration to</i>	řídí se interními předpisy uživatele			
Tento kalibrační list (certifikát) nesmí být reprodukován jinak, než v celkovém počtu stran s výjimkou povolení laboratoře, která jej vydala. Kalibrační list je bez podpisu neplatný. <i>This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission the issuing laboratory. Calibration certificate without signature is not valid.</i>				
Výsledky kalibrace byly získány za podmínek a s použitím postupů uvedených v tomto kalibračním listě, a vztahují se pouze ke dni a místu, ve kterých byla kalibrace provedena. Kalibrace byla provedena v místě sídla kalibrační laboratoře. <i>Calibration results were obtained for conditions and using the procedures in this calibration certificate, and apply only to the date and place in which calibration was performed. The calibration was performed at the location of the calibration laboratory.</i>				
Datum přijetí: <i>Date of receipt</i>	05.04.2022	Kalibraci provedl: <i>Person in charge</i>	Kalibrační list schválil: <i>Authorized</i>	
				
Datum vystavení: <i>Date of issuance</i>	21.04.2022	Bc. Jiří Sázavský, DiS. Vedoucí laborant	Bc. Jiří Sázavský, DiS. Vedoucí kalibrační laboratoře	

	KALIBRAČNÍ LIST číslo: 2022/1845 <i>Calibration certificate number:</i>	Strana číslo: 2 / 2 <i>Site number</i>		
Použité etalony: <i>Reference standards</i>	Laser Doppler Anemometer sn: 1320, Kalibrační list: 5427,D-K-21161-01-00, 2021-03 Fini GmbH ALMEMO 2590 sn.:H16121096, Sonda TH4K2 sn.:16120122, Kalibrační list: 6015-KL-P0759-21 ČMI			
Použité prostředky: <i>Used equipments</i>	Aerodynamický tunel - Westenberg / wind channel - Westenberg			
Kalibrační postup: <i>Calibration method</i>	KP-05 Kalibrace číslicových anemometrů Kalibrace byla provedena v souladu s interním postupem přímým srovnáním měřených hodnot kalibrovaného přístroje s referenčním materiálem nebo pracovním etalonem. <i>The calibration was conducted in accordance with internal method, by direct comparison of the measured values of the calibration article with the reference or working standard.</i>			
Okolní podmínky: <i>Ambiencecondition</i>	Teplota / <i>temperature</i>	(21,6 ±1,5)°C		
	Vlhkost / <i>humidity</i>	(35,9 ±3)%RH		
	Tlak / <i>air pressure</i>	(980,2 ±5)hPa		
Naměřené hodnoty: <i>Measuring results</i>	Referenční hodnota* a Hodnota* jsou průměry z 10 naměřených hodnot. <i>Reference value* and Value* are the average of 10 measured values.</i>			
	Referenční hodnota* <i>Reference value</i>	Hodnota * <i>Value</i>	Odchylka <i>Deviation</i>	Nejistota <i>Uncertainty</i>
Proudění				
0,20 m/s	0,23 m/s	0,03 m/s	0,09 m/s	
1,00 m/s	0,84 m/s	-0,16 m/s	0,13 m/s	
3,00 m/s	2,50 m/s	-0,50 m/s	0,15 m/s	
Nejistota: <i>Uncertainty</i>	Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření k=2, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA - 4/02 M:2013. <i>The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k = 2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %.</i> <i>The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with publication EA - 4/02 M:2013.</i>			
Poznámka: <i>Note</i>				
Konec kalibračního listu <i>End of the calibration certificate</i>				

Příloha 3 – Kalibrační list Datalogger

CVUT 1



Kalibrační laboratoř č. 2249

Starozuberská 1453, 756 54 Zubří
 MEROS, spol. s r.o., tel. +420 774 747 701, e-mail: meros@meros.cz, www.meros.cz



KALIBRAČNÍ LIST č. 2615F-18

Strana č. 1, počet stran 2

Žadatel: COMET SYSTEM, s.r.o.
 Bezručova 2901
 756 61 Rožnov pod Radhoštěm

Měřidlo: druh: záznamník teploty a vlhkosti
 výrobce: COMET
 typ: R3120
 výrobní číslo: 07921551
 inventární číslo: 15080
 měřicí rozsah: (-30 až 80)°C, (0 až 100)%

Specifikace: v technické dokumentaci výrobce uvádí:
 teplota -30°C až 80°C ± 0,4°C
 vlhkost 5% r.v. až 95% r.v. ± 2,5% r.v.

Kalibrační metoda: dle interního kal. postupu MKTT ET.2
 dle interního kal. postupu MKRV.1

Podmínky prostředí: teplota 23°C ± 5°C, relativní vlhkost max. 80 %

Použité etalony:

typ	výrobní číslo	platnost do	číslo kal. listu
Plát. odpor. teplom. GTF 101P	ič. 349	11.10.2018	7956F-17
Kalibrátor MicroCal 200+	0029034	11.1.2019	0016E-18
Digitální vlhkoměr TESTO 650	01163354/612	3.1.2019	0024F-18

Návaznost: Všechny použité etalony mají metrologickou návaznost na (mezi)národní etalony.

Datum přijetí: 23.3.2018

Datum kalibrace: 29.3.2018

Kalibraci provedl: Křenková Petra

Vyhodnocení: Uvedeny naměřené hodnoty, které se vztahují pouze k době a místu provedení kalibrace.

Naměřené hodnoty:

teplota	Etalonová hodnota [°C]	15,14	20,08	29,96	40,06
	Naměřená hodnota [°C]	14,9	20,1	30,0	40,2
	Chyba měřidla [°C]	-0,2	0,0	0,0	0,1
	Nejistota měření [°C]	0,2	0,2	0,2	0,2

Karel Hýánek
 technický vedoucí/KL

podpis vedoucího oddělení

Kalibrační list č. 2615F-18

strana č. 2, počet stran 2

relativní vlhkost kalibrováno při 23°C	Etalonová hodnota [% r.v.]	30,2	50,4	75,5
	Naměřená hodnota [% r.v.]	30,4	50,4	75,0
	Chyba měřidla [% r.v.]	0,2	0,0	-0,5
	Nejistota měření [% r.v.]	2,2	2,2	2,5

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k=2$, které pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02.

MEROS, spol. s r.o. kalibrační laboratoř č. 2249 akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. dle ČSN EN ISO/IEC 17025 prohlašuje, že bez jejího písemného souhlasu se nesmí tento kalibrační list reprodukovat jinak než celý. Výsledky kalibrace se týkají pouze kalibrovaného měřidla a nenahrazují jiné dokumenty.

Bc. Andrea Volejníková
vedoucí KL

schválil za KL

Datum vydání: 29.3.2018

Konec kalibračního listu.

MEROS, spol. s r.o.
Kalibrační laboratoř č. 2249

Příloha 4 – Kalibrační list stopky ruční



Český metrologický institut

Okružní 31, 638 00 Brno

tel. +420 545 555 111

www.cmi.cz



**Kalibrační laboratoř č. 2202 akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.
podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018**

Pracoviště: Oblastní inspektorát Praha, Radiová 1136/3, 102 00 Praha 10
Oddělení mechanických zkoušek materiálu, tel. +420 266020111, fax. +420 266020169

KALIBRAČNÍ LIST

1051-KL-30179-21

Datum vystavení: 7.10.2021

List 1 ze 2 listů

Zákazník: Státní zdravotní ústav
Šrobárova 49/48, 100 00 Praha 10

Měřidlo: Stopky ruční
Zkoušené rozsahy přístroje: 30 minut
Dělení stupnice: 0,01 s, po 30 min dělení 1 s
Druh: digitální

Výrobce: nezjištěn

Typ: LTH 10

Výrobní číslo: Ev.č.: SZÚ 1

Výsledky kalibrace byly získány za podmínek a s použitím postupů uvedených v tomto kalibračním listě a vztahují se pouze k době a místu provedení kalibrace.

Datum kalibrace: 6.10.2021

Kalibraci provedl:

Vedoucí oddělení:


Jaroslav Městka




Jiří Dlouhý

Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu provádějící laboratoře rozmnožován jinak než v celkovém počtu listů.

KALIBRAČNÍ LIST

1051-KL-30179-21

List 2 ze 2 listů

Metrologická návaznost: Měření jsou metrologicky návazná na (mezi)národní etalony.
Zařízení na kalibraci mechanicky spouštěných stopek ZS1-10, v.č. 002,
kalibr.list 1013-KL-40018-20 , kalibroval ČMI OI Praha, platnost do 24.9. 2023

Kalibrační postup: 113-MP-C013

Místo kalibrace: Zkušebna odd.1051, ČMI OI Praha 10, Radiová 3.

Podmínky kalibrace: teplota vzduchu (23 ± 5) °C, vlhkost vzduchu (20 - 75) %

Výsledky kalibrace:

Stopky nebyly seřizovány.

Hodnoty uvedené v tabulce jsou průměrem z jednotlivých řad měření.

Měřený interval etalon	Chyba stupnice stopek (s)	Rozšířená nejistota měření U(s)
10 s	0,00	0,03
30 s	0,00	0,03
60 s	0,00	0,03
5 min	0,00	0,03
15 min	0,00	0,03
25 min	0,00	0,03
30 min	0,0	2

Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02.M:2013. Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu k , který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %, což pro normální rozdělení odpovídá koeficientu rozšíření $k = 2$.

Konec kalibračního listu.

Český metrologický institut
Oblastní inspektorát Praha
Radiová 3
102 00 Praha
- 4 -

Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu provádějící laboratoře rozmnožován jinak než v celkovém počtu listů.



Český metrologický institut

Okružní 31, 638 00 Brno

tel. +420 545 555 111

www.cmi.cz



**Kalibrační laboratoř č. 2202 akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.
podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018**

Pracoviště: Oblastní inspektorát Praha, Radiová 1136/3, 102 00 Praha 10
Oddělení mechanických zkoušek materiálu, tel. +420 266020111, fax. +420 266020169

KALIBRAČNÍ LIST

1051-KL-30180-21

Datum vystavení: 7.10.2021

List 1 ze 2 listů

Zákazník: Státní zdravotní ústav
Šrobárova 49/48, 100 00 Praha 10

Měřidlo: Stopky ruční
Zkoušené rozsahy přístroje: 30 minut
Dělení stupnice: 0,01 s, po 30 min dělení 1 s
Druh: digitální

Výrobce: nezjištěn

Typ: LTH 10

Výrobní číslo: Ev.č.: SZÚ 2

Výsledky kalibrace byly získány za podmínek a s použitím postupů uvedených v tomto kalibračním listě a vztahují se pouze k době a místu provedení kalibrace.

Datum kalibrace: 6.10.2021

Kalibraci provedl:

Vedoucí oddělení:


Jaroslav Městka




Jiří Dlouhý

Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu provádějící laboratoře rozmnožován jinak než v celkovém počtu listů

KALIBRAČNÍ LIST

1051-KL-30180-21

List 2 ze 2 listů

Metrologická návaznost: Měření jsou metrologicky návazná na (mezi)národní etalony.
Zařízení na kalibraci mechanicky spouštěných stopek ZS1-10, v.č. 002,
kalibr.líst 1013-KL-40018-20 , kalibroval ČMI OI Praha, platnost do 24.9. 2023

Kalibrační postup: 113-MP-C013

Místo kalibrace: Zkušebna odd.1051, ČMI OI Praha 10, Radiová 3.

Podmínky kalibrace: teplota vzduchu (23 ± 5) °C, vlhkost vzduchu (20 - 75) %

Výsledky kalibrace:

Stopky nebyly seřizovány.

Hodnoty uvedené v tabulce jsou průměrem z jednotlivých řad měření.

Měřený interval etalon	Chyba stupnice stopek (s)	Rozšířená nejistota měření U(s)
10 s	0,00	0,03
30 s	0,00	0,03
60 s	0,00	0,03
5 min	0,00	0,03
15 min	-0,01	0,03
25 min	-0,02	0,03
30 min	0,0	2

Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02,M:2013. Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu k , který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %, což pro normální rozdělení odpovídá koeficientu rozšíření $k = 2$.

Konec kalibračního listu.

Český metrologický institut
Oblastní inspektorát Praha
Radiová 3
102 00 Praha

Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu provádějící laboratoře rozmnožován jinak než v celkovém počtu listů.

Příloha 5 – výpočet nejistoty měření pomocí přístroje Testo 400

Přesnost přístroje je stanovena výrobcem (uvedena v kalibračním listě) na $\pm 0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} + 5 \%$ pro termometrický anemometr a $\pm 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} + 1,5 \%$ pro vrtulkový anemometr. Z této hodnoty lze určit nejistotu přístroje [11].

Stanovení nejistot:

Je řešena kombinovaná standardní nejistota. Při výpočtu jsou uvažovány složky mající vliv na její stanovení:

- 1) Nejistota kalibrace – z kalibračního listu.
- 2) Nejistota rozlišení stupnice měřicího zařízení
- 3) Nejistota vnesená metodou měření

Kombinovaná standardní nejistota – výpočet (pro $k = 2$)

Testo 400				
Druh sondy	Rozsah [m·s ⁻¹]	Rozlišení [m·s ⁻¹]	Rozsah kalibrace [m·s ⁻¹]	nejistota kalibrace [m·s ⁻¹]
rychlost proudění vzduchu termoanemometr	0 až 10	0,01	0,2 až 3	0,15
rychlost proudění vzduchu lopatkový anemometr	0,2 až 15	0,01	0,19 až 10	0,18

Rychlost proudění vzduchu – termoanemometr:

Relativní nejistota vnesená kalibrací termoanemometru:

$$u_k = \frac{0,075 \cdot 100}{2,8} = 2,7 \%$$

Dílčí relativní nejistota z rozlišení:

$$u_r = \frac{0,01 \cdot 100}{10} = 0,1 \%$$

Nejistota vnesená chybami metody – počet a umístění měřicích bodů:

$$u_b = 5 \%$$

Nejistota vnesená chybami metody – náhodné chyby:

$$u_n = 1,5 \%$$

Rozšířená kombinovaná standardní nejistota výsledku je

$$U = k \cdot \sqrt{u_k^2 + u_r^2 + u_b^2 + u_n^2} = 2 \cdot \sqrt{2,7^2 + 0,1^2 + 5^2 + 1,5^2} = \pm 11,8 \%$$

Rychlost proudění vzduchu – lopatkový anemometr:

Relativní nejistota vnesená kalibrací lopatkového anemometru:

$$u_k = \frac{0,09 \cdot 100}{2,8} = 0,92 \%$$

Dílčí relativní nejistota z rozlišení:

$$u_r = \frac{0,01 \cdot 100}{14,8} = 0,07 \%$$

Nejistota vnesená chybami metody – počet a umístění měřicích bodů:

$$u_b = 5 \%$$

Nejistota vnesená chybami metody – náhodné chyby:

$$u_n = 1,5 \%$$

Rozšířená kombinovaná standardní nejistota výsledku je

$$U = k \cdot \sqrt{u_k^2 + u_r^2 + u_b^2 + u_n^2} = 2 \cdot \sqrt{0,92^2 + 0,1^2 + 5^2 + 1,5^2} = \pm 10,6 \%$$

Příloha 6 – Skript kódu FDS

```
&HEAD CHID='SEM', TITLE='VETRANI CHUC' /
&TIME T_END=6.0/
&DUMP DT_RESTART=5.0/
&MESH IJK=71,39,580, XB=-0.2,6.9,-0.2,3.7,0,58/
&SURF ID='DOOR CRACK', LEAK_PATH=0,1/
&ZONE XYZ=1,1,1.0, LEAK_AREA(0)=0.02 /
=====
2PP
=====
&OBST ID='stena1', XB=0,6.7,-0.2,0,0,4, COLOR='GRAY', /
&OBST ID='stena2', XB=6.7,6.9,-0.2,3.7,0,0,4, COLOR='GRAY', /
&OBST ID='stena3', XB=0,6.7,3.5,3.7,0,4, COLOR='GRAY', /
&OBST ID='stena4', XB=-0.2,0,-0.2,3.7,0,4, COLOR='GRAY', /
&OBST ID='Bschod1', XB=1.3,1.6,2.3,3.5,1.9,2, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod2', XB=1.6,1.9,2.3,3.5,1.7,1.9, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod3', XB=1.9,2.2,2.3,3.5,1.5,1.7, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod4', XB=2.2,2.5,2.3,3.5,1.3,1.5, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod5',XB=2.5,2.8,2.3,3.5,1.1,1.3, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod6',XB=2.8,3.1,2.3,3.5,0.9,1.1, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod7',XB=3.1,3.4,2.3,3.5,0.7,0.9, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod8',XB=3.4,3.7,2.3,3.5,0.5,0.7, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod9',XB=3.7,4.0,2.3,3.5,0.2,0.5, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod10',XB=4.0,4.3,2.3,3.5,0,0.2, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Podesta11PP',XB=0,1.3,2.3,3.5,1.9,2, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Podesta12PP',XB=0,1.2,1.3,2.3,1.9,2, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Podesta13PP',XB=0,1.3,0,1.3,1.9,2, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod1', XB=1.3,1.6,0,1.3,1.9,2, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod2', XB=1.6,1.9,0,1.3,2,2.2, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod3', XB=1.9,2.2,0,1.3,2.2,2.4, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod4', XB=2.2,2.5,0,1.3,2.4,2.6, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod5',XB=2.5,2.8,0,1.3,2.6,2.8, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod6',XB=2.8,3.1,0,1.3,2.8,3, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod7',XB=3.1,3.4,0,1.3,3,3.2, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod8',XB=3.4,3.7,0,1.3,3.2,3.4, COLOR='YELLOW', /
```

&OBST ID='Bschod9',XB=3.7,4.1,0,1.3,3.4,3.6, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod10',XB=4.1,4.4,0,1.3,3.6,3.8, COLOR='YELLOW', /
&OBST ID='Bschod10',XB=4.4,4.7,0,1.3,3.8,4, COLOR='YELLOW', /
=====
1PP-13NP
=====
&OBST ID='stena1a', XB=0,5.7,-0.2,0,4,7.6, COLOR='GRAY',MULT_ID='m1' /
&OBST ID='stena1b', XB=5.7,6.6,-0.2,0,6,7.6, COLOR='GRAY',MULT_ID='m1' /
&OBST ID='stena1c', XB=6.6,6.7,-0.2,0,4,7.6, COLOR='GRAY',MULT_ID='m1' /
&OBST ID='Dvere', XB=5.8,6.6,-0.2,0,4,6, COLOR='GREEN',MULT_ID='m1' /
&OBST XB= 5.7,5.8,-0.2,0,4,6, COLOR='BLUE', SURF_ID='DOOR CRACK',MULT_ID='m1' /
&OBST ID='stena2', XB=6.7,6.9,-0.2,3.7,4,7.6, COLOR='GRAY',MULT_ID='m2' /
&OBST ID='stena3a', XB=0,5.7,3.5,3.7,4,7.6, COLOR='GRAY',MULT_ID='m3' /
&OBST ID='stena3b', XB=5.7,6.6,3.5,3.7,6,7.6, COLOR='GRAY',MULT_ID='m3' /
&OBST ID='stena3c', XB=6.6,6.7,3.5,3.7,4,7.6, COLOR='GRAY',MULT_ID='m3' /
&OBST ID='Dvere', XB=5.8,6.6,3.5,3.7,4,6, COLOR='GREEN',MULT_ID='m3' /
&OBST XB= 5.7,5.8,3.5,3.7,4,6, COLOR='BLUE', SURF_ID='DOOR CRACK',MULT_ID='m3' /
&OBST ID='stena4', XB=-0.2,0,-0.2,3.7,4,7.6, COLOR='GRAY',MULT_ID='m4' /
&OBST ID='Podlaha1',XB=4.7,6.7,0,1.3,3.8,4.0, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m5' /
&OBST ID='Podlaha2',XB=5.1,6.7,1.3,1.8,3.8,4.0, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m6' /
&OBST ID='Podlaha3',XB=5.0,6.7,1.8,3.5,3.8,4.0, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m7' /
&OBST ID='Schod1', XB=4.7,5,1.8,3.5,4,4.2, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m8' /
&OBST ID='Schod2', XB=4.4,4.7,1.8,3.5,4.2,4.4, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m9' /
&OBST ID='Schod3', XB=4.1,4.4,1.8,3.5,4.4,4.6, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m10' /
&OBST ID='Schod4', XB=3.8,4.1,1.8,3.5,4.6,4.8, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m11' /
&OBST ID='Schod5', XB=3.5,3.8,1.8,3.5,4.8,5, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m12' /
&OBST ID='Schod6', XB=3.2,3.5,1.8,3.5,5,5.2, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m13' /
&OBST ID='Schod7', XB=2.9,3.2,1.8,3.5,5.2,5.3, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m14' /
&OBST ID='Schod9', XB=2.6,2.9,1.8,3.5,5.3,5.4, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m15' /
&OBST ID='Schod10', XB=2.3,2.6,1.8,3.5,5.4,5.5, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m16' /
&OBST ID='Schod11', XB=2.0,2.3,1.8,3.5,5.5,5.6, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m17' /
&OBST ID='Schod11', XB=1.7,2.0,1.8,3.5,5.6,5.8, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m18' /
&OBST ID='Podesta11NP',XB=0,1.7,1.8,3.5,5.6,5.8, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m19' /
&OBST ID='Podesta12NP',XB=0,1.6,1.6,1.8,5.6,5.8, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m20' /
&OBST ID='Podesta13NP',XB=0,1.7,0,1.6,5.6,5.8, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m21' /

&OBST ID='Schod13', XB=1.7,2.0,0,1.6,5.6,5.8, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m22'/
&OBST ID='Schod14', XB=2.0,2.3,0,1.6,5.8,6, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m23'/
&OBST ID='Schod15', XB=2.3,2.6,0,1.6,6.6,2, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m24'/
&OBST ID='Schod16', XB=2.6,2.9,0,1.6,6.2,6.4, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m25' /
&OBST ID='Schod17', XB=2.9,3.2,0,1.6,6.4,6.6, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m26'/
&OBST ID='Schod18', XB=3.2,3.5,0,1.6,6.6,6.8, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m27'/
&OBST ID='Schod19', XB=3.5,3.8,0,1.6,6.8,7, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m28'/
&OBST ID='Schod20', XB=3.8,4.1,0,1.6,7.7,2, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m29'/
&OBST ID='Schod21', XB=4.1,4.4,0,1.6,7.2,7.4, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m30'/
&OBST ID='Schod22', XB=4.4,4.7,0,1.6,7.4,7.6, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m31'/
&OBST ID='Podlaha1',XB=4.7,6.7,1.8,3.5,7.4,7.6, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m32'/
&OBST ID='Podlaha2',XB=4.8,6.7,1.6,1.8,7.4,7.6, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m33'/
&OBST ID='Podlaha3',XB=4.7,6.7,0,1.6,7.4,7.6, COLOR='YELLOW',MULT_ID='m34'/
&MULT ID='m1', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=13/
&MULT ID='m2', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=14/
&MULT ID='m3', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=13/
&MULT ID='m4', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=14/
&MULT ID='m5', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m6', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m7', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m8', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m9', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m10', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m11', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m12', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m13', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m14', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m15', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m16', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m17', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m18', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m19', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m20', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m21', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/
&MULT ID='m22', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/

```
&MULT ID='m23', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/  
&MULT ID='m24', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/  
&MULT ID='m25', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/  
&MULT ID='m26', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/  
&MULT ID='m27', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/  
&MULT ID='m28', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/  
&MULT ID='m29', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/  
&MULT ID='m30', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/  
&MULT ID='m31', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/  
&MULT ID='m32', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/  
&MULT ID='m33', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/  
&MULT ID='m34', DZ=3.6, K_LOWER=0, K_UPPER=12/  
&OBST ID='Strop1', XB=0,1.2,0,3.5,53.8,58, COLOR='GRAY'/  
&OBST ID='Strop1a', XB=0,6.7,-0.2,0,53.8,58, COLOR='GRAY',/  
&OBST ID='Strop2', XB=1.2,3.8,1.8,3.5,53.8,58, COLOR='GRAY'/  
&OBST ID='Strop3', XB=3.8,6.7,0,3.5,53.8,58, COLOR='GRAY'/  
&OBST ID='Strop4a', XB=2.2,2.7,0,1.8,53.8,54, COLOR='GRAY'/  
&OBST ID='Strop4b', XB=2.2,2.7,0,1.8,57.8,58, COLOR='GRAY'/  
=====  
HVAC  
=====  
&VENT ID='EXHAUST1', SURF_ID='HVAC', XB=0.0,0.0,0.1,1.1,53.3,53.8, COLOR='RED'/  
&VENT ID='EXHAUST2', SURF_ID='HVAC', XB=0.0,0.0,0.1,1.1,41.1,41.6, COLOR='RED'/  
&VENT ID='EXHAUST3', SURF_ID='HVAC', XB=0.0,0.0,0.1,1.1,26.7,27.2, COLOR='RED'/  
&VENT ID='EXHAUST4', SURF_ID='HVAC', XB=0.0,0.0,0.1,1.1,15.9,16.4, COLOR='RED'/  
&VENT ID='EXHAUST5', SURF_ID='HVAC', XB=0.0,0.0,0.1,0.7,1.6,1.9, COLOR='RED'/  
&HVAC ID='AMBIENT', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='DUCT1', AMBIENT=.TRUE., XYZ=-  
0.4,0.5,58.0/  
&HVAC ID='EXHAUST1', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='DUCT2', VENT_ID='EXHAUST1',  
LOSS=1.0,1.0/  
&HVAC ID='EXHAUST2', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='DUCT4', VENT_ID='EXHAUST2',  
LOSS=1.0,1.0/  
&HVAC ID='EXHAUST3', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='DUCT6', VENT_ID='EXHAUST3',  
LOSS=1.0,1.0/  
&HVAC ID='EXHAUST4', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='DUCT8', VENT_ID='EXHAUST4',  
LOSS=1.0,1.0/
```

```
&HVAC ID='EXHAUST5', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='DUCT10', VENT_ID='EXHAUST5',
LOSS=1.0,1.0/

&HVAC ID='DUCT1', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.7, PERIMETER=3.4, FAN_ID='FAN',
NODE_ID='AMBIENT','TEE1', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=15.0/

&HVAC ID='TEE1', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='DUCT1','DUCT2','DUCT3', XYZ=-0.4,0.5,53.5,
LOSS(1,2)=0.3/

&HVAC ID='TEE2', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='DUCT3','DUCT4','DUCT5', XYZ=-0.4,0.5,41.3,
LOSS(1,2)=0.3/

&HVAC ID='TEE3', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='DUCT5','DUCT6','DUCT7', XYZ=-0.4,0.5,26.7,
LOSS(1,2)=0.3/

&HVAC ID='TEE4', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='DUCT7','DUCT8','DUCT9', XYZ=-0.4,0.5,16.2,
LOSS(1,2)=0.3/

&HVAC ID='TEE5', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='DUCT9','DUCT10', XYZ=-0.4,0.5,1.7,
LOSS(1,2)=1.3, LOSS(2,1)=1.3/

&HVAC ID='DUCT2', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.16, PERIMETER=1.6,
NODE_ID='TEE1','EXHAUST1', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=0.3/

&HVAC ID='DUCT3', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.56, PERIMETER=3.0, NODE_ID='TEE1','TEE2',
ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=12.2/

&HVAC ID='DUCT4', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.16, PERIMETER=1.6,
NODE_ID='TEE2','EXHAUST2', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=0.3/

&HVAC ID='DUCT5', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.42, PERIMETER=2.6, NODE_ID='TEE2','TEE3',
ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=14.6/

&HVAC ID='DUCT6', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.16, PERIMETER=1.6, LOSS=0.21,0.21,
NODE_ID='TEE3','EXHAUST3', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=0.7/

&HVAC ID='DUCT7', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.32, PERIMETER=2.4, NODE_ID='TEE3','TEE4',
ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=10.5/

&HVAC ID='DUCT8', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.16, PERIMETER=1.6, LOSS=0.21,0.21,
NODE_ID='TEE4','EXHAUST4', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=0.7/

&HVAC ID='DUCT9', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.28, PERIMETER=2.2, NODE_ID='TEE4','TEE5',
ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=14.5/

&HVAC ID='DUCT10', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.16, PERIMETER=1.6, LOSS=0.21,0.21,
NODE_ID='TEE5','EXHAUST5', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=0.7/

&HVAC ID='FAN', TYPE_ID='FAN', VOLUME_FLOW=6.0/

=====

VENT & SLICE

=====

&VENT MB='YMIN', SURF_ID='OPEN' /

&VENT MB='YMAX', SURF_ID='OPEN' /
```

```
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='OPEN' /
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., ID='X = 5,7 m: Velocity', PBX=5.7/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 0,5 m: Velocity', PBX=0.5/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., ID='X = 2,2 m: Velocity', PBX=2.2/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 1,0 m: Velocity', PBX=1.0/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 5,7 m: Pressure', PBX=5.7/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 0,5 m: Pressure', PBX=0.5/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 2,2 m: Pressure', PBX=2.2/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 1,0 m: Pressure', PBX=1.0/ &SLCF
PBX=1,QUANTITY='PRESSURE',VECTOR=T /
&DEVC ID='DUCT2Velocity', QUANTITY='DUCT VELOCITY', DUCT_ID='DUCT2'/
&DEVC ID='DUCT4Velocity', QUANTITY='DUCT VELOCITY', DUCT_ID='DUCT4'/
&DEVC ID='DUCT6Velocity', QUANTITY='DUCT VELOCITY', DUCT_ID='DUCT6'/
&DEVC ID='DUCT8Velocity', QUANTITY='DUCT VELOCITY', DUCT_ID='DUCT8'/
&DEVC ID='DUCT10Velocity', QUANTITY='DUCT VELOCITY', DUCT_ID='DUCT10'/
&DEVC ID='EX1', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.1,0.6,53.5/
&DEVC ID='EX2', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.1,0.6,41.4/
&DEVC ID='EX3', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.1,0.6,27.0/
&DEVC ID='EX4', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.1,0.6,16.2/
&DEVC ID='EX5', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.1,0.4,1.8/
&TAIL /
```


Seznam obrázků

Obr. 1— Členění únikových cest (graficky upraveno dle [9]).....	17
Obr. 2— Členění větrání únikových cest (graficky upraveno dle [9])	20
Obr. 3 — Příklady větrání otevíratelnými otvory v každém podlaží	21
Obr. 4 - Příklad přirozeného větrání s přívodem vzduchu samočinně otvíravými vstupními dveřmi a odvodem vzduchu samočinně otvíravým střešním světlíkem [8]	22
Obr. 5 - Příklad nuceného způsobu větrání – přívod vzduchu (ventilátor + sání venkovního vzduchu VZT kanálem) do nejnižšího místa CHÚC a odvod vzduchu odtahovým potrubím s regulační klapkou v nejvyšším místě CHÚC.....	23
Obr. 6 – Návrhové podmínky pro zařízení třídy A (graficky upraveno dle [9])	24
Obr. 7 – Návrhové podmínky pro zařízení třídy B (graficky upraveno dle [9]).....	25
Obr. 8 - Návrhové podmínky pro zařízení třídy C (graficky upraveno dle [9])	26
Obr. 9 - Návrhové podmínky pro zařízení třídy D (graficky upraveno dle [9]).....	26
Obr. 10 - Návrhové podmínky pro zařízení třídy E (graficky upraveno dle [9])	27
Obr. 11 - Návrhové podmínky pro zařízení třídy F (graficky upraveno dle [9]).....	27
Obr. 12 – Paralelní trasy úniku vzduchu (graficky upraveno [25]).....	30
Obr. 13 – Sériové trasy úniku vzduchu (graficky upraveno [25])	30
Obr. 14 — Schéma přetlakového větrání CHÚC [19].....	34
Obr. 15 — Půdorys vybrané CHÚC ve 2.NP [18]	34
Obr. 16 — Chybějící dveře CHÚC (1.PP).....	35
Obr. 17 — Dveře, zabráněno zavření (1.PP).....	35
Obr. 18 — Poškozené dveřní křídlo (6.NP).....	35
Obr. 19 — Nedovřené dveře (6.NP).....	35
Obr. 20 — Chybějící těsnění na zárubni (2.NP).....	36
Obr. 21 — Chybějící těsnění na zárubni (3.NP).....	36
Obr. 22 — Půdorys střechy [20]	36
Obr. 23 — Fotografie zakrytování ventilátoru (nasávací otvory)	36
Obr. 24 — Fotografie ventilátoru a potrubí HVAC.....	36
Obr. 25 — Požární rozvodna.....	37
Obr. 26 — Ovládací panel v požární rozvodně [3]	37
Obr. 27 — Samočinně otvíravý světlík.....	37
Obr. 28 — Šachta světlíku (pohled z mezipodesty 13. NP).....	37
Obr. 29 — Otevřený světlík [3].....	37
Obr. 30 — Fotografie rozvodu VZT 2.PP.....	39
Obr. 31 — Fotografie rozvodu VZT 3.NP	39
Obr. 32 — Fotografie rozvodu VZT 6.NP	39
Obr. 33 — Fotografie rozvodu VZT 10.NP.....	39
Obr. 34 — Fotografie rozvodu VZT 10.NP.....	39
Obr. 35 — Fotografie rozvodu VZT 12.NP.....	39
Obr. 36 — Půdorysné schéma napojení VZT potrubí na vyústky (3.NP a 6.NP).....	40

Obr. 37 — Půdorysné schéma napojení VZT potrubí na vyústky (10.NP a 13.NP).....	40
Obr. 38 — Rozměry vyústky 2.PP [3].....	40
Obr. 39— Fotografie vyústky 2.PP [3]	40
Obr. 40 — Rozměry vyústky 3.NP-13.NP [3]	40
Obr. 41 — Fotografie vyústky 3.NP [3].....	41
Obr. 42 — Fotografie vyústky 6.NP [3].....	41
Obr. 43 — Fotografie vyústky 10.NP [3]	41
Obr. 44 — Fotografie vyústky 13.NP [3]	41
Obr. 45— Ukázka FDS kódu v programu Notepad++ s nastavbou pro FDS.....	42
Obr. 46 — Vizualizace celého modelu CHÚC.....	44
Obr. 47 — Detail dvou podlaží CHÚC v 1. a 2. NP.....	44
Obr. 48 — Utěsnění dveří 1.PP [3].....	44
Obr. 49 — Netěsnost dveří v realitě.....	45
Obr. 50 — Netěsnost dveří v modelu	45
Obr. 51 — Příklad zjednodušení HVAC [4].....	46
Obr. 52 — Schéma HVAC v modelu s popisem DUCT a NODE.....	47
Obr. 53 — Řez CHÚC zobrazující rychlost proudění vzduchu vs v čase 50 s.....	49
Obr. 54 — Řez CHÚC zobrazující přetlak v čase 5 s.....	51
Obr. 55 — Řez CHÚC zobrazující přetlak v čase 50 s	51
Obr. 56 — Rozdělení pravoúhlého vzduchovodu na dílčí plochy stejné velikosti [10].....	52
Obr. 57 — Přístroj Testo 400	53
Obr. 58 — Sondy pro měření přístrojem Testo 400	53
Obr. 59 — Přístroj Testo 417	53
Obr. 60 — Teploměr, vlhkoměr se záznamem datalogger COMET S3120E	53
Obr. 61 — Alu trubka 20x20x1,5 mm [21]	54
Obr. 62 — XD spojka 90° [22]	54
Obr. 63 — XD spojka s pravoúhlým vývodem [23]	54
Obr. 64 — Rám lapače pro 2.PP.....	54
Obr. 65 Ukázka spoje XD spojkami.....	54
Obr. 66 — Rám lapače 3.NP-13.NP.....	54
Obr. 67 — Ukázka XD spojky s pravoúhlým vývodem.....	54
Obr. 68 — Igelitový pytel Manutan s objemem 1000 l.....	55
Obr. 69 — Lepení pytlů do jednoho celku.....	55
Obr. 70 — PVC - U profil [24]	56
Obr. 71 — Uchycení pomocí PVC - U profilu	56
Obr. 72 — Chybějící dveře CHÚC (stav k 27.2.2023)	56
Obr. 73 — Dveře, zabráněno zavření (stav k 27.2.2023).....	56
Obr. 74 — Nový stav dveří v 1.PP (stav k 20.11.2023).....	57
Obr. 75 - Zabezpečení dveří páskou	58
Obr. 76 - Grafika informační tabulky	58

Obr. 77 — Průběh měření rychlosti proudění nasávaného vzduchu v nasávacím otvoru	59
Obr. 78— Schématické rozmístění nasávacích otvorů na krytu ventilátoru (rozměry uvedeny v mm) [3]	59
Obr. 79 — Otevřený samočinně otevíratelný světlík při simulaci požární situace [3]	61
Obr. 80— Otevřený samočinně otevíratelný světlík při zavřeném stavu	61
Obr. 81 -Měřicí síť na samočinně otevíratelném světlíku (rozměry uvedeny v mm)	61
Obr. 82 — Měřicí síť na vyústce 3.NP-13.NP (rozměry uvedeny v mm)	62
Obr. 83— Měřicí síť na vyústce 2.PP (rozměry uvedeny v mm)	62
Obr. 84 — Půdorysné schéma napojení VZT potrubí na vyústky (3.NP a 6.NP)	63
Obr. 85— Půdorysné schéma napojení VZT potrubí na vyústky (10.NP a 13.NP)	63
Obr. 86 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 13.NP.....	64
Obr. 87 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 10.NP.....	64
Obr. 88 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 6.NP	65
Obr. 89 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 3.NP	66
Obr. 90 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 2.PP.....	66
Obr. 91 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 13.NP.....	68
Obr. 92 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 10.NP.....	68
Obr. 93 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 6.NP	69
Obr. 94 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 3.NP	70
Obr. 95 — Schéma rozdělení rychlosti proudění vzduchu na vyústce 2.PP.....	70
Obr. 96 — Půdorysné schéma napojení VZT potrubí na vyústky (3.NP a 6.NP)	76
Obr. 97 — Půdorysné schéma napojení VZT potrubí na vyústky (10.NP a 13.NP)	76
Obr. 98 — Přístroj pro měření objemového průtoku Testo 420 s integrovaným usměrňovačem proudění [3].....	77
Obr. 99— Nečistoty v zárubni 7.NP	82
Obr. 100— Poškozené dveřní křídlo 6.NP.....	82
Obr. 101 — Zajištěné dveřní křídlo 5.NP	82
Obr. 102 — Nedovřené dveře 5.NP.....	82
Obr. 103— Fotografie vyústky 2.PP [3].....	83
Obr. 104— Fotografie vyústky 2.PP 11/2023	83
Obr. 105 — Fotografie vyústky 3.NP [3]	83
Obr. 106— Fotografie vyústky 3.NP 11/2023.....	83
Obr. 107 — Fotografie vyústky 6.NP [3]	83
Obr. 108— Fotografie vyústky 6.NP 11/2023.....	83
Obr. 109 — Fotografie vyústky 10.NP [3].....	83
Obr. 110— Fotografie vyústky 10.NP 11/2023	83
Obr. 111 — Fotografie vyústky 13.NP [3].....	83
Obr. 112— Fotografie vyústky 13.NP 11/2023	83

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 – klasifikační třídy zařízení [9]</i>	24
<i>Tabulka 2 — Seznam NODE bodů s vlastnostmi</i>	47
<i>Tabulka 3 — Seznam DUCT s vlastnostmi</i>	48
<i>Tabulka 4 — Vyhodnocení vyústek</i>	49
<i>Tabulka 5 — Porovnání hodnot objemových průtoků vyústkami</i>	50
<i>Tabulka 6 – výsledky měření nasávaného vzduchu</i>	60
<i>Tabulka 7 – Výsledky měření odváděného vzduchu</i>	61
<i>Tabulka 8 – Výsledky měření 13.NP</i>	64
<i>Tabulka 9 – Výsledky měření 10.NP</i>	64
<i>Tabulka 10 – Výsledky měření 6.NP</i>	65
<i>Tabulka 11 – Výsledky měření 3.NP</i>	65
<i>Tabulka 12 – Výsledky měření 2.PP</i>	66
<i>Tabulka 13 – Souhrn středních rychlostí na vyústkách</i>	67
<i>Tabulka 14 – Výsledky měření 13.NP</i>	67
<i>Tabulka 15 – Výsledky měření 10.NP</i>	68
<i>Tabulka 16 – výsledky měření 6.NP</i>	69
<i>Tabulka 17 – výsledky měření 3.NP</i>	69
<i>Tabulka 18 – Výsledky měření 2.PP</i>	70
<i>Tabulka 19 – Souhrn středních rychlostí na vyústkách</i>	71
<i>Tabulka 20 – Souhrn volných výtokových ploch vyústek [3]</i>	71
<i>Tabulka 21 – Přepočet objemového průtoku na vyústkách</i>	72
<i>Tabulka 22 – Souhrn objemových průtoků na vyústkách</i>	73
<i>Tabulka 23 – Porovnání povětrnostních podmínek</i>	74
<i>Tabulka 24 – Souhrn použitých přístrojů</i>	74
<i>Tabulka 25 – Souhrn výsledků měření na vyústkách</i>	76
<i>Tabulka 26 – Porovnání objemových průtoků 2022x2023</i>	77
<i>Tabulka 28 – Souhrn objemových průtoků měřených pomocí Testo 420</i>	78
<i>Tabulka 29 – Objemové průtoky měřené pomocí lapače s porovnáním oproti Testo 420</i>	78
<i>Tabulka 30 – Porovnání výsledků modelu FDS a reálných měření</i>	79
<i>Tabulka 32 – Vyhodnocení pomocí součtu objemových průtoků</i>	80

Seznam rovnic

- (1) Rovnice intenzity větrání
- (2) Rovnice kontinuity
- (3) Rovnice ekvivalentní ztráty
- (4) Rovnice výpočtu průměru lapacího pytle
- (5) Rovnice výpočtu objemu uříznutého pytle
- (6) Rovnice výpočtu objemu přesahu pytlů
- (7) Rovnice výpočtu objemu celkového lapacího pytle
- (8) Rovnice výpočtu střední rychlosti proudění vzduchu v_s – odváděný vzduch
- (9) Rovnice výpočtu výtokové plochy A_k
- (10) Rovnice výpočtu objemového průtoku Q_v
- (11) Rovnice výpočtu střední rychlosti proudění vzduchu v_s – přívodní vzduch 13.NP
- (12) Rovnice výpočtu střední rychlosti proudění vzduchu v_s – přívodní vzduch 10.NP
- (13) Rovnice výpočtu střední rychlosti proudění vzduchu v_s – přívodní vzduch 6.NP
- (14) Rovnice výpočtu střední rychlosti proudění vzduchu v_s – přívodní vzduch 3.NP
- (15) Rovnice výpočtu střední rychlosti proudění vzduchu v_s – přívodní vzduch 2.PP
- (16) Rovnice výpočtu střední rychlosti proudění vzduchu v_s – přívodní vzduch 13.NP
- (17) Rovnice výpočtu střední rychlosti proudění vzduchu v_s – přívodní vzduch 10.NP
- (18) Rovnice výpočtu střední rychlosti proudění vzduchu v_s – přívodní vzduch 6.NP
- (19) Rovnice výpočtu střední rychlosti proudění vzduchu v_s – přívodní vzduch 3.NP
- (20) Rovnice výpočtu střední rychlosti proudění vzduchu v_s – přívodní vzduch 2.PP
- (21) Rovnice výpočtu objemového průtoku Q_v pro přívodní vzduch
- (22) Rovnice výpočtu objemového průtoku Q_v pro přívodní vzduch 13.NP – lapací zařízení
- (23) Rovnice výpočtu objemového průtoku Q_v pro přívodní vzduch 10.NP – lapací zařízení
- (24) Rovnice výpočtu objemového průtoku Q_v pro přívodní vzduch 6.NP – lapací zařízení
- (25) Rovnice výpočtu objemového průtoku Q_v pro přívodní vzduch 3.NP – lapací zařízení
- (26) Rovnice výpočtu objemového průtoku Q_v pro přívodní vzduch 2.PP – lapací zařízení

Literatura

- [1] ČSN 73 0802 ed. 2 - Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023.
- [2] ČSN 73 0804 ed. 2 - Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023.
- [3] JORDÁN, Lukáš. Přetlakové větrání chráněných únikových cest. Praha, 2023. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavla Pechová, Ph.D.
- [4] MCGRATTAN, Kevin, Simo HOSTIKKA, Randall MCDERMOTT, Jason FLOYD, Marcos VANELLA, Craig WEINSCHENK a Kristopher OVERHOLT. Fire Dynamics Simulator, User's Guide; (NIST Special Publication 1019, Sixth Edition). B.m.: VTT Technical Research Centre of Finland, NIST National Institute of Standards and Technology
- [5] Engineering ToolBox (2003). Air Duct Components – Minor Dynamic Loss Coefficients. [online] Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/minor-loss-air-ducts-fittings-d_208.html [cit. 2023-06-18].
- [6] The Engineering ToolBox (2003). Roughness & Surface Coefficients. [online] Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/surface-roughness-ventilation-ducts-d_209.html [cit. 2023-06-18].
- [7] HAJM, Josef. 124SEM – Přetlakové větrání chráněných únikových cest. Praha, 2023. Seminární práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavla Pechová, Ph.D.
- [8] HEJTMÁNEK, Petr, Hana NAJMANOVÁ a Marek POKORNÝ. Únikové cesty. TZB-info [online]. 25.3.2016 [cit. 2023-11-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13656-unikove-cesty>
- [9] POKORNÝ, Jiří a TOMAN, Stanislav. Požární větrání: větrání chráněných únikových a zásahových cest. 2. rozšířené vydání. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2021. ISBN 978-80-7385-249-8.
- [10] POKORNÝ, Jiří, Stanislav TOMAN a Ivana NOHOVÁ. Metodický postup pro ověřování funkčnosti požárního odvětrání [online]. Praha: Ministerstvo vnitra-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2010 [cit. 2023-11-28]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/soubor/odkazy-pozarni-prevence-metodika-pro-zokt-pdf.aspx>
- [11] ČSN EN 12599. Větrání budov – Zkušební postupy a měřicí metody pro přejímky instalovaných větracích a klimatizačních zařízení. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [12] ČSN ISO 10780 Stacionární zdroje emisí – Měření rychlosti a průtoku plynů v potrubí. Praha: ČNI, 1998.
- [13] ČSN 73 0810 + 01 – Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016
- [14] ČESKO. Vyhláška č. 246/2001 Sb., Ministerstva vnitra o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 30. 11. 2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-246>

- [15] TOMAN, Stanislav. Požární větrání chráněných únikových cest, navrhování a některé problémy. TZB-info [online]. 18.4.2016 [cit. 2023-11-30]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/7575-pozarni-vetrani-chranenych-unikovych-cest-navrhovani-a-nektere-problemy>
- [16] TOMAN, Stanislav. Větrání chráněných únikových cest při požáru. TZB-info [online]. 14.7.2004ý [cit. 2023-11-30]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/2064-vetrani-chranenych-unikovych-cest-pri-pozaru>
- [17] SODOMKA, Waltr. Komínový tah – podstata, význam a měření. TZB-info [online]. 4.12.2019 [cit. 2023-11-30]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/kominy-a-kourovody/12277-kominovy-tah-podstata-vyznam-a-mereni>
- [18] POSPÍŠIL, Martin. ČVUT – REKONSTRUKCE OBJEKTU A, Thákurova 7. REALIZACE ENERGETICKÝCH ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ: Požárně bezpečnostní řešení. Praha, 2011.
- [19] KUBEC, F. POŽÁRNÍ ZABEZPEČENÍ OBJEKTŮ FAKULTY STAVEBNÍ. Praha, 2002.
- [20] DĚDOUREK, M. ČVUT – VYUŽITÍ BUDOVY „A“ JAKO SÍDLLO FIT, část F1 – Pozemní (stavební) objekty. Praha, 2011.
- [21] HORNBACH, Alu trubka čtyřhran pr. 20x20x1,5mm 1m. [online]. [cit. 2023-11-30]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/p/alu-trubka-ctyrhran-pr-20x20x1-5mm-m/8829161/?searchTerm=4004338472856>
- [22] HORNBACH, XD spojka profilů 90° plastová černá [cit. 2023-11-30]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/p/xd-spojka-profilu-90-plastova-cerna/5224088/?searchTerm=4004338426361>
- [23] HORNBACH, XD spojka profilů s pravouhlým vývodem, plastová černá [cit. 2023-11-30]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/p/xd-spojka-profilu-s-pravouhlym-vyvodem-plastova-cerna/5224082/?sourceArt=5224088&trackArticleCrossType=vb&url=5224082>
- [24] HORNBACH, PVC – U profil, bílý 20x21x1mm, 1 m [cit. 2023-11-30]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/p/pvc-u-profil-bily-20x21x1mm-1m/4249540/?searchTerm=4004338484545>
- [25] ČSN EN 12101-6. Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla – Část 6: Technické podmínky pro zařízení pracující na principu rozdílu tlaků – Sestavy. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [26] HOŠEK, Zdeněk. České technické normy řady 73 08xx z oboru požární bezpečnosti staveb [online]. 15.1.2007 [cit. 2023-11-28]. Dostupné z: [https://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni odolnost/e-text/technici/2/2-2 Ceske technicke normy.pdf](https://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni%20odolnost/e-text/technici/2/2-2%20Ceske%20technicke%20normy.pdf)
- [27] ČSN 73 0872 – Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1996.
- [28] TOMAN, Stanislav. Požární větrání staveb. Konference Červený kohout 2009 [online]. [cit. 2023-11-30]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11192771/>
- [29] ZÁMORSKÁ, Petra. OVĚŘENÍ VENTILACE CHRÁNĚNÝCH ÚNIKOVÝCH CEST. Praha, 2019. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. arch. Bc. Petr Hejtmánek.
- [30] POKORNÝ, Jiří a Eva MIKULOVÁ. Kontrola provozuschopnosti požárního odvětrání s využitím kouřových generátorů. Spektrum [online]. 2007, 7(1), 14-18 [cit. 2022-06-12]. ISSN 1211- 6920. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/131775>