

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

POSOUZENÍ VYUŽITÍ ČISTIČEK VZDUCHU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BC. ERIK BÓNA

2 – IB – 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bóna** Jméno: **Erik** Osobní číslo: **470028**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Inteligentní budovy**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Posouzení využití čistětek vzduchu

Název diplomové práce anglicky:

Evaluation of the Use of Air Purifiers

Pokyny pro vypracování:

Popište principy odlučování suspendovaných částic. Zhodnoťte využití přenosných čistětek vzduchu pro zlepšení kvality vnitřního ovzduší. V experimentální části s použitím optického počítáče částic změřte a vyhodnoťte účinnost čistětek vzduchu Daikin MC707VM, Ionic Care Triton X6 a Haler KJF600KCAA z hlediska snížení koncentrace suspendovaných znečišťujících částic.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Hemeřka J.: Odlučování tuhých částic, ČVUT, Praha, 2000.
- 2) Aerosol Dust Monitors & Counters, Grimm Aerosol Technik Manual
- 3) Blažek B.: Posouzení využití čistětek vzduchu, diplomová práce, Fakulta strojní ČVUT v Praze, 2016.
- 4) publikace v odborných časopisech z oblasti šeloty vnitřního prostředí, využití a hodnocení čistětek vzduchu
- 5) fremní literatura

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Pavel Vybíral, Ph.D., ústav techniky prostředí F8

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **04.07.2021**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Pavel Vybíral, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) konzultace

prof. Ing. Michael Velíšek, DrSc.
podpis odborník

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez další pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá principy odlučování suspendovaných částic, zhodnocením využití přenosných čističek vzduchu ve vnitřním prostředí a v nich používanými technologiemi čištění vzduchu v současné době. V praktické části se věnuje měření čističek vzduchu Haier KJF600KCAA, Daikin MC 707 VC a Ionic CARE Triton X6 v reálném prostředí. Základní měření proběhlo v uzavřené místnosti bez aktivity, kde byly posuzovány jednotlivé režimy čističek i vliv jejich umístění. V další části bylo měření prováděno už za standardního chodu domácnosti. Zdrojem zvýšení koncentrace škodlivých látek byl zejména kouř z vonných tyčinek. Koncentrace tuhých částic byla monitorována pomocí analyzátoru Grimm 1.109 a koncentrace CO₂ přístrojem Wöhler CDL 210. Výsledky byly zpracovány jako procentuální pokles skutečného množství částic v závislosti na čase.

Summary

This diploma thesis deals with the principles of separation of suspended particles, evaluation of the use of portable air purifiers in the indoor environment and currently used air purification technologies. In the practical part, it focuses on the measurement of Haier KJF600KCAA, Daikin MC 707 VC and Ionic CARE Triton X6 air purifiers in a real environment. The basic measurements were carried out in a closed room with no activity, where the different modes of the purifiers and the effect of their positioning were assessed. In the next part, the measurements were carried out under standard household operation. The source of the increase in pollutant concentration was mainly smoke from the scented sticks. The particulate matter concentration was monitored with a Grimm 1.109 and the CO₂ concentration with a Wöhler CDL 210. The results were processed as a percentage decrease of the actual particulate matter as a function of time.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: Posouzení využití čističek vzduchu vypracoval samostatně pod vedením Ing. Pavla Vybírala, PhD., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práci v seznamu použité literatury.

V Praze dne:

.....

Bc. Erik Bóna

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Pavlovi Vybíralovi, Ph. D. za užitečné konzultace a připomínky při zpracování diplomové práce.

Obsah

Seznam použitých veličin a symbolů	10
Úvod.....	12
Cíle práce	13
1 Teorie částic	14
1.1 Tuhé částice.....	14
1.2 Kapalné částice.....	14
1.3 Plynné částice.....	15
1.4 Tvar a velikost částic	15
1.4.1 Ekvivalentní velikost částice podle objemu	15
1.4.2 Ekvivalentní velikost částice podle průmětu	16
1.4.3 Ekvivalentní velikost částice podle povrchu	16
1.4.4 Ekvivalentní velikost částice podle pádové rychlosti.....	16
1.5 Zrnitost částic	17
1.5.1 Zrnitost dle počtu částic.....	18
1.5.2 Zrnitost dle průmětu.....	22
1.5.3 Zrnitost dle hmotnosti	23
1.6 Frakce PM _x	24
1.7 Zdravotní účinky	25
2 Odlučování tuhých částic	26
2.1 Základní odlučovací principy	26
2.1.1 Setrvačný princip	26
2.1.2 Odstředivý princip.....	27
2.1.3 Gravitační princip.....	28

2.1.4	Difuzní princip	28
2.1.5	Intercepční princip	29
2.1.6	Elektrický princip.....	30
2.2	Typy odlučovačů.....	31
2.2.1	Suché mechanické odlučovače	31
2.2.2	Mokrý mechanické odlučovače	31
2.2.3	Elektrostatické odlučovače	31
2.2.4	Filtry	31
3	Filtrace	32
3.1	Zkoušení a třídění filtrů pro všeobecné větrání dle ČSN EN ISO 16890.....	32
3.2	Třídění vysoce účinných filtrů	35
4	Stav prostředí.....	37
4.1	Vnitřní prostředí.....	37
4.1.1	Tepelně vlhkostní mikroklima.....	37
4.1.2	Odérové mikroklima	38
4.1.3	Toxické mikroklima	38
4.1.4	Aerosolové mikroklima	38
4.1.5	Mikrobiální mikroklima.....	38
4.2	Hygienické hodnocení škodlivin	39
4.2.1	PEL a NPK	39
4.2.2	Platné předpisy v oblasti kvality vnitřního prostředí.....	39
5	Čističky vzduchu.....	40
5.1	Typy čističek	40
5.1.1	Čističky vzduchu s HEPA filtrem.....	41
5.1.2	Čističky vzduchu s uhlíkovými filtry	42

5.1.3	Čistička vzduchu s elektrostatickým filtrem	42
5.1.4	Čistička vzduchu s ionizátorem.....	42
5.1.5	Čistička vzduchu s UV filtrem.....	43
5.1.6	Čistička vzduchu založená na fotokatalytickém principu	43
5.1.7	Vícestupňová čistička vzduchu	44
5.2	Hodnocení přenosných čističek vzduchu	45
5.2.1	Expertízy Státního zdravotního ústavu	49
5.3	Nejprodávanější čističky vzduchu	51
6	Použité přístroje při experimentálním měření	54
6.1	Čistička vzduchu Ionic CARE Triton X6	54
6.2	Čistička vzduchu Daikin MC 707 VC	55
6.3	Čistička vzduchu Haier KJF600KCAA.....	58
6.4	Analyzátor GRIMM 1.109	60
6.5	Wöhler CDL 210.....	64
7	Experimentální měření v reálném prostředí	65
7.1	Popis reálného prostředí.....	65
7.2	Umístění přístrojů při experimentu	66
7.3	Postup měření v uzavřené místnosti.....	68
7.4	Vyhodnocení účinnosti čističek vzduchu	70
7.4.1	Bez použití čističky	70
7.4.2	Použití čističky Haier KJF600KCAA	71
7.4.3	Použití čističky Daikin MC 707 VC.....	72
7.4.4	Použití čističky Ionic CARE Triton X6.....	73
7.4.5	Celkové vyhodnocení účinnosti čističek	74
7.5	Vliv umístění na funkci čističek vzduchu	76

7.6	Experiment při běžném provozu domácnosti.....	82
7.7	Pokles koncentrace částic při otevřeném okně	91
7.8	Ověření čidla koncentrace částic frakce PM _{2,5} u čističky Haier KJF600KCAA...	92
8	Závěr	94
9	Literatura	97
10	Přílohy	101

Seznam použitých veličin a symbolů

Označení	Jednotka	Veličina
A	m^2	Celková odlučovací plocha
A	m^2	Celkový průmět
a	μm	Velikost částice
a_{mod}	μm	Modus souboru částic
a_{med}	μm	Medián souboru částic
a_1	μm	Aerodynamická velikost částice
a_A	μm	Ekvivalentní velikost částice podle průmětu
a_s	μm	Ekvivalentní velikost částice podle povrchu
a_v	μm	Ekvivalentní částice podle objemu
$\overline{a_{N,2}}$	μm	Střední kvadratická velikost podle počtu
$\overline{a_{N,3}}$	μm	Střední kubická velikost podle počtu
$CADR$	m^3/h	Clean Air Delivery Rate
C	g/m^3	Hmotnostní koncentrace
C_0	g/m^3	Hmotnostní koncentrace na vstupu
d	m	Průměr
$d_{N,1}$	μm	Střední aritmetický průměr vláken
D_B	m^2/s	Součinitel Brownovské difuze
\bar{E}	V/m	Intenzita elektrického pole
E_j	%	Účinnost odlučování
$E_{D,j}$	%	Účinnost odlučování po neutralizaci
\bar{F}_Q	N	Coulombova síla
g	m/s^2	Gravitační zrychlení
MPPS	μm	Most Penetrating Particle Size
M	kg	Celková hmotnost
\dot{M}_p	kg/s	Hmotnostní tok částic na vstupu do odlučovače
\dot{M}_v	kg/s	Hmotnostní tok částic na výstupu odlučovače
\dot{M}_z	kg/s	Hmotnostní tok zachycených částic
n	-	Počet velikostí částic v souboru
N	-	Celkový počet částic
$(\Delta N)_j$	-	Počet částic ve frakci
NPK	g/m^3	Nejvyšší přípustná koncentrace
O_c	-	Celková odlučivost
O_f	-	Frakční odlučivost
P	-	Propad
$p_{N,j}$	$1/\mu m$	Četnost částic podle počtu
$(\Delta P_N)_j$	-	Poměrný počet částic
PEL	g/m^3	Přípustný expoziční limit
Pe	-	Pecletovo kritérium
Q	C	Elektrický náboj

Re	-	Reynoldsovo číslo
Re_d	-	Reynoldsovo číslo proudu
Stk	-	Stokesovo číslo
S	m^2	Povrch částice
S_e	m^2	Plocha usazovacích elektrod
u_k	m/s	Konečná odlučovací rychlost částice
u_p	m/s	Pádová rychlost
v_d	m/s	Střední rychlost plynu ve válci
v_o	m/s	Rychlost natékajícího plynu
v_t	m/s	Tangenciální rychlost částice
v_1	m/s	Rychlost plynu na vstupu
v_ε	m/s	Rychlost vzduchu ve vláknité vrstvě
V	m^3	Objem místnosti
\dot{V}	m^3/s	Objemový průtok plynu
Z	-	Zbytek
α	-	Parametr intercepce
ρ	kg/m^3	Hustota
ρ_ζ	kg/m^3	Hustota částice
η	%	Účinnost čističky vzduchu
ε	-	Poréznost filtrační vrstvy
δ	m	Tloušťka mezní vrstvy
Λ_{AC}	$1/h$	Celkové množství částic změřené za chodu čističky
Λ_{noAC}	$1/h$	Celkové množství částic změřené při vypnutí čističky
μ	$Pa \cdot s$	Dynamická viskozita plynu
τ_ζ	s	Doba relaxace částice

Úvod

V současné době trávíme nejvíce času uvnitř budov (dům, byt, kancelář), a proto je pro nás kvalita vzduchu vnitřního prostředí důležitá. Má značný vliv na fyzické zdraví a duševní pohodu člověka. Opatření, které vede ke zlepšení vnitřních podmínek, je použití kvalitní čističky vzduchu.

Čističky vzduchu mají svého původce v respirátorech. Znečištěný vzduch nejvíce vadil horníkům pracujícím v dolech, a proto se začali na konci 18. století zabývat, jak vzduch co nejefektivněji vyčistit. Jeden z prvních vynálezců Jan Stenhouse přidal v roce 1854 uhlíkový filtr do dýchací masky. Díky uhlíkovému filtru tyto masky uměly odfiltrovat více nečistot, a tudíž byly účinnější než obyčejné respirátory.

Během druhé světové války byla v Americe vyvinuta technologie HEPA filtru, která měla být určena pro vojáky jako ochrana před radioaktivními částicemi. Po odzkoušení se ale zjistilo, že filtry před radioaktivními částicemi neochrání, zato dokážou zachytit až 99.97 % nečistot o velikosti nad 0,3 μm .

V roce 1963 začali Mansfred a Klaus Hammesovi vyvíjet první čističku vzduchu, která byla určena pro domácnosti, kde měla za úkol odstraňování prachu z krbových kamen z místnosti. Filtrační systém této čističky vzduchu fungoval na principu cirkulace vzduchu a snižoval koncentraci nežádoucích částic.

Čističky vzduchu v současné době dokážou významně přispět k dosažení požadované kvality vnitřního prostředí zejména z hlediska koncentrace tuhých znečišťujících látek. Existuje mnoho typů čističek od nejjednodušších až po složité, které jsou vybavené několika stupni filtrace. Doporučují se například pro zmírnění alergie a astmatu.

Cíle práce

Cílem této diplomové práce je v teoretické části popsat principy odlučování suspendovaných částic a zhodnotit využití přenosných čističek vzduchu pro zlepšení kvality vnitřního prostředí. V praktické části je cílem vyhodnocení účinnosti čističek vzduchu Ionic CARE Triton X6, Daikin MC 707 a Haier KJF600KCAA z hlediska snižování koncentrace tuhých znečišťujících částic v reálném prostředí pomocí optického počítáče částic Grimm 1.109.

1 Teorie částic

1.1 Tuhé částice

Tuhé částice jsou odlučovány v systémech čištění vzduchu z důvodu ochrany zdraví člověka a zařízení. Do skupiny tuhých částic patří prach, popílek, dým, kouř a aerosol. [1]

Prach – částice o velikosti 0,5 μm až 0,75 μm , vznikají při mechanických operacích, erozi hornin a sopečnou činností.

Popílek – částice o velikosti 1 μm až 100 μm , vznikají při spalování pevných paliv.

Dým – částice o velikosti 0,1 μm až 1 μm , vznikají kondenzací a tuhnutím par látek.

Kouř – částice o velikosti 0,01 μm až 0,5 μm , vznikají při spalování organických látek a obsahují převážně uhlík.

Aerosol – jemné částice o velikosti 0,01 μm až 1 μm v ovzduší, tuhé i kapalné.

Na obrázku 1 lze vidět, že tvar tuhých částí je většinou nepravidelný. [3]



Obrázek 1: Částice elektrárenského popílku [3]

1.2 Kapalné částice

Kapalné částice v ovzduší vznikají rozrušením většího objemu tekutin nebo kondenzací plynné fáze. Aerodisperzní směs, která vznikne, je nazývána mlhou, a její částice jsou o velikosti 0,1 μm až 30 μm . Rozrušením vznikají například mlhy olejů a chladících tekutin v obrobkách. Vlastnosti kapalných částic se hodnotí podobně jako tuhých částic. [3]

1.3 Plynné částice

Pokud plyny a páry se vzduchem chemicky nereagují, tvoří směsi. Do ovzduší se dostávají z lidské činnosti i přírodních zdrojů. Mezi nejčastější látky znečišťující ovzduší patří oxidy síry, oxid uhelnatý, oxidy dusíku a metan. [3]

1.4 Tvar a velikost částic

Nejdůležitější vlastností suspendovaných částic je informace o velikosti, zrnitosti, tvaru a hustotě částic. Většina částic má nepravidelný tvar, který je ovlivněn způsobem jejich vzniku. Jedním ze způsobů vzniku je kondenzace, díky níž vznikne částice blížící se ideálnímu tvaru koule. Složitější tvary částic vznikají při mechanických operacích jako je drcení nebo mletí.

V morfologii se rozdělují částice podle typu tvaru. Prvním z nich je izometrický tvar, u kterého se pracuje s ekvivalentními velikostmi částic, tzn. částice, které mají tři rozměry mezi sebou srovnatelné. Další je označován jako lamelární, ten má dva rozměry částice větší než třetí rozměr částice. U posledního typu je jeden rozměr částice větší než zbývající dva rozměry částice, nazývá se fibrilární. [4]

1.4.1 Ekvivalentní velikost částice podle objemu

Určení ekvivalentní velikosti skutečné částice o objemu V se docílí nahrazením částicí kulového tvaru o průměru velikosti a_v , jejíž objem je stejný. [4]

$$a_v = \sqrt{\frac{6 \cdot V}{\pi}} \quad (1.1)$$

1.4.2 Ekvivalentní velikost částice podle průmětu

Určení ekvivalentní velikosti skutečné částice o průmětu A se docílí nahrazením částicí kulového tvaru o průměru velikosti a_A , jejíž průmět je stejný. [4]

$$a_A = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (1.2)$$

1.4.3 Ekvivalentní velikost částice podle povrchu

Určení ekvivalentní velikosti skutečné částice o povrchu S se docílí nahrazením částicí kulového tvaru o průměru velikosti a_S , jejíž povrch je stejný. [4]

$$a_S = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (1.3)$$

1.4.4 Ekvivalentní velikost částice podle pádové rychlosti

Z rovnosti pádových rychlostí skutečné a ekvivalentní kulové částice se stanoví velikost částice. Pádová rychlost u_p [m/s] je rychlost, kterou by hmotná částice padala za ustáleného stavu působením zemského gravitačního pole. [4]

Ekvivalentní velikosti dle pádové rychlosti neboli aerodynamické velikosti částice a_1 se dosáhne zavedením vztažné hustoty částice 1000 kg/m^3 [4]:

$$a_1 = a \cdot \sqrt{\frac{\rho_c - \rho}{1000 - \rho}} \quad (1.4)$$

1.5 Zrnitost částic

Zrnitý materiál se skládá z mnoha částic, které se liší svou velikostí a tvarem. Uskupení obsahující částice odlišných velikostí se nazývá polydisperzní soubor. Pokud se částice nachází v malém intervalu velikostí, jedná se o monodisperzní soubor. Základní charakteristika každého souboru částic obsahuje informaci o rozdělení velikosti částic (zrnitosti). [1]

V závislosti na použité metodě je možné rozdělit velikosti částic [1]:

- de počtu částic N
- dle průmětu částic A
- dle hmotnosti částic M

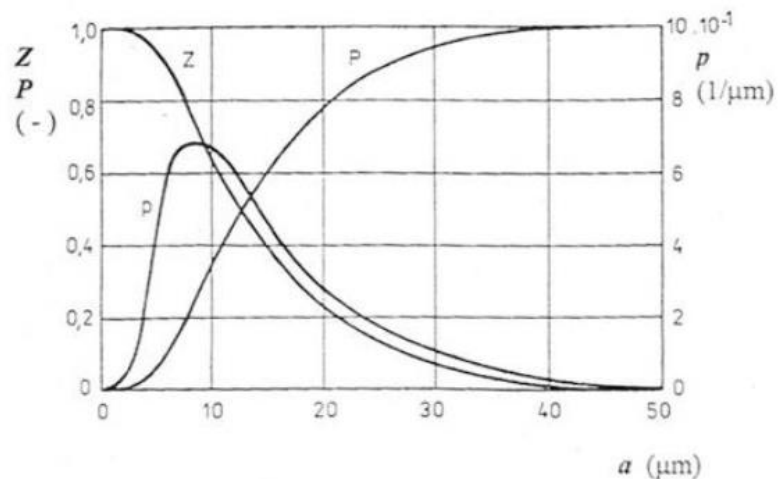
K určení zrnitosti materiálu se provede rozbor, který poskytne údaje o počtu N_i , průmětu A_i , nebo hmotnosti M_i jednotlivých velikostí částic α_i ($i= 1, 2, 3, \dots, n$) v souboru částic. Celkový počet, průmět a hmotnost je [1]:

$$N = \sum_{i=1}^n N_i \quad (1.5)$$

$$A = \sum_{i=1}^n A_i \quad (1.6)$$

$$M = \sum_{i=1}^n M_i \quad (1.7)$$

Na obrázku 2 lze vidět křivku četnosti p , která určuje závislost měrného poměrného počtu (N), průmětu (A), nebo hmotnosti (M) částic dané velikosti ve vzorku (rozdělení dle počtu, průmětu nebo hmotnosti). Dále je na obrázku 2 křivka zbytků Z a propadů P .



Obrázek 2: Křivka četnosti p , křivka propadů P , křivka zbytků Z [1]

Křivka četnosti vychází ze sloupcového grafu, takže čím více je frakcí, tím více je křivka četnosti hladší a současně s větším počtem frakcí je přesnější i křivka propadů a zbytků. [1]

1.5.1 Zrnitost dle počtu částic

Pozorování jednotlivých velikostí by bylo nákladné, proto se v praxi částice dělí do frakcí, kde počet frakcí je konečné číslo. [1]

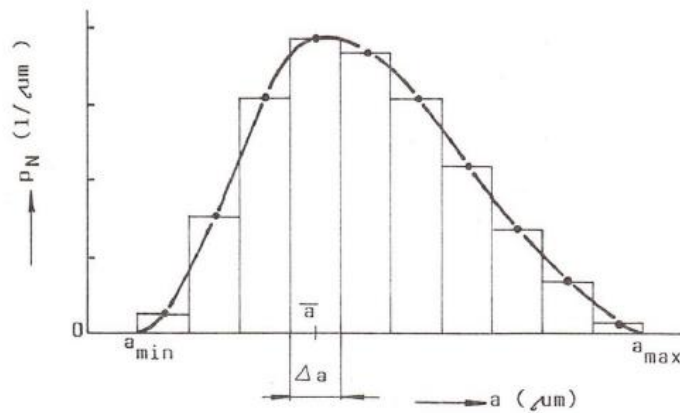
Poměrný počet částic se v j -té frakci stanoví podle vztahu [1]:

$$(\Delta P_N)_j = \frac{(\Delta N)_j}{(N)} \quad (1.8)$$

Četnost částic podle počtu p_N se stanoví ze vztahu [1]:

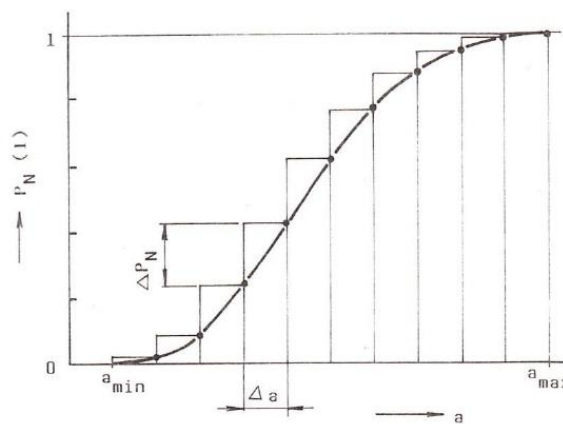
$$p_{N,j} = \frac{(\Delta P_N)_j}{(\Delta a)_j} \quad (1.9)$$

Po určení četnosti částic dle počtu lze vynést křivku četnosti, které je vyobrazená na obrázku 3.



Obrázek 3: Křivka četnosti podle počtu částic [1]

Křivka propadů (P) vzniká načítáním hodnot $(\Delta P_N)_j$, intervalů $(\Delta a)_j$ a udává závislost propadu P na velikosti částice. Propad vyjadřuje poměrný počet částic menších než daná velikost. [1]

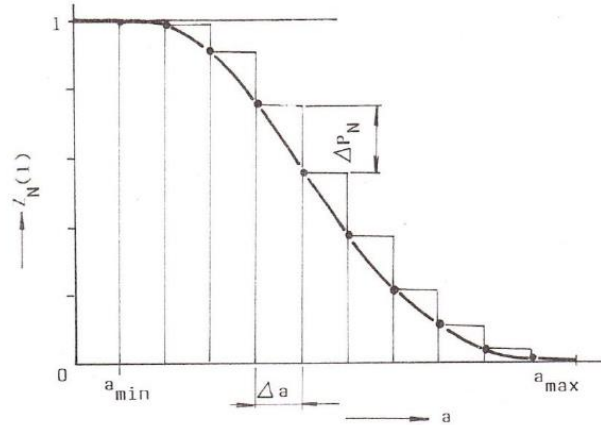


Obrázek 4: Křivka propadů [1]

$$P_j = \sum_{j=1}^j (\Delta P)_j \quad (1.10)$$

$$a_j = a_{min} + \sum_{j=1}^j (\Delta a)_j \quad (1.11)$$

Křivka zbytků (Z) vzniká načítáním hodnot $(\Delta P_N)_j$, intervalů $(\Delta a)_j$ a udává závislost zbytku Z na velikosti částice. Zbytek vyjadřuje poměrný počet částic větších než daná velikost. [1]

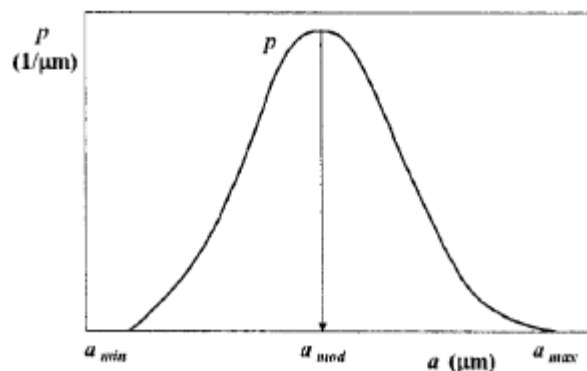


Obrázek 5: Křivka zbytků [1]

$$Z_j = \sum_{j=1}^j (\Delta P)_j \quad (1.12)$$

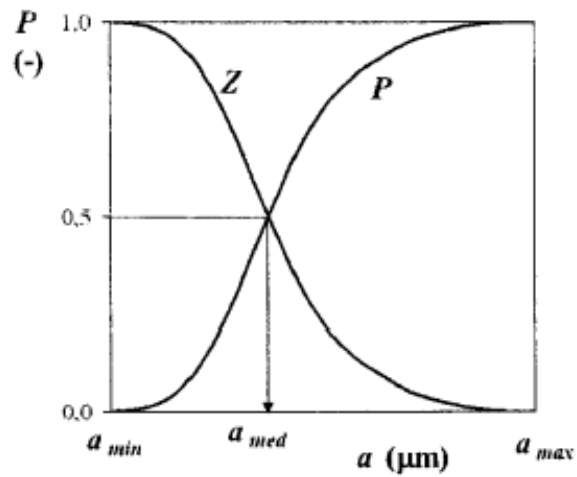
$$a_j = a_{max} - \sum_{j=1}^j (\Delta a)_j \quad (1.13)$$

Modus souboru částic a_{mod} (obrázek 6) je velikost částice s největší pravděpodobností výskytu (největší četností). Inflexní bod na křivce propadů a zbytků odpovídá maximální četnosti. [1]



Obrázek 6: Stanovení modu [1]

Medián souboru částic a_{med} (obrázek 7) je velikost částice, která rozděluje plochu pod frekvenční křivkou na poloviny. Medián lze určit z křivky propadů nebo zbytků, kde k hodnotě $P = 0,5$ a $Z = 0,5$ představuje velikost částice. [1]



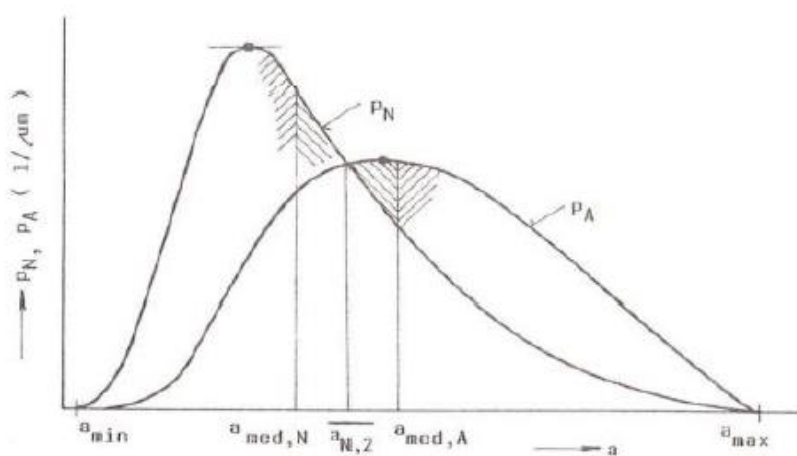
Obrázek 7: Stanovení mediánu [1]

1.5.2 Zrnitost dle průmětu

Na obrázku 8 je křivka četnosti dle počtu a dle průmětu. Z průsečíků těchto křivek lze odečíst střední kvadratickou velikost částice $\overline{a_{N,2}}$, která je charakteristickou velikostí pro soubory se stejným celkovým průmětem částic A a stejným počtem částic N . [1]

Velikost střední kvadratické velikosti částice je definována jako [1]:

$$\overline{a_{N,2}} = \left[\int_{a_{min}}^{a_{max}} a^2 p_N(a) da \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.14)$$



Obrázek 8: Křivka četnosti podle počtu p_N a průmětu p_A [1]

Přepočítání mezi rozdělením dle počtu a dle průmětu je možné s pomocí velikosti $\overline{a_{N,2}}$, na základě vztahu [1]:

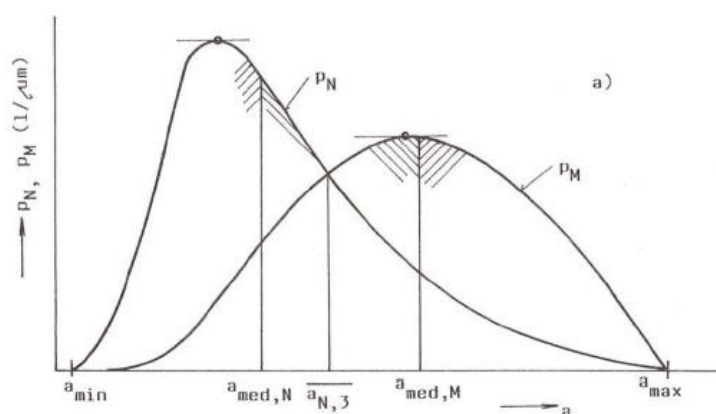
$$p_A(a) = p_N(a) \cdot \frac{a^2}{\overline{a_{N,2}}^2} \quad (1.15)$$

1.5.3 Zrnitost dle hmotnosti

Na obrázku 9 je křivka četnosti dle počtu a dle hmotnosti. Z průsečíků těchto křivek lze odečíst střední kubickou velikost částice $\overline{a_{N,3}}$, která je charakteristickou velikostí pro soubory se stejným celkovým objemem částic V a stejným počtem částic N . [1]

Velikost střední kubické velikosti částice je definována jako [1]:

$$\overline{a_{N,3}} = \left[\int_{a_{\min}}^{a_{\max}} a^3 p_N(a) da \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1.16)$$



Obrázek 9: Křivka četnosti podle počtu P_N a hmotnosti P_M [1]

Přepočítání mezi rozdělením dle počtu a dle hmotnosti je možné s pomocí velikosti $\overline{a_{N,3}}$, na základě vztahu [1]:

$$p_M(a) = p_N(a) \cdot \frac{a^3}{\overline{a_{N,3}}^3} \quad (1.17)$$

1.6 Frakce PM_x

Frakce částic PM_x je označení pro částice s aerodynamickou velikostí menší než x mikrometrů. Zdroj těchto částic může být přírodní nebo vznikají působením lidských činností. Na obrázku 10 lze vidět porovnání velikostí částic s částicemi frakcí PM_{2,5} a PM₁₀. [6]

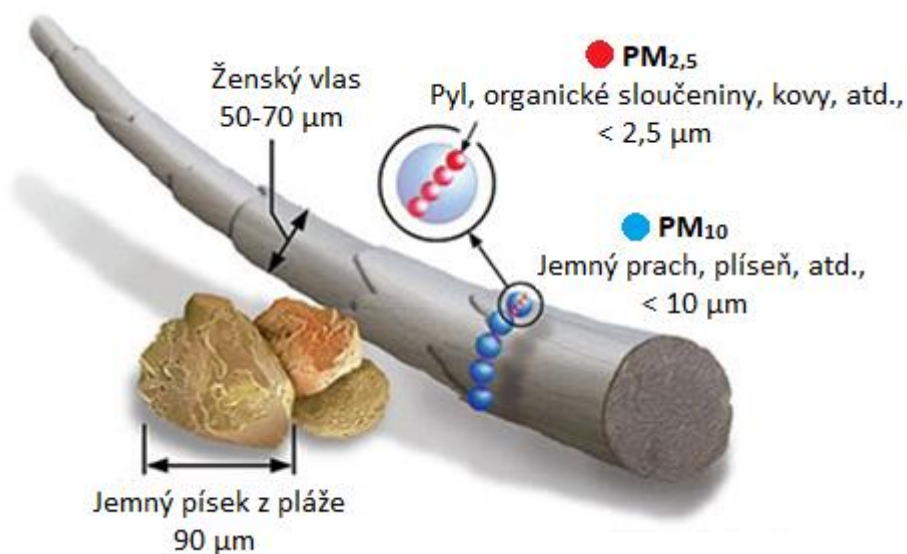
Definice frakcí [6]:

PM₁ – aerodynamická velikost částice menší než 1 μm (prach, bakterie, viry, zplodiny)

PM_{2,5} – aerodynamická velikost částice menší než 2,5 μm (pyl, organické částice)

PM₁₀ – aerodynamická velikost částice menší než 10 μm (jemný prach)

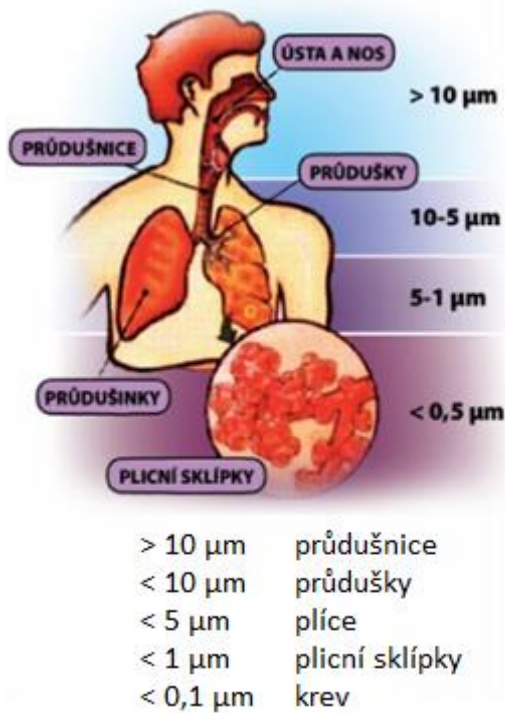
Hrubé – aerodynamická velikost částice větší než 10 μm (písek, vlas, hrubý prach)



Obrázek 10: Grafické znázornění velikosti částic PM_{2,5} a PM₁₀ [7]

1.7 Zdravotní účinky

Lidé nacházející se často v prašném prostředí jako je například sanace azbestu, důlní průmysl, svařovny, slévárny, mají vystaveny plíce vysokým koncentracím prachu a kouře. Pokud nejsou pracoviště vybavena účinnými čistícími systémy nebo pracovníci nepoužívají ochranu dýchacích cest (respirátor), může dojít k zanesení plic. [5]



Obrázek 11: Průnik jednotlivých velikostních frakcí prachu do dýchacích cest [5]

Na obrázku 11 je znázorněno pronikání částic do lidského organismu, které je zásadně ovlivněno velikostí částice. Částice o velikosti větší než 10 µm se zachytí již v horních cestách dýchacích. Pod hrtan se dostávají částice frakce PM₁₀, kde jsou zachyceny. Menší částice frakce PM_{2,5} pronikají do plicních sklípků a nejmenší částice frakce PM₁ se dostanou až do cévního řečiště. Pokud lidský organismus rozpozná větší množství suspendovaných částic v plicích, začne reagovat zvýšenou tvorbou hlenu a tím zahájí samočisticí schopnost, což ale nemusí zaručit účinné vyčištění plic. [8]

Poléťavý prach může způsobit kardiovaskulární onemocnění, snížit délku života a zvýšit riziko chorob dýchacích cest. [8]

2 Odlučování tuhých částic

Odlučovací zařízení se používá, pokud jsou ostatní technologické možnosti, jako je úprava vlastní technologie nebo likvidace přímo u zdroje, vyčerpány. Podstatou odlučovacího principu tuhých částic je odloučení jednotlivých částic z proudu plynu na odlučovací plochy. Může to být například vestavba nebo stěna odlučovače. [10]

Odlučovací děj vychází z působících fyzikálních dějů na částici [1]:

- tíhová a odstředivá síla
- elektrostatické síly
- filtrační děj
- smáčení tuhých částic a jejich odloučení

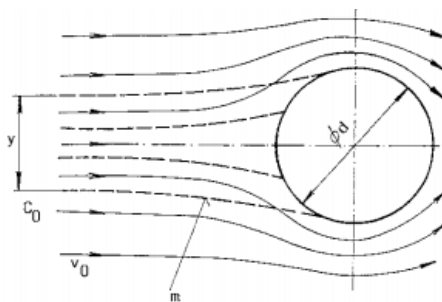
2.1 Základní odlučovací principy

2.1.1 Setrvačný princip

Setrvačný princip se využívá, pokud v blízkosti plochy dochází k zakřivení rychlostního pole a vlivem setrvačnosti částice se trajektorie odchyluje od proudnice. [10]

Na případu obtékání válce, které je možno vidět na obrázku 12, lze popsat setrvačný princip odlučování. Z proudu plynu před válcem mezní trajektorie m určuje oblast částic, které se odloučí na válci. Frakční odlučivost u tohoto principu je závislá na Stokesově čísle. [10]

$$Stk = \left(\frac{\tau_c \cdot v_0}{d} \right) \quad (2.1)$$



Obrázek 12: Setrvačný princip při obtékání válce [10]

2.1.2 Odstředivý princip

K odstředivému principu odlučování dochází při rotaci plynu v kuželových a válcových komorách. Využívá se odstředivé síly, která působí na částici. Na obrázku 13 je zobrazena oblast blízko válcové stěny o průměru d , kde má rotující vzduch pouze obvodovou složku rychlosti v_t . Částice je zde unášena rotujícím vzduchem a její obvodová složka je $u_t = v_t$ a v radiálním směru se částice pohybuje ustálenou rychlostí u_r . [10]

Pro frakční odlučivost platí [4]:

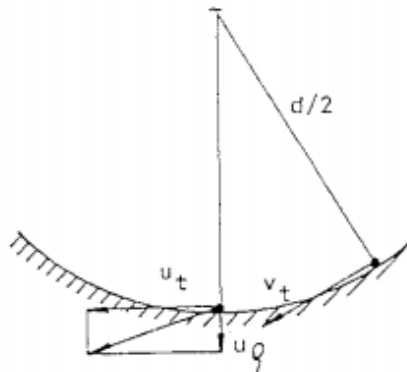
$$O_f = f\left(\frac{S}{A}, \frac{v_t^2}{v_d^2}, Stk\right) \quad (2.2)$$

S – povrch komory [m^2]

A – průřez odlučovací komory [m^2]

v_d – střední rychlost proudění ve válcové komoře [m/s]

v_t – obvodová složka rychlosti v blízkosti stěny [m/s]



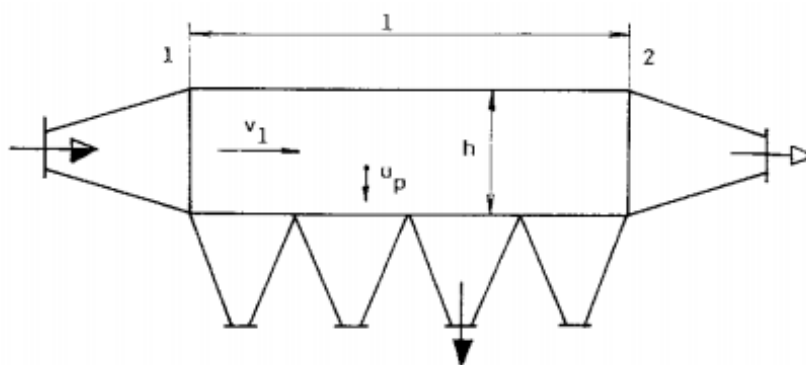
Obrázek 13: Odstředivý princip [10]

2.1.3 Gravitační princip

Gravitační princip vychází z působení gravitační síly na pohyb částice. Pádová rychlost částice u_p je základní složkou rychlosti částice při odlučování. Na obrázku 14 je usazovací komora, která je nejpoužívanějším typem gravitačních odlučovačů. [10]

Pro frakční odlučivost platí [4]:

$$O_f = f(u_p/v_1) \quad (2.3)$$



Obrázek 14: Gravitační princip – usazovací komora [10]

2.1.4 Difuzní princip

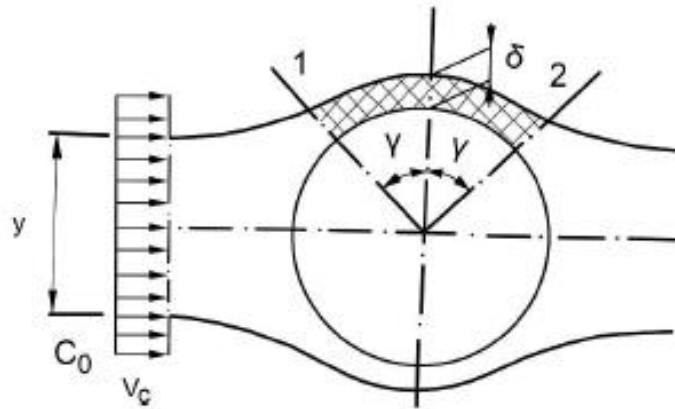
Na obrázku 15 je možno vidět vlákno s difuzní mezní vrstvou. Difuzní princip se využívá, pokud částice mají při obtékání těles malou rychlost a uplatňuje se zejména u částic s velikostí menší než $1 \mu\text{m}$. Částice podléhají molekulárnímu tepelnému pohybu (Brownův pohyb). Vnější setrvačné síly zde působí minimálně, a tudíž pohyb částic je neuspořádaný. Difuzní odlučovací princip se často uplatňuje ve filtraci, kde se odlučují částice na povrchu filtračních vláken. [10]

Pro frakční odlučivost platí [3]:

$$O_f = f(Pe, Re_d, \varepsilon) \quad (2.4)$$

$$Pe = \frac{v_\varepsilon \cdot d_{N,1}}{D_B} \quad (2.5)$$

$$Re_d = \frac{v_\varepsilon \cdot d_{N,1} \cdot \rho}{\eta} \quad (2.6)$$



Obrázek 15: Obtékání vlákna plynem s vyznačenou tloušťkou mezní vrstvy [1]

Tloušťka mezní vrstvy, ze které se částice dané velikosti odloučí, je na obrázku 15 označena symbolem δ . Stanovení mezní vrstvy je ovlivněno součinitelem Brownovské difúze a dobou zdržení plynu v okolí vlákna při jeho obtékání.

$$\delta = \sqrt{\frac{4 \cdot D_B \cdot t}{\pi}} \quad (2.7)$$

2.1.5 Intercepční princip

Intercepční princip je přímé zachycení částic. Tento princip se využívá ve filtraci při průchodu plynu zrnitou nebo vláknitou vrstvou. Zjednodušené schéma intercepčního principu lze vidět na obrázku 16. Částice o určité velikosti s předpokladem zanedbatelné setrvačnosti se pohybuje po proudnici kolem válce, kde se odloučí. [10]

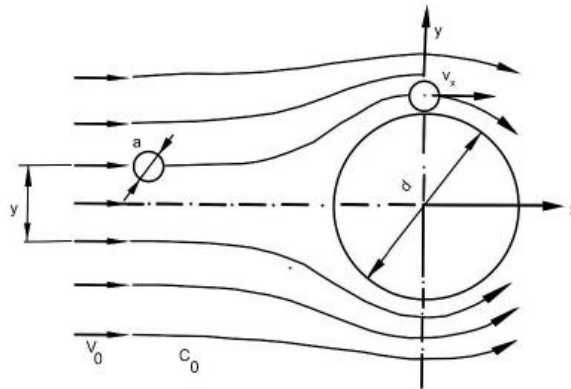
Pro frakční odlučivost platí [4]:

$$O_f = f(\alpha, Re_d, \varepsilon) \quad (2.8)$$

α – parametr intercepce [m]

Re_d – Reynoldsovo číslo proudu [-]

ε – poréznost filtrační vrstvy [-]



Obrázek 16: Intercepční princip – obtékání válce [11]

2.1.6 Elektrický princip

Elektrický princip odlučování je založen na působení elektrické síly (Coulombova síla) na nabitě částice, která způsobuje pohyb částic směrem k odlučovací ploše. Elektrické odlučovače se často využívají pro odlučování částic při větších objemových průtocích, a to zejména v energetice. [10]

Pro frakční odlučivost platí [4]:

$$O_f = f\left(u_k, \frac{S_e}{V}\right) \quad (2.9)$$

u_k – konečná odlučovací rychlost u usazovací elektrody [m/s]

S_e – plocha usazovacích elektrod [m²]

V – objemový průtok plynu [m³/s]

2.2 Typy odlučovačů

2.2.1 Suché mechanické odlučovače

Mechanické odlučovače využívají hmotnostní síly, které působí na tuhou částici. Princip funguje na základě rozdílné měrné hmotnosti plynu a částice. Hlavní výhodou je, že jsou nenáročné na obsluhu, údržbu a jsou levné. Mezi mechanické odlučovače patří například cyklony, usazovací komory nebo setrvačné odlučovače. [1]

2.2.2 Mokrý mechanické odlučovače

Mokrý odlučovače pracují na principu smočení částice vodou, a to tak, že dojde k nárazu na hladinu nebo k nástřiku vody. Tyto odlučovače lze využívat i pro absorpci plynných látek z odpadních plynů. Výhodou je vyšší účinnost a možnost využití pro lepkavé prachy. Mezi nevýhodu patří vyšší spotřeba vody a potřeba kalového hospodářství. Do kategorie mokrých odlučovačů například patří hladinový, vírový, pěnový nebo proudový odlučovač. [9]

2.2.3 Elektrostatické odlučovače

Využívají rozdílných dielektrických vlastností plynu a odlučovaných částic. Částice jsou v elektrostatickém poli nabíjeny a přitahovány k usazovací elektrodě opačné polarity. Spolu s průmyslovými filtry jsou to pro většinu technologií jediné odlučovače, které dnes vyhoví emisním limitům. Elektrostatické odlučovače jsou schopny účinně odlučovat i submikronové částice. [1]

2.2.4 Filtry

K odlučování částic dochází ve filtrační vrstvě, kde se kombinuje setrvačný, difuzní a intercepční princip. Filtrace se dělí na průmyslovou a vzduchotechnickou filtraci. Vzduchotechnická filtrace je určena pro prostředí představované vzduchem při standardních podmínkách. Odlučování částic probíhá až ve vláknité vrstvě (hloubková filtrace). U průmyslové filtrace, kde teplota plynů může dosáhnout teploty až několika set °C, po počátečním zanesení struktury vrstvy dochází k povrchové filtraci a tvorbě filtračního koláče. [2]

Filtrační materiály

Filtrační materiály se dělí do několika základních skupin. [31]

- **Vláknité filtrační materiály**
 - Rohože – spojená silnější syntetická nebo skleněná vlákna.
 - Rouna – jemnější minerální vlákna, syntetická nebo organická vlákna na nosném podkladovém materiálu na čisté straně.
 - Vpichované textilie – syntetická vlákna spojená vpichovací technologií.
 - Filtrační papíry – jemná skleněná nebo organická vlákna, filtry jsou vyráběny papírenskou technologií.
- **Porézní filtrační materiály**
- **Materiály ve formě omyvatelných a kovových nebo plastových náplní**

3 Filtrace

K vytvoření vyhovujících podmínek ve vnitřním prostředí je potřebná filtrace atmosférického vzduchu. V čističkách vzduchu se filtry často používají jako jeden ze stupňů čištění.

3.1 Zkoušení a třídění filtrů pro všeobecné větrání dle ČSN EN ISO 16890

V roce 2018 byla ukončena platnost normy ČSN EN 779:2012, která dělila filtry do tří skupin (F – jemné filtry, M – střední filtry, G – hrubé filtry). V nové normě ČSN EN ISO 16890 byly zavedeny nové indikátory zkoušení a třídění filtrů, frakce částic PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_1 . V normě ISO 16890 je frakce PM_x zjednodušeně definována jako soubor částic atmosférického prachu, který projde selektivním třídičem s mezí odlučivosti $a_{1,m} = x$ mikrometrů s třídicí účinností 50 %. Jednotlivé třídy filtrů jsou definovány podle dosažené odlučivosti pro uvedené frakce atmosférického prachu. [16]

Norma ČSN EN ISO 16890 pracuje s účinností ePM_x , která vyjadřuje hmotnostní účinnost odlučování filtru, určenou pro částice atmosférického prachu v rozsahu velikostí částic 0,3 až $x \mu\text{m}$ (tabulka 1). [16]

Tabulka 1: Rozsah velikostí částic při stanovení účinnosti odlučování [16]

Účinnost odlučování	Rozsah opticky stanovených velikostí částic [μm]
ePM_{10}	$0,3 \leq x \leq 10$
$ePM_{2,5}$	$0,3 \leq x \leq 2,5$
ePM_1	$0,3 \leq x \leq 1$

Metoda a postup měření

Odlučovací schopnosti filtru se při zkoušce měří v rozsahu opticky stanovených velikostí částic 0,3 μm až 10 μm . Nejdříve ve dvanácti velikostních intervalech u čistého a elektricky neupraveného filtru se získají hodnoty E_i . Po neutralizaci náboje filtračního materiálu se následně zjistí odlučovací schopnost elektricky neutrálního filtru ve dvanácti velikostních intervalech v rozsahu velikostí částic 0,3 až 10 μm - hodnoty $E_{D,i}$. [16]

Počáteční hodnota odlučivosti filtru na syntetický prach, jímavost filtru a závislost změny tlakové ztráty filtru se stanoví zatěžováním filtru jemným syntetickým prachem L2 dle ISO 15957 a postupem uvedeným v normě ČSN EN ISO 16890-3. Chování filtru v reálných podmínkách určují střední hodnoty, které se stanoví jako střední aritmetické hodnoty $E_{A,i}$ ze zjištěných hodnot E_i a $E_{D,i}$. [16]

Filtry, které se nejčastěji používají k odlučování tuhých částic frakce PM_1 a $PM_{2,5}$ se rozdělují podle složení prachu ve městech a filtry používané k odlučování tuhých částic frakce PM_{10} se rozdělují podle složení aerosolu na venkově, proto vypočítané hodnoty ePM_1 a $ePM_{2,5}$ vycházejí z distribuční křivky pro městský aerosol a hodnota ePM_{10} pro venkovní aerosol. K výpočtu hodnot ePM_x se používají zjištěné odlučivosti $E_{A,i}$, ale při zpracování výsledků měření se ještě výpočet doplňuje stanovením minimálních hodnot $ePM_{1,\text{min}}$ a $ePM_{2,5,\text{min}}$, které se určí podle minimálních odlučivostí $E_{D,i}$ u jednotlivých velikostních frakcí. [16]

Filtry jsou zatříděny do jednotlivých tříd (tabulka 2) podle splnění požadavků pro $ePM_{1,min}$ a $ePM_{2,5,min}$ a pro ePM_{10} .

Tabulka 2: Třídy filtrů dle ISO 16890 [16]

Třída filtrů	Požadavek na třídu filtrů			Uváděná hodnota u filtrů
	$ePM_{1,min}$	$ePM_{2,5,min}$	ePM_{10}	
ISO hrubý	-	-	< 50 %	Počáteční hodnota odlučivosti na syntetický prach
ISO ePM_{10}	-	-	> 50 %	ePM_{10}
ISO $ePM_{2,5}$	-	> 50 %	-	$ePM_{2,5}$
ISO ePM_1	> 50 %	-	-	ePM_1

Kromě tohoto zatřídění se u každého filtru uvádí zjištěná hodnota ePM_x . V jednotlivých skupinách se hodnota ePM_x zaokrouhuje dolů a dělí se po 5 %. Výjimku tvoří třída filtrů ISO hrubý, kde se jako výsledek zkoušení uvádí počáteční hodnota odlučivosti na syntetický prach. V tabulce 3 jsou uvedeny jednotlivé třídy filtrů ve čtyřech skupinách. [16]

Tabulka 3: Klasifikační tabulka filtrů dle ISO 16890 [42]

ePM_1 klasifikace	$ePM_{2,5}$ klasifikace	ePM_{10} klasifikace	ISO hrubý
ePM_1 (95)	$ePM_{2,5}$ (95)	ePM_{10} (95)	Odlučivost na prach po 5 %
ePM_1 (90)	$ePM_{2,5}$ (90)	ePM_{10} (90)	
ePM_1 (85)	$ePM_{2,5}$ (85)	ePM_{10} (85)	
ePM_1 (80)	$ePM_{2,5}$ (80)	ePM_{10} (80)	
ePM_1 (75)	$ePM_{2,5}$ (75)	ePM_{10} (75)	
ePM_1 (70)	$ePM_{2,5}$ (70)	ePM_{10} (70)	
ePM_1 (65)	$ePM_{2,5}$ (65)	ePM_{10} (65)	
ePM_1 (60)	$ePM_{2,5}$ (60)	ePM_{10} (60)	
ePM_1 (55)	$ePM_{2,5}$ (55)	ePM_{10} (55)	
ePM_1 (50)	$ePM_{2,5}$ (50)	ePM_{10} (50)	
Požadavky: >50 % počát. odluč. >50 % odluč. po vybití	Požadavky: >50 % počát. odluč. >50 % odluč. po vybití	Požadavky: >50 % počát. odluč. >50 % odluč. po vybití	Žádné požadavky na vybití náboje

3.2 Třídění vysoce účinných filtrů

Při třídění vysoce účinných filtrů je velká náročnost na přístrojové a experimentální vybavení. Částice, které nejvíce pronikají filtračním materiálem i vlastním filtrem jsou označovány MPPS (Most Penetrating Particle Size). Zkoušení a třídění filtrů je založeno na zjišťování odlučivosti pro částice MPPS. [12]

V původní normě ČSN EN 1822, ze které vychází postup zkoušení a zatřídění, byly v roce 2019 v rámci harmonizace norem v Evropě a ve světě nahrazeny částí 2 až 5 normou ISO 29463. Po dohodě mezi CEN a ISO vznikl stav, kde po revizi norma EN 1822-1:2019 zachovává svůj původní třídící systém, ale vlastní zkoušky filtrů se provádějí podle ISO 29463, části 2 až 5 z roku 2017. [12]

Postup zkoušení a zatřídění:

1) Zkoušení plochého filtračního materiálu – Stanovení velikosti nejvíce pronikající částice (MPPS). [12]

2) Zkouška netěsnosti filtru – Při jmenovitém průtoku vzduchu se zkoušejí filtry třídy H a U. Pro filtry třídy H se vybere jedna ze tří zkušebních metod popsanych v ISO 29463 a filtry třídy U se zkouší pouze pomocí MPPS skenovací metody. [12]

3) Zkouška účinnosti filtru – Stanoví se střední hodnota odlučivosti s použitím aerosolu MPPS při jmenovitém průtoku vzduchu. Zkoušení filtrů třídy E probíhá na základě statistického přístupu. U filtrů třídy H a U probíhá individuální zkoušení. [12]

V roce 2011 ISO publikovala normu ISO 29463 – Vysoce účinné filtry a filtrační materiály pro odlučování částic ze vzduchu. ISO 29463 z roku 2011 a později i novela z roku 2017 se skládá z 5 částí. Zachovává základní třídy filtrů EPA, HEPA a ULPA, ale nahrazuje třídy filtrů podle tabulky 4. [12]

Tabulka 4: Jednotlivé třídy filtrů dle EN 1822-1: 2009 a ISO 29463-1: 2017 [12]

Norma	EN 1822-1: 2009	ISO 29463-1: 2017
Třídy filtrů	E10 – E12	ISO 15 E – ISO 30 E
	H13 a H14	ISO 35 H – ISO 45 H
	U15 – U17	ISO 50 U – ISO 75 U

Kromě jiného třídění filtrů jsou mezi oběma normami rozdíly i v metodách zkoušky propustnosti filtrů (leakage test). V normě ISO 29463-1: 2017 existuje celkem pět metod, kdežto v normě EN 1822-1: 2009 se uvádějí pouze tři metody. [12]

Jak již bylo uvedeno, při revizi EN 1822 v roce 2019 došlo ke vzniku stavu, kde revidovaná EN norma z roku 2019 zachovává podle základní Části 1 (EN 1822-1:2019) svůj původní třídící systém, ale vlastní zkoušky filtrů se provádějí podle ISO standardu 29463, části 2 – 5. [12]

V tabulce 5 jsou uvedeny oba třídící systémy s hraničními minimálními hodnotami pro celkovou hodnotu odlučivosti a minimální odlučivosti u zkoušky místní netěsnosti. [12]

V Evropě se třídění filtrů řídí podle EN 1822-1 z roku 2019, respektive v České republice podle ČSN EN 1822-1 a nadále platí původní zatřídění filtrů do tříd E10 – E12, H13 – H14 a U15 – U17. Pro Evropskou unii je možné po dohodě s uživatelem použít zatřídění podle ISO 29463-1 z roku 2017. [12]

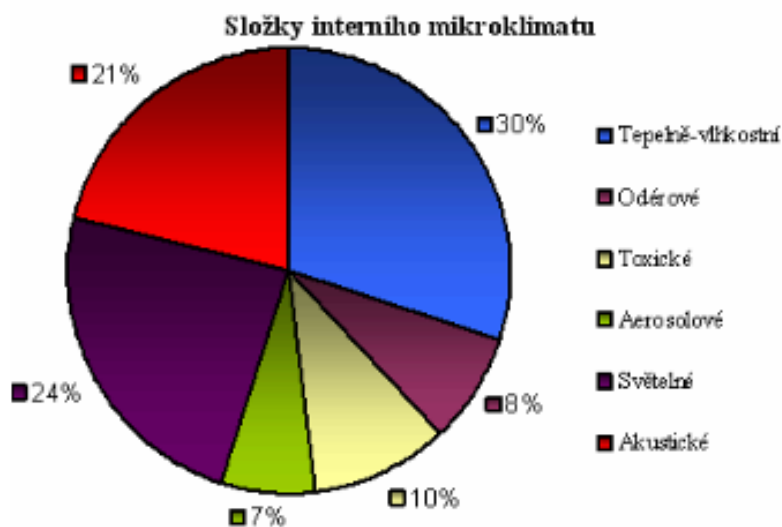
Tabulka 5: Třídění vysoce účinných filtrů dle EN 1822 a ISO 29463 [12]

Třída filtru podle EN 1822-1 z roku 2019	Třída filtru podle ISO 29463-1 z roku 2017	Celková hodnota		Přípustná místní netěsnost	
		Odlučivost [%]	Průnik [%]	Odlučivost [%]	Průnik [%]
E10		≥ 85	≤ 15	-	-
E11	ISO 15 E	≥ 95	≤ 5	-	-
	ISO 20 E	≥ 99	≤ 1	-	-
E12	ISO 25 E	≥ 99,5	≤ 0,5	-	-
	ISO 30 E	≥ 99,9	≤ 0,01	-	-
H13	ISO 35 H	≥ 99,95	≤ 0,05	≥ 99,75	≤ 0,25
	ISO 40 H	≥ 99,99	≤ 0,01	≥ 99,95	≤ 0,05
H14	ISO 45 H	≥ 99,995	≤ 0,005	≥ 99,975	≤ 0,025
	ISO 50 U	≥ 99,999	≤ 0,001	≥ 99,995	≤ 0,005
U15	ISO 55 U	≥ 99,9995	≤ 0,0005	≥ 99,9975	≤ 0,0025
	ISO 60 U	≥ 99,9999	≤ 0,0001	≥ 99,9995	≤ 0,0005
U16	ISO 65 U	≥ 99,99995	≤ 0,00005	≥ 99,99975	≤ 0,00025
	ISO 70 U	≥ 99,99999	≤ 0,00001	≥ 99,9999	≤ 0,0001
U17	ISO 75 U	≥ 99,999995	≤ 0,000005	≥ 99,9999	≤ 0,0001

4 Stav prostředí

4.1 Vnitřní prostředí

Ve vnitřním prostředí lidé tráví až 90 % svého času, a z toho důvodu kvalita vnitřního ovzduší ovlivňuje fyzické zdraví a duševní pohodu. Vyskytuje se mnoho faktorů, které mohou představovat zdravotní rizika. Nejčastěji je to způsobeno pronikáním škodlivin z venkovního prostředí v kombinaci s vnitřními zdroji. Hlavní význam mají faktory prostředí jako je vlhkost, teplota nebo nevyhovující úroveň větrání (mikroklimatické faktory). Kvalita vnitřního vzduchu je tvořena tepelně vlhkostním, odérovým, aerosolovým, toxickým a mikrobiálním mikroklimatem. Průměrné podíly dílčích složek jsou patrné z obrázku 17. [13]



Obrázek 17: Průměrné podíly složek na stavu interního mikroklimatu [29]

4.1.1 Tepelně vlhkostní mikroklima

Je to složka tvořená tepelnými a vlhkostními toky, které vytvářejí celkový stav mikroklimatu. Pro zajištění vnitřního prostředí budov je tepelné vlhkostní klima nejdůležitější složkou, hlavně z hlediska lidského zdraví nebo životnosti stavebních materiálů. Vlhkost a teplota vnitřního vzduchu se navzájem ovlivňují, tudíž mají vliv na konečný stav vnitřního prostředí. [29]

4.1.2 Odérové mikroklima

Odérové mikroklima je tvořeno odéry, které jsou vnímané jako vůně nebo zápachy. Odéry do interiéru vstupují z venku i zevnitř (stavební materiály, vzduchotechnické zařízení, činnosti člověka). Z hlediska zdraví samotný zápach nebo vůně nejsou tolik škodlivé, ale i přes to je důležité dbát na kvalitu mikroklimatu. Kvalitu odérového mikroklimatu lze ovlivnit pouze dostatečným přívodem čerstvého vzduchu. Tato hodnota je na základě hygienických požadavků stanovena jako na 25 m³/hod na osobu. [30]

4.1.3 Toxické mikroklima

Je složka prostředí tvořená toxickými látkami (oxidy síry, oxid uhelnatý, oxidy dusíku, smog, formaldehyd, ozon, aj.). Například ve špatně větraných kuchyních vzniká při používání plynových sporáků oxid dusíku, který má karcinogenní účinky. Ale zdravotně nejzávažnějším plynem, který se nejčastěji vyskytuje ve vnitřním prostředí je oxid uhelnatý. [30]

4.1.4 Aerosolové mikroklima

Aerosolové mikroklima je tvořeno aerosolovými látkami v ovzduší. Aerosoly jsou pevné nebo kapalně částice rozptýlené do ovzduší (prach, mlha). Zdrojem aerosolů může být například vytápění nebo chov domácích zvířat. [30]

4.1.5 Mikrobiální mikroklima

Mikrobiální mikroklima obsahuje mikroby nacházející se v ovzduší (bakterie, viry, plísňe). Podle koncentrace mikrobů se hodnotí kvalita mikrobiálního klimatu. Pro obytná prostředí je nejvyšší přípustná koncentrace 200 až 500 mikrobů/m³. Mikroorganismy se do vnitřního prostředí dostávají většinou transportem z venkovního prostředí. [30]

4.2 Hygienické hodnocení škodlivin

Limitní koncentrace škodlivin v České republice ve vnitřním ovzduší jsou určeny nařízením vlády č. 93/2012 Sb. Toto nařízení zahrnuje rozdělení škodlivin (plynů, par, prachu). Nejvyšší přípustné hodnoty jsou definovány přípustným expozičním limitem (PEL) a nejvyšší přípustnou koncentrací (NPK). [14]

4.2.1 PEL a NPK

Přípustný expoziční limit (PEL) je celosměnový časově vážený průměr koncentrace aerosolů, par a plynů ve vnitřním prostředí. Tomuto průměru mohou být zaměstnanci vystaveni při osmihodinové směně, aniž by došlo poškození zdraví. [14]

Nejvyšší přístupná koncentrace (NPK) látky ve vnitřním prostředí, je koncentrace chemické látky, které nesmí být v žádném časovém úseku zaměstnanec vystaven. [14]

4.2.2 Platné předpisy v oblasti kvality vnitřního prostředí

Zákony [15], [17], [18]:

č. 183/2006 Sb., stavební zákon

č. 372/2011 Sb., zákon o zdravotních službách

č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví v platném znění

č. 262/2006 Sb., zákoník práce

č. 309/2007 Sb., kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnostech nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy

Prováděcí předpisy [15], [17], [18]:

nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

nařízení vlády č. 93/2012 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb.

nařízení vlády č. 291/2015 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením

vyhláška č. 268/2009 Sb., o obecných technických požadavcích na stavby

vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých

vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb

vyhláška č. 137/2004 Sb., o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných

vyhláška č. 238/2011 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích

vyhláška č. 84/2008 Sb., kterou se stanoví správná lékárenská praxe, bližších podmínkách zacházení s léčivými v lékárnách, zdravotnických zařízeních a u dalších provozovatelů a zařízení vydávajících léčivé přípravky

5 Čističky vzduchu

Čistička vzduchu je zařízení, které ze vzduchu v místnosti odstraňuje nečistoty s cílem zlepšit kvalitu vzduchu. Mezi tyto nečistoty spadají pyly, aerosoly, bakterie, plísňe nebo tabákový kouř. Komerční čističky lze vyrábět buď jako přenosné zařízení nebo se montují přímo ke vzduchotechnickým jednotkám.

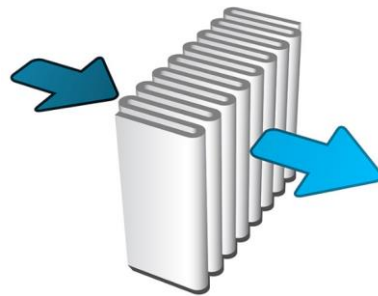
5.1 Typy čističek

Existuje řada typů a provedení čističek vzduchu. Často bývají vybaveny i několika filtry a obecně platí, že čím více filtrů, tím větší účinnost. Je ale důležité rozlišovat jejich princip, který může být u jednotlivých druhů a výrobců čističek odlišný.

5.1.1 Čističky vzduchu s HEPA filtrem

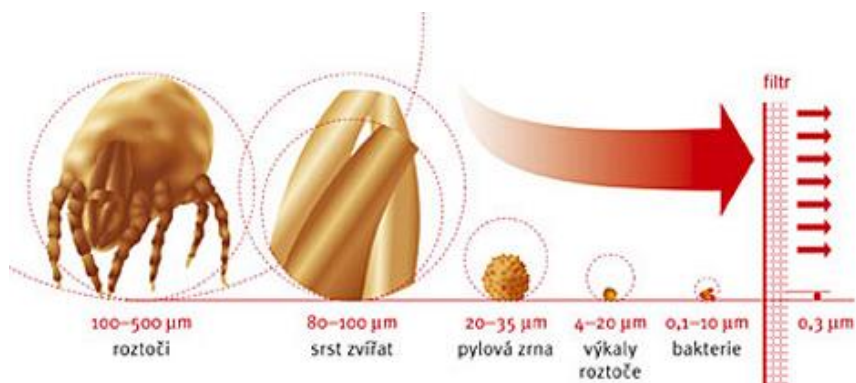
Čističky vzduchu s HEPA filtrem (High Efficiency Particulate Air Filter) patří do skupiny mechanických filtrů. Jejich účinnost z hlediska zachytu částic může dosahovat až 99,97 %. HEPA filtry jsou nejvíce vhodné k zachycování nejjemnějších částic a dokážou tak filtrovaný vzduch zbavit i plísní, virů, smogu nebo alergenů Tyto čističky vzduchu neregenerují ozon ani žádné jiné škodlivé vedlejší produkty. [20] [21]

Filtry se vyrábějí ze skelného vlákna a většinou bývají skládané v rámečku, který zajišťuje vynikající těsnost okrajů. Na obrázku 18 je detail filtrů skládaných do tvaru harmoniky. Můžou být ovšem uspořádané i do tvaru patron. Hlavním významem těchto tvarů je snížení filtrační rychlosti při průtoku přes větší plochu. Při obvyklém používání je životnost HEPA filtrů stanovena na 6 až 12 měsíců, ale záleží na intenzitě používání. [21]



Obrázek 18: Detail HEPA filtru [22]

Na obrázku 19 je ukázka frakční účinnosti HEPA filtrů z hlediska velikosti zachycených částic. [26]



Obrázek 19: Funkce HEPA filtru [26]

5.1.2 Čističky vzduchu s uhlíkovými filtry

Čističky vzduchu s uhlíkovými filtry obsahující aktivní uhlí pracují v kombinaci s HEPA filtry. Uhlíkové filtry vyobrazené na obrázku 20 jsou určeny k zachycení kuchyňských pachů, cigaretového kouře a jiných zápachů, které nelze zachytit mechanickou filtrací. [20]



Obrázek 20: Uhlíkové filtry [20]

Uhlíkové filtry se skládají z porézních hmot s póry řádově velikosti molekul, které mají vysokou absorpční schopnost. Čističky vzduchu s těmito filtry jsou obzvláště užitečné pro lidi, kteří jsou citliví na chemické látky, protože absorbují formaldehyd, který se může uvolňovat v kobercích, dřevěném obložení nebo čalounění nábytku. Dokáže odstranit také chemikálie z čistících prostředků pro domácnost, díky čemuž bude vnitřní prostředí přijatelnější pro astmatiky, kojence, děti a seniory. [21]

5.1.3 Čistička vzduchu s elektrostatickým filtrem

Čističky vzduchu s elektrostatickým filtrem využívají elektrostatické pole k zachycení nabitých částic. Na začátku procesu čištění dochází k ionizaci plynu a nabíjení částic, které se pohybují k opačně nabitým elektrodám, kde dochází k odloučení. Největší výhodou těchto čističek je snadné odstranění odloučených částic z povrchu elektrod umytím vodou. Díky této výhodě jsou na provoz čističky nízké náklady. [24]

5.1.4 Čistička vzduchu s ionizátorem

Ionizátor vzduchu umístěný v čističce vzduchu do ovzduší produkuje záporné ionty. Nabité částice předají náboj částicím prachu, které jsou následně přitahovány k plochám v jejich blízkosti. Pomocí ionizátorů se urychlí sedimentace a shlukování prašných částic ze vzduchu. I když se tato technologie může zdát jako vyspělá, ukázalo se, že je méně

účinná než jiné technologie čištění vzduchu, protože tuhé částice se mohou posléze uvolnit z povrchu předmětů a začít znovu cirkulovat ve vzduchu. Tento typ čističek nemá schopnost absorbovat nebo likvidovat škodlivé látky ve vzduchu. [21]

5.1.5 Čistička vzduchu s UV filtrem

Čističky vzduchu s UV technologií se nejčastěji používají v kombinaci s filtračními systémy pevných částic, protože UV filtr sám o sobě tyto částice nezachytí. Je to ale vynikající metoda pro ničení choroboplodných zárodků, jako jsou bakterie a viry. Čistička vzduchu obsahuje UV lampu, která vyřazuje UV paprsky. Při průchodu mikroorganismů díky UV paprskům dochází k buněčnému nebo genetickému poškození, jenž mikroorganismus ničí. [21]

Přestože UV technologie ničí bakterie a viry, je nejlepší tyto čističky vzduchu kombinovat s dalšími filtračními systémy. Bez filtračního systému je příliš mnoho mikroorganismů zastíněno pevnými částicemi před UV světlem. Proto většina čističek vzduchu s UV technologií má před UV lampou umístěný HEPA filtr nebo uhlíkové filtry, které slouží k zachycení tuhých částic. Tento detail je zobrazen na obrázku 21. [21]



Obrázek 21: Čistička vzduchu s UV filtrem [21]

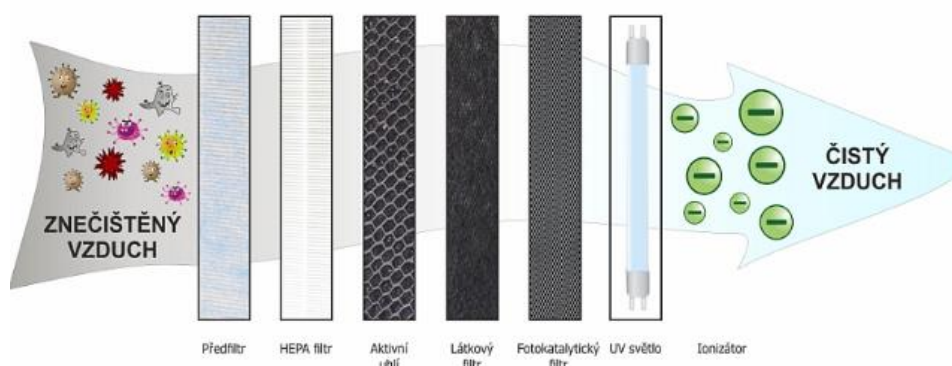
5.1.6 Čistička vzduchu založená na fotokatalytickém principu

Podstatou čističek vzduchu pracujících na fotokatalytickém principu je rozklad chemických látek na nezávadné složky (voda, oxid uhličitý) působením světla, urychlený přítomností fotokatalyzátoru. Je-li materiál s fotokatalytickými vlastnostmi vystavený

UV záření, aktivuje se jeho povrch a spustí se charakteristická reakce. Primárně vzniklý volný pár elektron-díra a hydroxylové radikály rozkládají přítomné organické a anorganické substance. Tento způsob ničí viry, bakterie i toxiny. Jako katalyzátor může být například použit oxid titanu. [26] [28]

5.1.7 Vícestupňová čistička vzduchu

Vícestupňové čističky vzduchu obsahují kombinace předchozích filtračních principů. Na obrázku 22 je zobrazeno schéma procesu ve vícestupňové čističce vzduchu s ionizátorem, zde konkrétně u čističky Airbi PURE. [21] [23]



Obrázek 22: Proces čištění vzduchu [23]

Čistička vzduchu je složena z těchto stupňů filtrace [23]:

Předfiltr – zachytí nečistoty větších rozměrů (vlasy, chlupy), čímž prodlužuje životnost dalších filtrů.

HEPA filtr – zachytí částice s průměrem 0,3 μm s účinností více jak 99.9 % (prach, pyl, kouř, zvířecí alergen).

Filtr s aktivním uhlím – likviduje různé pachy a plynné znečišťující látky jako je například formaldehyd.

Látkový filtr s uhlíkovými vlákny – zachytí další nebezpečné chemické látky jako je například benzen, který se používá v dekoračních materiálech.

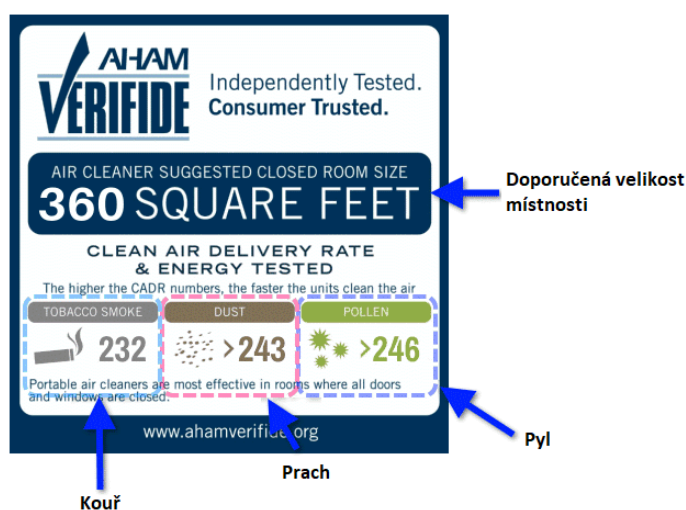
Fotokatalytický filtr – rozkládá nebezpečné plyny bez vytváření druhotného znečištění vzduchu a je schopen regenerace, ke které dochází během samočištění.

UV lampa – ultrafialové záření ničí mikroorganismy obsažené ve vzduchu.

Ionizátor – vytváří velké množství iontů se záporným nábojem.

5.2 Hodnocení přenosných čističek vzduchu

Důležitými parametry při hodnocení přenosných čističek vzduchu může být příkon, účinnost, objemový průtok zařízení a hodnotící parametr CADR (Clean Air Delivery Rate), který udává množství vyčištěného vzduchu dodané čističkou. Čím je hodnota parametru CADR vyšší, tím rychleji je čistička vzduchu schopna vyčistit vzduch. Měří se v metrech krychlových za hodinu (m^3/h) nebo krychlových stopách za minutu (ft^3/min). Například pokud má čistička vzduchu pro částice tabákového kouře hodnotu CADR 380, sníží hladinu částic kouře na stejnou koncentraci, jaké by bylo dosaženo přidáním 380 kubických stop 100 % čistého vzduchu za minutu. CADR bere v úvahu velikost odstraněné částice, procento odstraněných částic a objem vzduchu procházejícího čisticí jednotkou. Na obrázku 23 lze vidět standardní štítek CADR, který je většinou součástí čističky vzduchu zejména na trzích v USA a v Asii. [25]



Obrázek 23: Příklad standardního štítku CADR [27]

Při experimentu [40] na University of Texas at Austin se v experimentální komoře o objemu $14,75 m^3$ porovnávalo pět čističek vzduchu. Měření probíhalo při zapálené vonné tyčince po dobu 15 minut. V experimentu byly posuzovány čističky vzduchu s HEPA filtry (HEPA1, HEPA2), elektrostatické čističky (ESP) a ionizační čističky (IG1, IG2). Všechny čističky byly posuzovány při plném výkonu.

Pro vyhodnocení experimentu byl použit vzorec pro výpočet CADR [40]:

$$CADR = V(\Lambda_{AC} - \Lambda_{noAC}) \quad (5.1)$$

V tabulce 6 je shrnuto vyhodnocení experimentu.

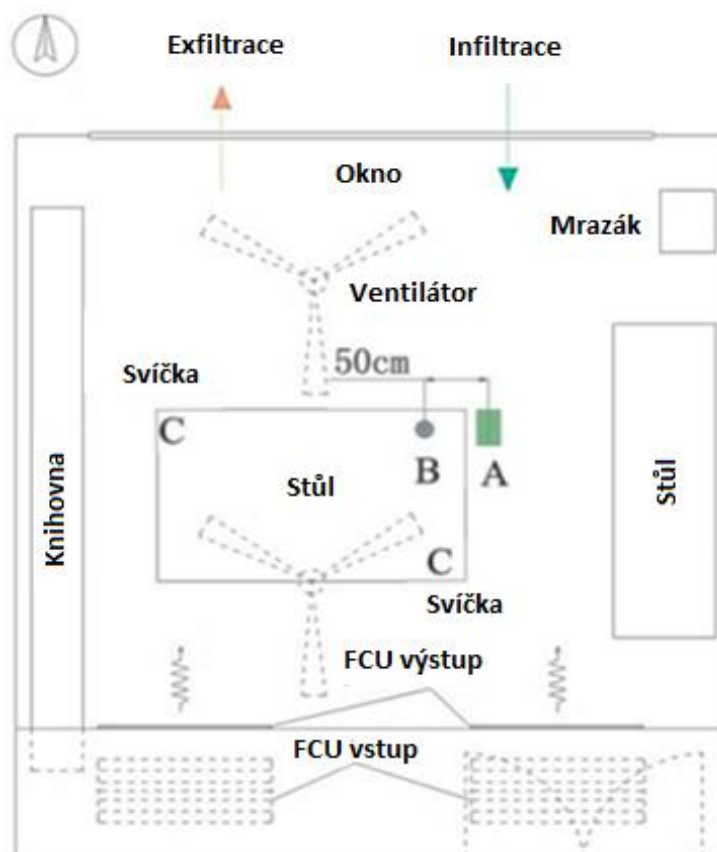
Tabulka 6: Vyhodnocení příkonů, průtoků vzduchu a parametru CADR [40]

Zařízení	Příkon [W]	Průtok vzduchu [m ³ /h]	CADR				
			Min	Max	Střední	Medián	N
ESP	102,2	850±26	112	455	284 (62)	283	83
HEPA1	205,6	309±9,3	92	259	188 (30)	188	76
HEPA2	102,6	571±17	203	481	324 (44)	340	75
IG1	8,4	51±1,5	16	76	41 (11)	39	85
IG2	4,9	<30	17	74	35 (13)	31	71

Parametr N označuje počet nenulových frakcí z celkových 104 frakcí v rozsahu 12,6 – 514 µm.

Z tabulky 6 vyplývá, že čističky vzduchu ESP, HEPA1 a HEPA2 odstraňují tuhé částice mnohem efektivněji než ionizační čističky. Pravděpodobně je to dáno tím, že tyto čističky (ESP, HEPA1, HEPA2) jsou vybaveny pomocnými ventilátory pro efektivnější proudění vzduchu. [40]

V experimentální studii provedené na Donghua University, Šanghaj [41] se sledovalo odstraňování částic přenosnými čističkami vzduchu s různými filtry v kancelářské místnosti na univerzitě v Šanghaji. Na obrázku 24 je půdorys kanceláře s rozměry 5,4 m x 6,0 m x 2,7 m (Š x D x V). Čerstvý vzduch je zajišťován infiltrací okny a dveřmi pomocí stropních ventilátorů.



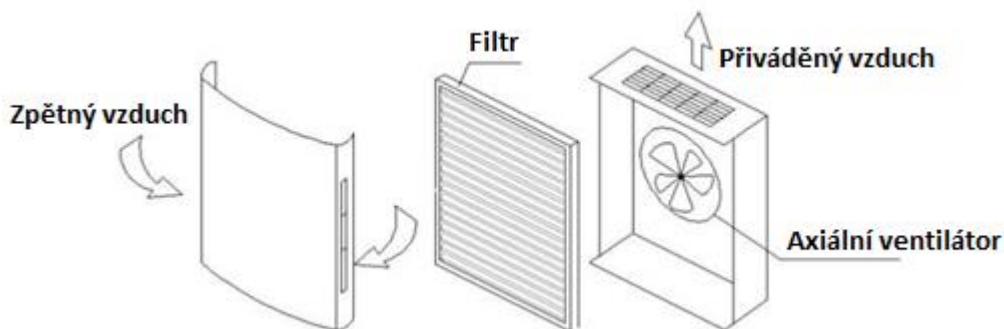
Obrázek 24: Půdorys kanceláře [41]

V experimentu byla použita čistička vzduchu HLXK-1A – obrázek 25. Byla vybavena ventilátorem a různými testovanými druhy filtrů, mezi které patřil předfiltr (PR), vysoce účinný filtr (HE), filtr s aktivním uhlím (CF) a elektretové filtry typu EE6 – 6 x 45 mm, EE10 – 10 x 45 mm a EE20 – 20 x 45 mm. Elektretový filtr je filtr s elektrostaticky nabitým filtračním materiálem. [41]



Obrázek 25: Čistička vzduchu HLXK-1A [41]

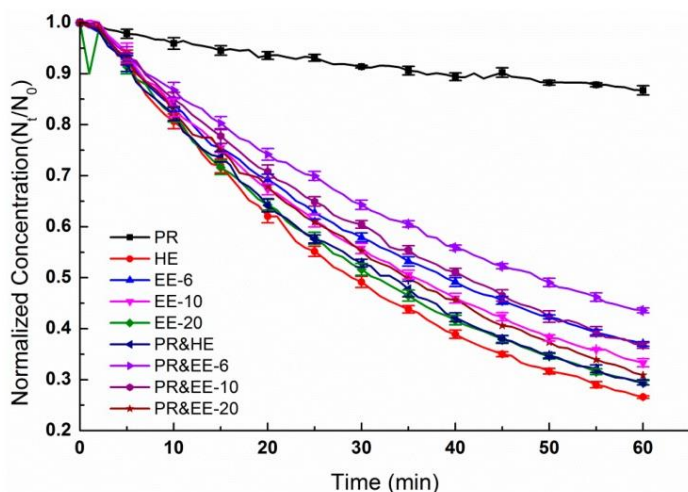
Schéma jednotlivých částí čističky vzduchu je na obrázku 26.



Obrázek 26: Detail čističky vzduchu HLXK-1A [41]

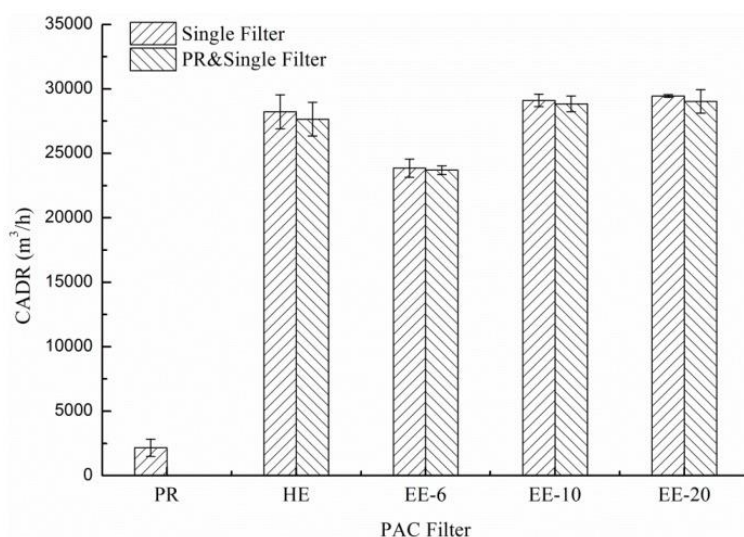
Při experimentu byly koncentrace jemných částic sledovány pomocí aerosolového spektrometru Grimm 1.108. Na obrázku 24 je detailní rozmístění konkrétních zařízení. Sonda spektrometru byla umístěna na stole v bodě B. Před každým měřením byly zapáleny svíčky (bod C) včetně zapnutých dvou stropních ventilátorů, dokud se nezvýšila koncentrace částic na přibližnou hodnotu $(0,9 - 1,1) \times 10^9$ částic / m^3 . V bodě A byla umístěna samotná čistička vzduchu a údaje o koncentraci částic byly zaznamenávány v minutových intervalech po dobu 60 minut. Během experimentu byly vypnuty stropní ventilátory a zavřená okna. [41]

Na obrázku 27 je porovnání koncentrace částic frakce PM_{10} pro různé typy filtrů po 60 minutách provozu čističky vzduchu. Nejdříve se testovaly samotné filtry a následně v kombinaci s předfiltrem. Zatímco filtr CF byl relativně neúčinný a koncentrace částic se snížila minimálně, tak u ostatních filtrů (PR, HE, EE6, EE10, EE20) koncentrace částic frakce PM_{10} poklesla o 13,3 %, 73,4 %, 63,0 %, 66,7 %, a 70,6 % v uvedeném pořadí. Když byly filtry HE, EE-6, EE-10 a EE-20 spojeny s filtrem PR, procento poklesu během jedné hodiny bylo sníženo o 2,9 %, 6,6 %, 3,4 % a 1,5 %. Po grafickém vyhodnocení se filtr HE se ukázal jako nejúčinnější. Výsledky této studie naznačují, že zvýšení počtu filtračních vrstev nemusí nutně vyvolat znatelné zvýšení účinnosti čističky vzduchu. [41]



Obrázek 27: Účinnost filtrů při odstraňování částic PM_{10} [41]

Na obrázku 28 je vyhodnocení parametru CADR. Když byly filtry HE, EE6, EE10 a EE20 spojeny s filtrem PR, tak došlo k mírnému snížení parametru CADR.



Obrázek 28: Vyhodnocení CADR [41]

5.2.1 Expertízy Státního zdravotního ústavu

Státní zdravotní ústav se od devadesátých let 20. století do počátku 21. století zabýval hodnocením čističek vzduchu [44], kdy se jako novinky začaly objevovat na českém trhu. Během experimentů byly v časopise *Vytápění, větrání, instalace* publikovány články s vyhodnocením jednotlivých čističek. U různých druhů čističek byl hodnocen počet stupňů filtrace, vzduchový výkon, protiprašná účinnost v hmotnostních procentech po

dobu tří hodin, hladina akustického tlaku nebo koncentrace ozónu. Dalším důležitým parametrem kvality čističek vzduchu je schopnost pohlcovat škodliviny, jako jsou SO_2 , NO_x , formaldehyd nebo radon. Předmětem expertízy SÚZ byly i čističky Ionic CARE Triton X6 a Daikin MC 707 VC, které jsou použité v experimentální části diplomové práce. [44]

Ionic CARE Triton X6

Při této konkrétní expertíze [34] se jednalo o měření protiprašné účinnosti. Při měření protiprašné účinnosti byla čistička vzduchu Ionic CARE Triton X6 nastavena na střední výkonový stupeň (Med). Laboratorní místnost, ve které expertíza probíhala, měla 60 m³. V průběhu jedné hodiny bylo provedeno vždy 10 měření po dobu 6 minut ve 4 velikostních intervalech od 0,3 do 5 μm.

Vyhodnocení měření:

Tabulka 7: Vyhodnocení protiprašné účinnosti Ionic CARE Triton X6 [34]

Doba měření	Koncentrace prachu [μg/m²]	Pokles prašnosti vzhledem k pozadí [%]	Protiprašná účinnost [%]
Pozadí (1 hod)	691,9		
1.hodina	182,7	26,4	73,6
2.hodina	44,4	6,4	93,6
3.hodina	14,8	2,1	97,6
Průměr	80,6	11,6	88,4

V tabulce 7 jsou uvedeny zjištěné hodnoty protiprašné účinnosti čističky vzduchu Ionic CARE Triton X6. Tříhodinový průměr protiprašné účinnosti je 88,4 %.

Tabulka 8: Průměrné počty částic v jednotlivých intervalech [34]

Doba měření	Průměrný počet částic/litr			
	≥ 0,3 μm	≥ 0,5 μm	≥ 1 μm	≥ 5 μm
Pozadí – 60 min	183 288	128 456	29 713	4 847
Zapnutý čistič 60 minut	168 903	100 469	10 798	159
Zapnutý čistič 120 minut	121 400	51 548	2 164	13
Zapnutý čistič 180 minut	107 708	13 754	619	6

V tabulce 8 je vidět, že po 180 minutách došlo k poklesu koncentrace částic na přibližně 59 % počáteční hodnoty, přičemž u hrubších částic byl pokles výraznější.

Daikin MC 707 VM

Další expertíza se zabývala čističkou Daikin MC 707 VM se stejnou metodikou měření [35]. Čistička vzduchu Daikin MC 707 VM byla při samotném měření nastavena na nízký výkonový stupeň (L). Metodika měření byla shodná s metodikou čističky vzduchu Ionic CARE Triton X6.

Vyhodnocení měření:

Tabulka 9: Vyhodnocení protiprašné účinnosti Daikin MC 707 VM [35]

Doba měření	Koncentrace prachu [$\mu\text{g}/\text{m}^2$]	Pokles prašnosti vzhledem k pozadí [%]	Protiprašná účinnost [%]
Pozadí (1 hod)	384,92	100	0
1.hodina	28,96	7,52	92,48
2.hodina	1,51	0,39	99,61
3.hodina	0,44	0,11	99,89
Průměr	10,30	2,67	97,33

V tabulce 9 jsou uvedeny zjištěné hodnoty protiprašné účinnosti čističky vzduchu Daikin MV 707 VC. Tříhodinový průměr protiprašné účinnosti je 97,33 %. [35]

Tabulka 10: Průměrné počty částic v jednotlivých intervalech [35]

Doba měření	Průměrný počet částic/litr			
	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
Pozadí – 60 min	173 670	142 074	48 020	11 784
Zapnutá čistička 30 minut	117 708	27 183	1 733	950
Zapnutá čistička 60 minut	48 043	9 972	483	1
Zapnutá čistička 120 minut	18 749	1 486	179	1
Zapnutá čistička 150 minut	8 670	326	28	1
Zapnutá čistička 180 minut	4 861	122	2	1

Z tabulky 10 je zřejmé, že pokles počtu částic je výrazně rychlejší než u čističky Ionic CARE Triton X6, protože po 180 minutách došlo k poklesu koncentrace částic na přibližně 2,8 % počáteční hodnoty.

5.3 Nejprodávanější čističky vzduchu

Podle vyhodnocení českých nákupních portálů a zpětné vazby zákazníků byly vybrány nejprodávanější čističky vzduchu na českém trhu za rok 2020 [37]. Čističky byly rozděleny do tří cenových kategorií (do 5 000 Kč, 5 000 až 10 000 Kč a nad 10 000 Kč).

Čističky vzduchu do 5000 Kč

Jedná se o kategorii nejlevnějších čističek na českém trhu. Tyto čističky jsou převážně určeny pro prostory do 70 m³. Jen několik z nich disponuje HEPA filtrem a jejich celková účinnost filtrace je menší. Předností této kategorie čističek je převážně nízká cena. [37]

Tabulka 11: Základní parametry čističek vzduchu do 5 000 Kč [37]

Pořadí	Název	Výkon [m ³ /h]	Filtr [-]	Hlučnost [dB]	Cena [Kč]
1	Ionic CARE Triton X6	65	Elektrostatický	8	3 490
2	Fellowes AeraMAX DX55	221	HEPA	70	4 990
3	Eta Nubela	150	HEPA, uhlíkový	53	2 484



Obrázek 29: Vzhled čističek vzduchu do 5 000 Kč [37]

Čističky vzduchu od 5 000 do 10 000 Kč

Čističky z této kategorie splňují charakteristiku průměrné střední třídy. Vzhledem k vyššímu výkonu a lepší účinnosti filtrace se hodí i do větších místností. Hlučnost je relativně stejná jako u první kategorie. Většina čističek obsahuje v této kategorii HEPA filtr, uhlíkový filtr a některé přístroje mají i indikátor zanesení filtru. [37]

Tabulka 12: Základní parametry čističek vzduchu od 5 000 do 10 000 Kč [37]

Pořadí	Název	Výkon [m ³ /h]	Filtr [-]	Hlučnost [dB]	Cena [Kč]
1	Dyson Pure Cool Me	925	HEPA, akt. uhlí	59	9 490
2	ETA Puris 3569 90000	400	HEPA, uhlíkový	64	6 999
3	Sharp KC D40EUW	216	HEPA, uhlíkový	23	9 980



Obrázek 30: Vzhled čističek vzduchu od 5 000 do 10 000 Kč [37]

Čističky vzduchu od 10 000 Kč

S vyšší cenou roste i efektivita čističek vzduchu. Jsou využívány do větších prostorů. Běžně obsahují HEPA filtry, ionizátory, uhlíkové filtry nebo různé senzory a indikátory. Ty nejdražší čističky mají přidružené další funkce jako například zvlhčovač, odvlhčovač vzduchu nebo automatický režim. [37]

Tabulka 13: Základní parametry čističek vzduchu od 10 000 Kč [37]

Pořadí	Název	Výkon [m ³ /h]	Filtr [-]	Hlučnost [dB]	Cena [Kč]
1	Sharp KC D50EUW	306	HEPA, uhlíkový, vodní	23	10 286
2	Dyson Pure Cool TP04	1 299	HEPA, akt. uhlí	60	16 735
3	Boneco P500	258	HEPA, uhlíkový	60	10 148



Obrázek 31: Vzhled čističek vzduchu od 10 000 Kč [37]

6 Použité přístroje při experimentálním měření

6.1 Čistička vzduchu Ionic CARE Triton X6

Na obrázku 32 je čistička vzduchu Ionic CARE Triton X6 s elektrostatickým filtrem. Cirkulace vzduchu je zajištěna soustavou elektrod pomocí korónového výboje. Korónový výboj vzniká díky malému poloměru křivosti na hranách elektrod. Výboj hoří pouze v okolí hran elektrod a do prostoru se elektrický náboj přenáší za pomoci volných nosičů náboje. Nečistoty jsou zachyceny a odloučeny na usazovacích elektrodách. Jelikož zachycené nečistoty na usazovacích elektrodách snižují účinnost čištění vzduchu, je zapotřebí mechanismus, který slouží na čištění ionizačních drátků – obrázek 33. Čištění samotných elektrod se provádí pouze omytím. Účinnost čištění vzduchu dosahuje dle údajů výrobce až 96 %. [32]



Obrázek 32: Čistička vzduchu Ionic CARE Triton X6 [32]



Obrázek 33: Mechanismus na čištění ionizačních drátků [32]

Přístroj umožňuje nastavení tří úrovní chodu podle velikosti místnosti [32]:

Nastavení Lo (nízký výkon) je určený pro místnosti do 15 m². V tomto režimu je vzduchový výkon 15 m³/hod s průměrným příkonem 5 W. Cyklus je rozdělen na 20 vteřin provozu a 120 vteřin pauza.

Nastavení Med (střední výkon) je určený pro místnosti do 50 m². V tomto režimu je vzduchový výkon 38 m³/hod s průměrným příkonem 7 W. Cyklus je rozdělen na 20 vteřin provozu a 20 vteřin pauza.

Nastavení Hi (plný výkon) je určený pro místnosti do 75 m². V tomto režimu je vzduchový výkon až 65 m³/hod s průměrným příkonem 12 W. Celý cyklus probíhá bez přerušení (proces čištění + ionizace vzduchu).

V tabulce 14 jsou uvedeny technické parametry čističky vzduchu Ionic CARE Triton X6.

Tabulka 14: Technické parametry Ionic CARE Triton X6 [32]

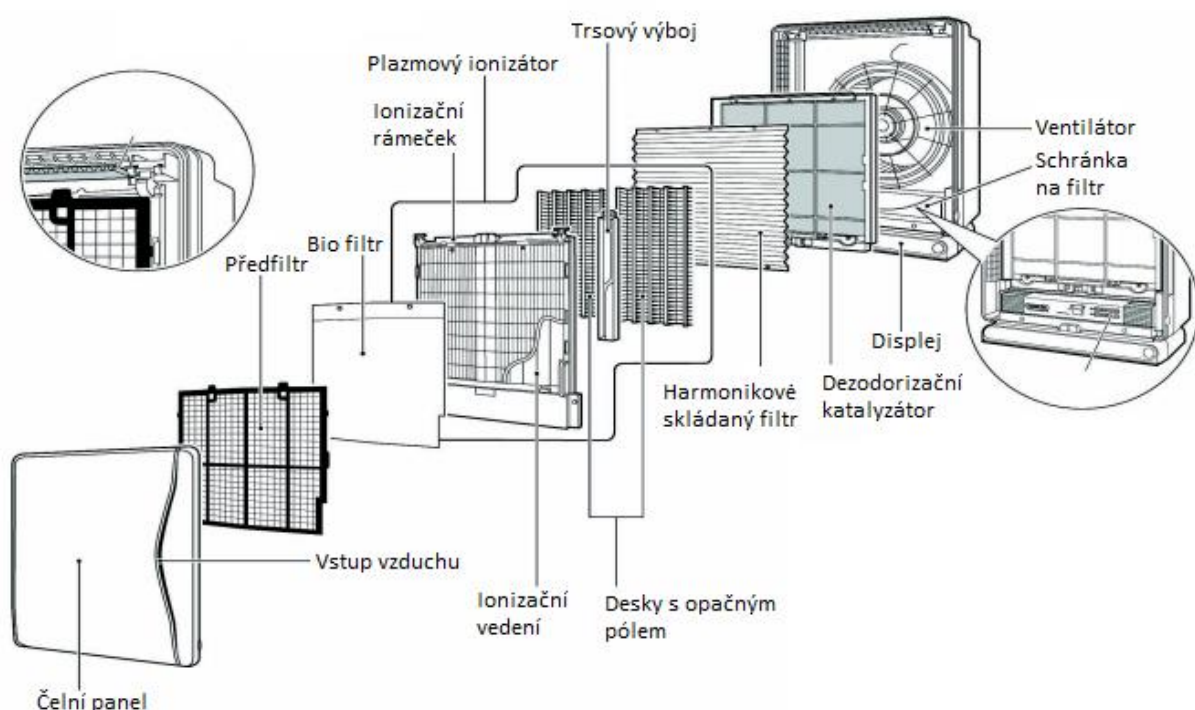
Parametr	Hodnota
Napájení	220 – 240 V
Frekvence	50 Hz
Příkon	max. 12 W
Rozměry	výška 71 cm
Váha přístroje	3,1 kg
Koncentrace záporných iontů v cm ³ ve vzdálenosti 50 cm	$4,2 \cdot 10^5$ 1/cm ³
Koncentrace záporných iontů v cm ³ ve vzdálenosti 250 cm	$2,7 \cdot 10^2$ 1/cm ³
Maximální plocha místnosti při standardní výšce stropu (250 cm)	75 m ²
Hlučnost	max. 8 dB
Protiprašná účinnost	96 %

6.2 Čistička vzduchu Daikin MC 707 VC

Daikin MC 707 VM je fotokatalytická čistička vzduchu (obrázek 34), která obsahuje sedmistupňový filtrační systém. Součástí je plazmový ionizátor doplněný o elektrostatický filtr. Filtr s biologickými protilátkami, technologie Flash Streamer a fotokatalytický filtr umožňuje efektivně ničit bakterie. [33]



Obrázek 34: Čistička vzduchu Daikin MC 707 VC [33]



Obrázek 35: Schéma jednotlivých částí čističky DAIKIN MC707 VC [33]

Jednotlivé stupně čištění jsou [33]:

Předfiltr – zachycuje velké prachové částice a zvířecí chlupy.

Aktivní bio-antibody filtr – zachycuje a odstraňuje vzdušné viry.

Plazmový ionizátor – pozitivně nabíjí prachové a pylové částice.

Elektrostatický prachový filtr – negativně nabitým filtrem zachycuje pozitivně nabitý prach a pyl.

Jednotka Flash Streamer – rozkládá alergeny, jako jsou pyly nebo plísně a podporuje fotokatalytickou reakci na povrchu fotokatalytického filtru. Výboj Streamer je typ plazmového výboje s technologií čištění vzduchu, která stabilně generuje vysokorychlostní elektrony.

Titanový apatitový fotokatalytický filtr – odstraňuje bakterie a viry.

Deodorizační katalyzátor – odbourává pachy.

V tabulce 15 jsou technické parametry čističky vzduchu Daikin MC 707 VC.

Tabulka 15: Technické parametry Daikin MC 707 VC [33]

Parametr	Hodnota
Napájení	220 – 240 V
Frekvence	50 Hz
Max. vzduchový výkon	420 m ³
Ionizátor	Ano
Automatický režim	Ano
Zvlhčovač	Ne
Indikátor výměny/údržby filtru	Ano
Časovač	Ano
Dálkové ovládání	Ano
Hlučnost	16 / 24 / 31 / 38 / 47 dB
Příkon	15 / 17 / 20 / 24 / 52 W
Hmotnost	8,7 kg
Rozměry (Š × H × V)	425 x 213 x 533 mm

Přístroj umožňuje nastavení pěti úrovní chodu [33]:

- tichý režim LL (60 m³/h)
- nízký režim L (120 m³/h)
- střední režim M (180 m³/h)
- vysoký režim H (285 m³/h)
- turbo režim (420 m³/h)

Je možné aktivovat automatický režim, který slouží pro samostatné řízení průtoku vzduchu podle konkrétního znečištění místnosti.

6.3 Čistička vzduchu Haier KJF600KCAA

Čistička vzduchu Haier KJF600KCAA, která je na obrázku 36, se dle údajů výrobce vyznačuje velmi vysokou účinností čištění s CADR 500 m³/h a umožňuje monitorovat kvalitu vzduchu pomocí čidla koncentrace částic frakce PM_{2,5}. Zařízení je vhodné pro velké místnosti a prostory o ploše až cca 100 m². Použití filtru 3v1 dle výrobce zajišťuje účinné odstranění vlasů, chlupů, prachu a také jedovatých látek ze vzduchu, jako je formaldehyd, benzen, čpavek nebo nikotin. [38]

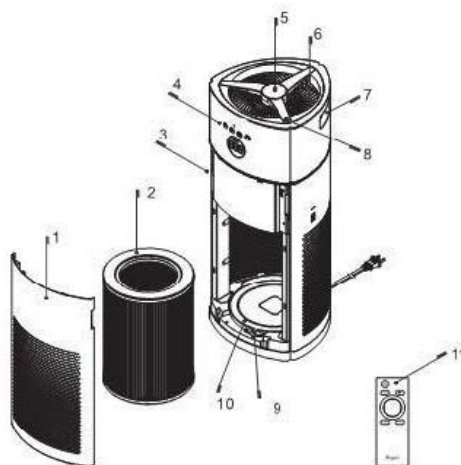
Filtr 3v1

Filtr 3v1 se skládá ze 3 filtračních vrstev – vstupní filtr, HEPA filtr a filtr s aktivním uhlím [38]:



Obrázek 36: Čistička vzduchu Haier KJF600KCAA [38]

Na obrázku 37 jsou znázorněné jednotlivé komponenty zařízení Haier KJF600KCAA.



Obrázek 37: Schéma čističky Haier KJF600KCAA [38]

- 1 – přední panel
- 2 – integrovaný filtr
- 3 – čidlo prachu
- 4 – displej zobrazení funkce
- 5 – vypínač, tlačítko resetování filtru
- 6 – výstup vzduchu
- 7 – držadlo
- 8 – rychlost ventilátoru, dětský zámek, tlačítko resetování filtru
- 9 – čidlo VOC
- 10 – posuvný držák
- 11 – držák filtru
- 12 – dálkový ovladač

V tabulce 16 jsou technické parametry čističky vzduchu Haier KJF600KCAA.

Tabulka 16: Technické parametry Haier KJF600KCAA [38]

Parametr	Hodnota
Napájení	230 V
Frekvence	50 Hz
Příkon	55 W
Hladina akustického tlaku	23 – 54 dB(A)
CADR (PM)	500 m ³ /h
CADR (HCHO)	200 m ³ /h
CCM (PM)	P4
CCM (HCHO)	F4
Provozní hmotnost	9 kg
Rozměry	306 x 306 x 724 mm

Čistička umožňuje pět režimů provozu, které určují rychlost ventilátoru. Patří mezi ně automatický režim, režim 1 / 2 / 3 a turbo režim. Výrobce nijak blíže nespecifikuje jednotlivé režimy. [38]

6.4 Analyzátor GRIMM 1.109

Na obrázku 38 je analyzátor GRIMM 1.109, který je určený k měření koncentrace částic v ovzduší. Koncentrace částic může být měřena jako početní [N/l] nebo jako hmotnostní [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Detailnější technické parametry a rozsah jednotlivých měření frakcí jsou zobrazeny v tabulce 17. [36]

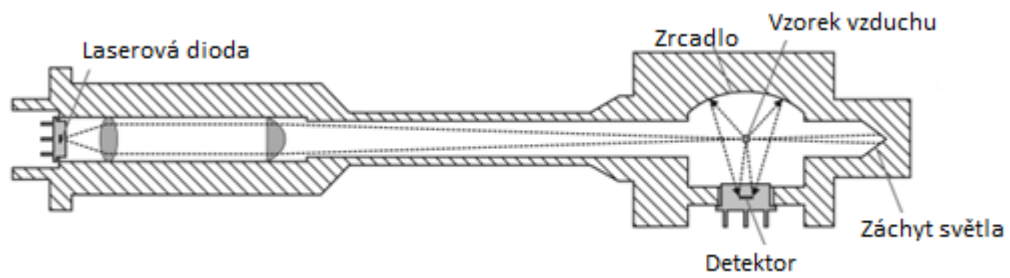


Obrázek 38: Analyzátor GRIMM 1.109 [36]

Tabulka 17: Technické parametry analyzátoru GRIMM 1.109 [36]

Rozsah měření	0,25 – 32 μm ve 31 frakcích
Velikost částic [μm]	0,25-0,28-0,3-0,35-0,4-0,45-0,5-0,58-0,65-0,7-0,8-1-1,3-1,6-2,0-2,5-3,0-3,5-4-5-6,5-7,5-8,5-10-12,5-15-17,5-20-25-30-32
Rozsah počtu částic při měření [N/l]	1 – 2 000 000
Rozsah hmotnostní koncentrace [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0,1 – 100 000
Průtok vzduchu [l/min]	1,2
Citlivost [N/l]	1
Reprodukovatelnost	$\pm 3 \%$ při maximálním rozsahu

Princip analyzátoru GRIMM 1.109 spočívá v technologii rozptylu světla, která je zobrazena na obrázku 39. Paprsek s vlnovou délkou 655 μm vyzařovaný laserovou diodou prochází velmi úzkým proudem vzorku vzduchu. Následně částice způsobí rozptyl světla, které se díky zrcadlu odrazí na detektor a multikanálovým klasifikátorem velikosti projde signál, kterému se přiřte příslušná frakce. Výsledné hodnoty jsou ukládány na paměťovou kartu nebo přeneseny linkou RS 232. V normálním režimu analyzátor zapisuje data jednou za 60 sekund a v rychlém režimu jednou za 6 sekund. [36]



Obrázek 39: Princip měření aerosolových částic analyzátoru GRIMM 1.109 [36]

Popis přední a zadní strany analyzátoru GRIMM 1.109 je na obrázku 40 a 41. [36]



Obrázek 40: Ovládací prvky analyzátoru GRIMM 1.109 [36]

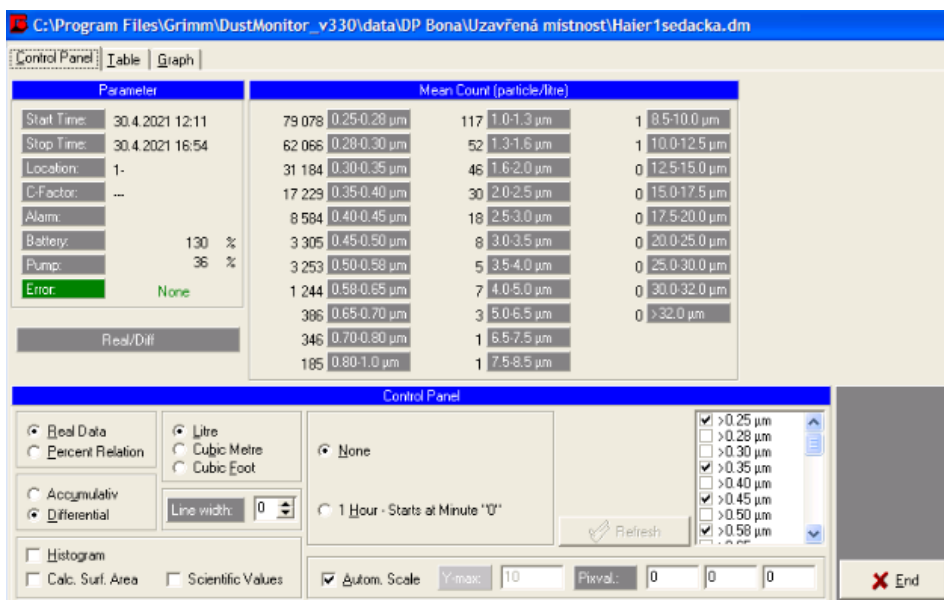
- 1 – LCD displej
- 2 – slot na paměťovou kartu
- 3 – klávesnice
- 4 – vstup pro vzorek
- 5 – analogový vstup
- 6 – napájení
- 7 – konektor pro připojení RS 232



Obrázek 41: Ovládací prvky analyzátoru GRIMM 1.109 [36]

- 8 – filtrační komora
- 9 – PTFE filtr
- 10 – upozornění na laser
- 11 – štítek kalibrace
- 12 – výrobní číslo
- 13 – výstup pro vzorek
- 14 – zámek na baterii

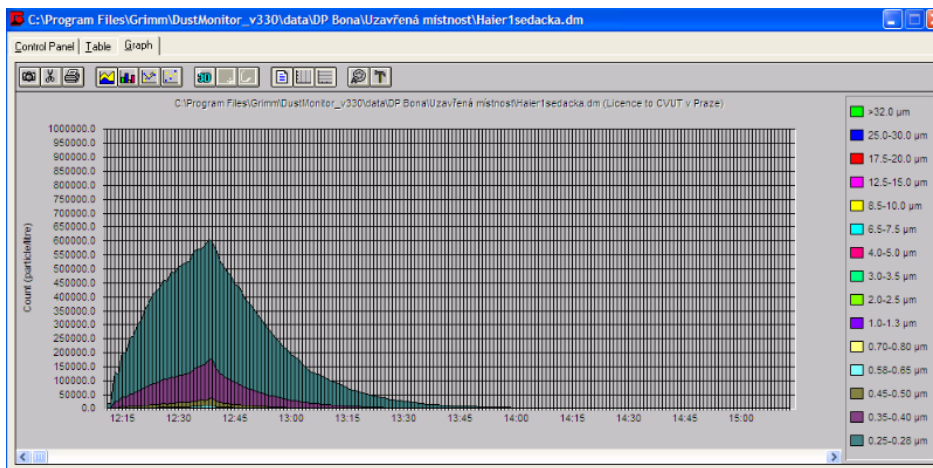
Na obrázcích 42, 43 a 44 je vidět ukázka prostředí programu Dust Monitor a naměřených dat z konkrétního měření.



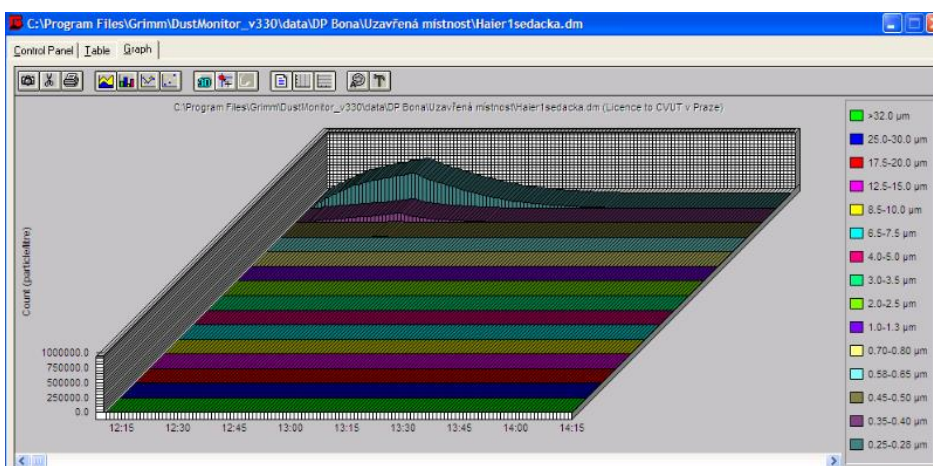
Obrázek 42: Ukázka naměřených dat ze softwaru Dust Monitor

	0.25-0.28 µm	0.28-0.30 µm	0.30-0.35 µm	0.35-0.40 µm	0.40-0.45 µm	0.45-0.50 µm	0.50-0.58 µm	0.58-0.65 µm	0.65-0.70 µm	0.70-0.80 µm	0.80-1.0 µm	1.0-1.3 µm	1.3-1.6 µm
30.4.2021 12:11:00	22 555	15 220	9 545	4 920	2 025	725	700	450	160	190	165	110	120
30.4.2021 12:12:00	20 950	13 170	7 595	4 095	1 785	675	720	395	240	225	120	170	135
30.4.2021 12:13:00	135 187	100 343	50 425	28 665	13 820	5 775	5 890	2 480	935	920	595	400	245
30.4.2021 12:14:00	124 292	89 366	47 400	27 900	14 795	5 755	5 480	2 420	725	660	365	340	105
30.4.2021 12:15:00	202 941	150 872	79 011	47 090	25 025	10 270	9 910	3 810	1 325	1 025	495	395	220
30.4.2021 12:16:00	202 682	145 871	75 265	42 455	22 500	8 815	8 365	3 420	1 040	895	460	245	145
30.4.2021 12:17:00	255 784	189 274	94 771	54 675	28 730	10 945	10 750	4 225	1 395	1 340	670	445	205
30.4.2021 12:18:00	265 524	193 252	97 019	56 425	28 000	11 125	10 970	4 315	1 190	1 330	550	350	215
30.4.2021 12:19:00	299 731	227 187	115 965	64 900	32 130	12 785	12 565	4 725	1 670	1 090	650	425	155
30.4.2021 12:20:00	317 857	237 739	120 391	68 230	33 745	12 830	12 470	5 185	1 510	1 175	515	345	120
30.4.2021 12:21:00	357 239	277 615	139 785	77 835	39 400	14 905	15 150	5 625	1 815	1 500	790	495	305
30.4.2021 12:22:00	377 965	296 229	148 619	82 220	40 985	15 520	14 785	5 640	1 780	1 510	640	420	175
30.4.2021 12:23:00	408 942	330 775	167 720	92 850	46 255	17 795	17 505	6 645	2 120	1 720	845	520	250
30.4.2021 12:24:00	421 009	339 009	171 490	92 635	46 040	17 945	16 860	6 060	1 870	1 580	680	480	190
30.4.2021 12:25:00	434 571	354 100	178 014	98 021	49 185	18 280	18 425	6 775	1 770	1 820	875	485	180
30.4.2021 12:26:00	465 117	387 348	195 531	107 946	52 575	20 265	19 850	7 675	2 280	1 845	1 080	545	265
30.4.2021 12:27:00	456 261	376 472	192 431	105 143	52 230	19 485	19 860	7 645	2 310	2 060	960	615	270
30.4.2021 12:28:00	493 241	417 160	213 096	116 225	59 720	22 450	22 000	8 340	2 730	2 190	1 330	745	310
30.4.2021 12:29:00	490 488	414 055	207 804	114 260	57 125	21 800	21 005	8 280	2 500	2 170	1 060	550	175
30.4.2021 12:30:00	510 409	436 439	219 358	123 389	59 970	23 615	23 085	8 795	2 725	2 410	1 310	715	300
30.4.2021 12:31:00	516 626	442 589	224 738	123 444	62 185	23 720	22 925	8 635	2 545	2 495	1 110	555	315
30.4.2021 12:32:00	525 616	452 713	229 933	127 081	62 490	25 380	23 665	8 985	2 665	2 215	1 310	670	310
30.4.2021 12:33:00	531 542	461 454	233 997	129 451	62 940	24 670	23 990	8 965	2 545	2 330	1 080	580	275

Obrázek 43: Ukázka naměřených dat ze softwaru Dust Monitor



Obrázek 44: Ukázka naměřených dat ze softwaru Dust Monitor



Obrázek 45: Ukázka naměřených dat ze softwaru Dust Monitor

6.5 Wöhler CDL 210

Na obrázku 46 je přístroj Wöhler CDL 210, který se používá pro měření kvality vzduchu v interiéru (CO₂, teplota a vlhkosti vzduchu). Naměřená data je možno pomocí softwaru CDL 210 graficky zpracovávat na počítači, ke kterému lze přístroj připojit pomocí USB portu. [39]



Obrázek 46: Přístroj Wöhler CDL 210 [38]

V tabulce 18 a 19 jsou popsány technické parametry a měřené veličiny přístroje Wöhler CDL 210.

Tabulka 18: Technické parametry přístroje Wöhler CDL 210 [39]

Parametr	Hodnota
Napájení	AC / 5 V / 0,5 A
Posouzení klimatu	Good, Normal, Poor
Paměť	6 000 naměřených hodnot v řadě
Rozměry	120 x 100 x 70 mm
Hmotnost	208 g

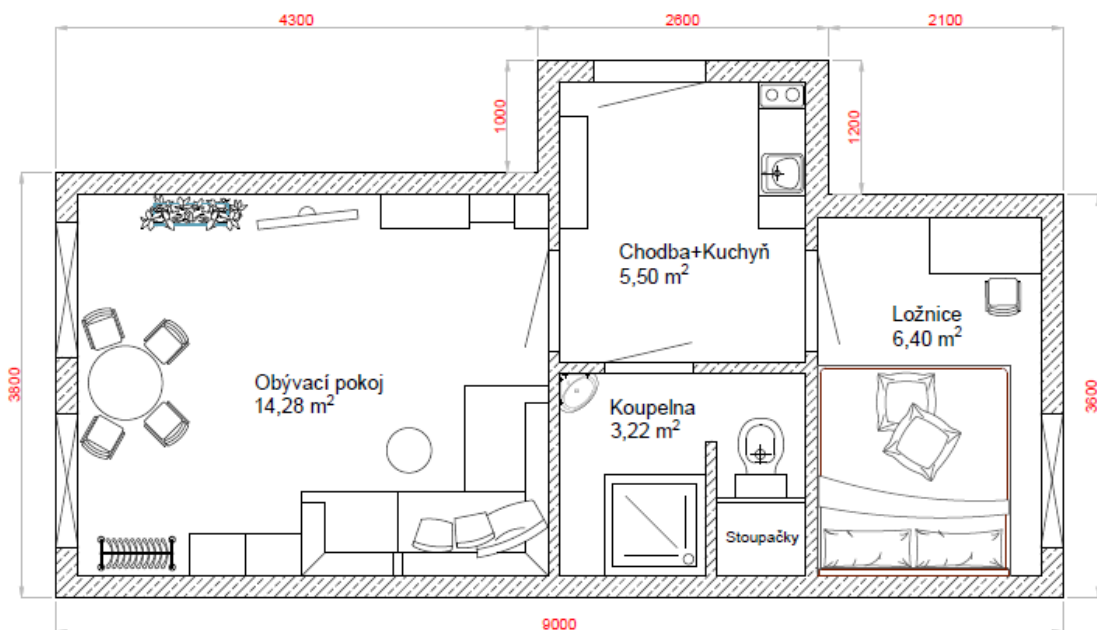
Tabulka 19: Měřené veličiny přístroje Wöhler CDL 210 [39]

Měření	CO ₂	Teplota	Vlhkost
Rozsah	0 – 2.000 ppm	- 10 až 60 °C	5 – 95 %
Rozlišení	1 ppm	0,1 °C	0,1 %
Přesnost	50 ppm ± 5 %	± 0,6 °C (± 0.9 °F)	± 3 %

7 Experimentální měření v reálném prostředí

7.1 Popis reálného prostředí

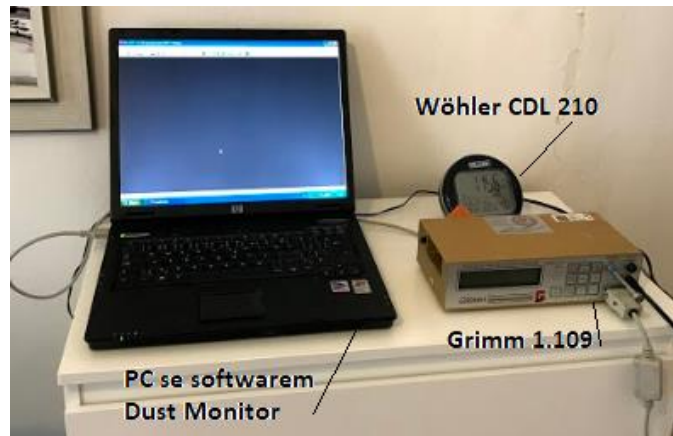
Experiment v reálném prostředí proběhl v bytě, který se nachází v Praze 2. Půdorys bytu je na obrázku 47, jeho celková rozloha je 29,4 m² a objem prostoru 102,9 m³. Dispozice bytu je řešena vstupní chodbou s kuchyní, obývacím pokojem, ložnicí a koupelnou. Hlavní vchodové dveře jsou dřevěné bezpečnostní dveře. V ložnici je nové jednokřídlé plastové okno a v obývacím pokoji jsou stará dřevěná špaletová okna.



Obrázek 47: Půdorys bytu

7.2 Umístění přístrojů při experimentu

Na obrázku 48 je vidět poloha přístrojů Grimm 1.109, Wöhler CDL 210 a počítače s ovládacím programem, které byly umístěny na komodě, poblíž vstupních dveří do místnosti.



Obrázek 48: Umístění měřicích přístrojů

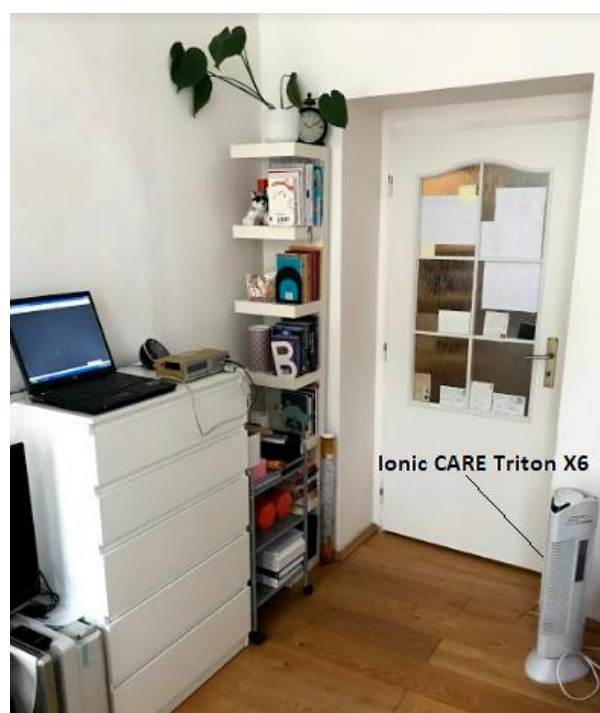
Na obrázcích 49, 50 a 51 je umístění jednotlivých čističek vzduchu ve vhodné poloze dle doporučení výrobců v dostatečné vzdálenosti od zdi a ostatních předmětů s výdechovými otvory natočenými směrem do prostoru.



Obrázek 49: Umístění čističky Haier KJF600KCAA



Obrázek 50: Umístění čističky Daikin MC 707 VC



Obrázek 51: Umístění čističky Ionic CARE Triton X6

7.3 Postup měření v uzavřené místnosti

V první části experimentu probíhalo samotné měření při uzavřené místnosti v obývacím pokoji o objemu 50 m³ bez běžného chodu domácnosti, aby se ukázala účinnost jednotlivých čističek po umělém zvýšení koncentrace. Základní měření bylo pro všechny tři čističky při různých výkonnostních režimech. Druhá část měření v uzavřené místnosti se zabývala vlivem umístění jednotlivých čističek, kdy byly vybrány tři polohy – ideální, nevhodná a naprosto nevhodná poloha. Zde už byl testován u každé čističky pouze jeden režim.

Na začátku každého měření byl spuštěn analyzátor Grimm 1.109 pro zaznamenávání koncentrace aerosolů. Vzorkování bylo nastaveno na 1 minutu. Zdrojem ke zvýšení koncentrace tuhých částic v uzavřené místnosti byly dvě současně zapálené vonné tyčinky. Na obrázku 52 je vidět umístění těchto dvou vonných tyčinek, které za 30 minut zvýšily koncentraci tuhých částic na více jak 1,8 milionu částic/l. V této části experimentu byla hodnocena účinnost poklesu tuhých částic bez čističky a následně s čističkou Haier KJF600KCAA, Daikin MC 707 a Ionic CARE Triton X6 v různých režimech. V druhé části experimentu byl porovnáván vliv umístění na funkci těchto čističek.



Obrázek 52: Umístění vonných tyčinek

Jednotlivá základní měření (v uzavřené místnosti):

Bez čističky vzduchu

Haier KJF600KCAA

- Režim 1
- Režim 2
- Režim 3

Výrobce blíže nespecifikuje jednotlivé režimy a průtoky vzduchu čističky Haier KJF600KCAA.

Daikin MC 707 VC

- Režim L prútok vzduchu 120 m³/h
- Režim M prútok vzduchu 180 m³/h
- Režim H prútok vzduchu 285 m³/h
- Režim Turbo prútok vzduchu 420 m³/h

Ionic CARE Triton X6

- Režim Medium prútok vzduchu 38 m³/h
- Režim High prútok vzduchu 65 m³/h

Jednotlivá měření na vliv umístění čističky (v uzavřené místnosti):

Haier KJF600KCAA

- Režim 2, ideální poloha
- Režim 2, nevhodná poloha
- Režim 2, naprosto nevhodná poloha

Daikin MC 707 VC

- Režim H, ideální poloha
- Režim H, nevhodná poloha
- Režim H, naprosto nevhodná poloha

Ionic CARE Triton X6

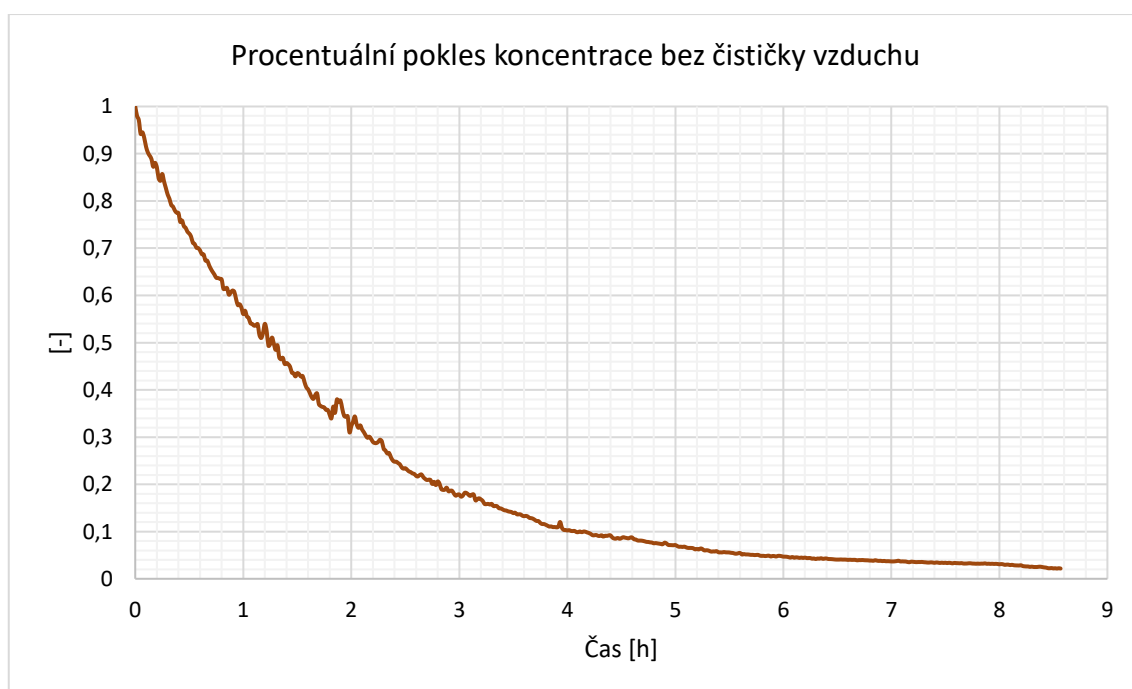
- Režim Medium, ideální poloha
- Režim Medium, nevhodná poloha
- Režim Medium, naprosto nevhodná poloha

7.4 Vyhodnocení účinnosti čističek vzduchu

Při experimentu v uzavřené místnosti (obývací pokoj) bylo provedeno několik měření bez čističky a se zapnutými čističkami v různých provozních režimech. Výsledky jednotlivých měření jsou interpretovány ve formě procentuálního poklesu počáteční koncentrace tuhých částic. Důvodem tohoto vyhodnocení byly mírně odlišné počáteční koncentrace tuhých částic. Všechny naměřené hodnoty a početní koncentrace jsou uvedeny v příloze.

7.4.1 Bez použití čističky

Pro porovnání samovolného poklesu koncentrace tuhých částic v uzavřené místnosti bylo provedeno měření bez čističky vzduchu, které probíhalo přibližně 8,5 hodiny. Na obrázku 53 lze pozorovat, že v místnosti klesla během experimentu koncentrace o 97 % z hodnoty 2 030 700 na 44 100 tuhých částic/litr.



Obrázek 53: Časový průběh snižování koncentrace částic bez čističky

Z tabulky 20 je patrné, že nejvyšší procentuální pokles koncentrace tuhých částic byl v prvních čtyřech hodinách, kde koncentrace klesla na přibližně 10 % původní hodnoty.

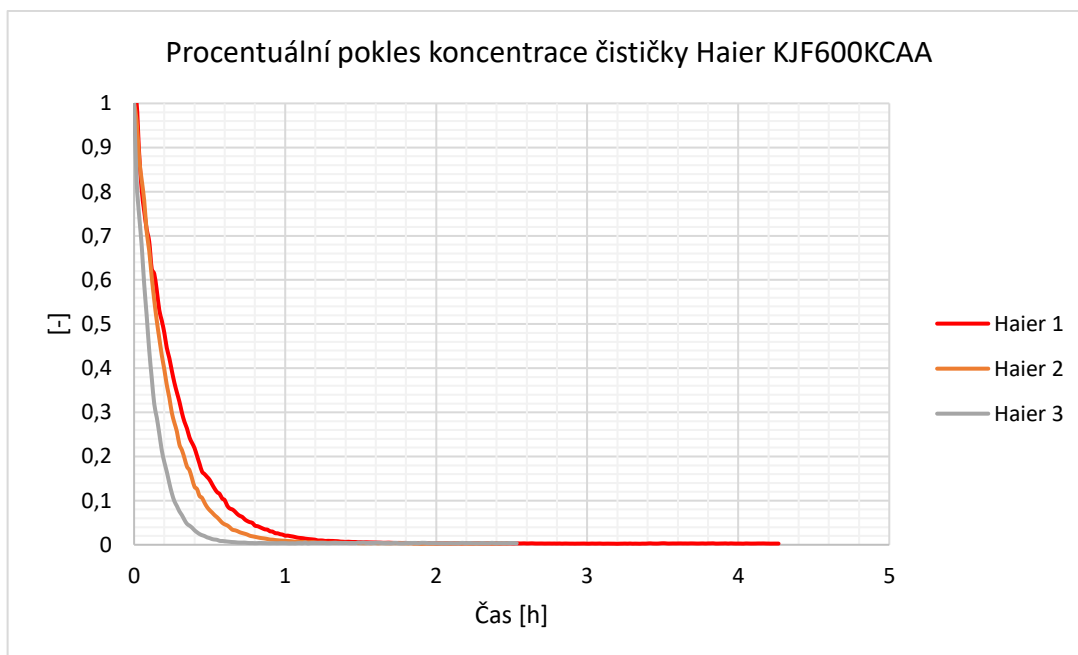
Celkem značný pokles koncentrace tuhých částic je zřejmě způsoben infiltrací starými špaletovými okny, dveřmi a usazováním částic na površích v místnosti.

Tabulka 20: Procentuální pokles snižování koncentrace částic bez čističky

Čas [h]	Bez čističky [%]
0	100
1	56,1
2	32,3
3	17,8
4	10,2
5	7,1
6	4,7
7	3,7
8	3,1

7.4.2 Použití čističky Haier KJF600KCAA

Výrobce čističky Haier KJF600KCAA nijak blíže nspecifikoval jednotlivé režimy, takže při experimentu byly otestovány všechny tři. Na obrázku 54 je vidět porovnání všech tří režimů, kde podle očekávání byl režim 1 nejméně účinný a naopak režim 3 s nejrychlejším chodem ventilátoru nejúčinnější. Režim 3 je ale už velmi hlasitý a při delším pobytu nebo spánku v místnosti rušivý.



Obrázek 54: Časový průběh snižování koncentrace částic s čističkou Haier KJF600KCAA

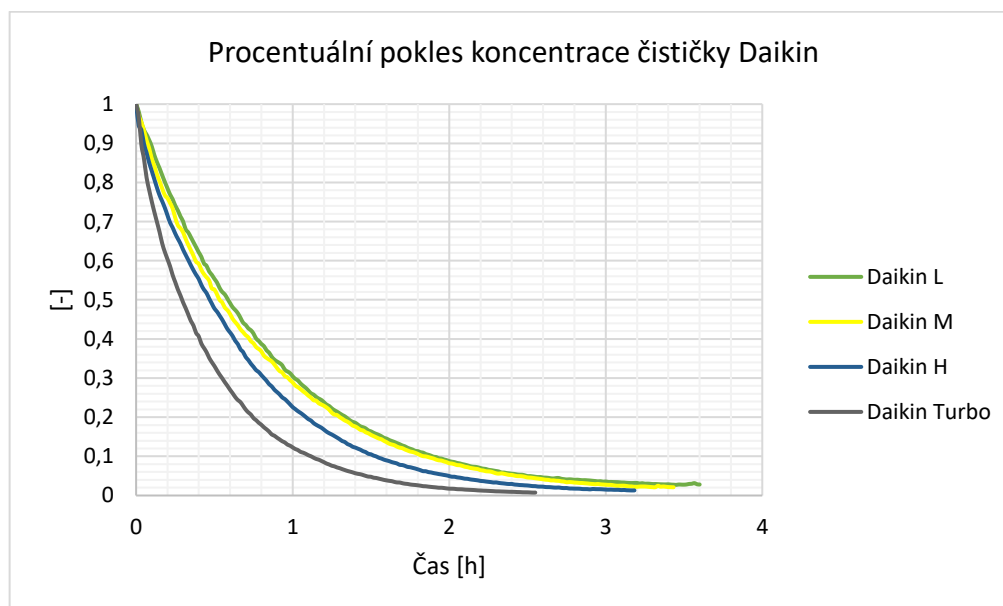
V režimu 1 již po půl hodině klesla původní koncentrace tuhých částic na 14,7 %, což lze vidět v tabulce 21. Jelikož byl pokles u režimu 1 takto rychlý a po dvou hodinách se už víceméně neměnil, tak pro režimy 2 a 3 experiment trval pouze dvě hodiny. Ve všech případech se po dvou hodinách hodnota koncentrace dostala na méně než 1 % původní koncentrace.

Tabulka 21: Procentuální pokles snižování koncentrace částic pro čističku Haier KJF600KCAA

Čas [h]	Režim 1 [%]	Režim 2 [%]	Režim 3 [%]
0	100	100	100
0,5	14,7	7,8	1,5
1	2,1	0,89	0,37
1,5	0,58	0,36	0,42
2	0,33	0,27	0,35
3	0,25	-	-
4	0,26	-	-

7.4.3 Použití čističky Daikin MC 707 VC

Při experimentu s čističkou Daikin MC 707 VC byly vyzkoušeny celkem čtyři režimy. Pro danou místnost s objemem 50 m³ je dle doporučení výrobce vhodný režim L, který má průtok vzduchu 120 m³/h. Z obrázku 55 je patrné, že všechny čtyři režimy mají podobný průběh a dle očekávání se s vyšším režimem čističky zvyšuje i její účinnost. Nevýhodou zvyšujícího se režimu je hluk, který může být při delším pobytu v místnosti rušivý.



Obrázek 55: Časový průběh snižování koncentrace částic s čističkou Daikin MC 707 VC

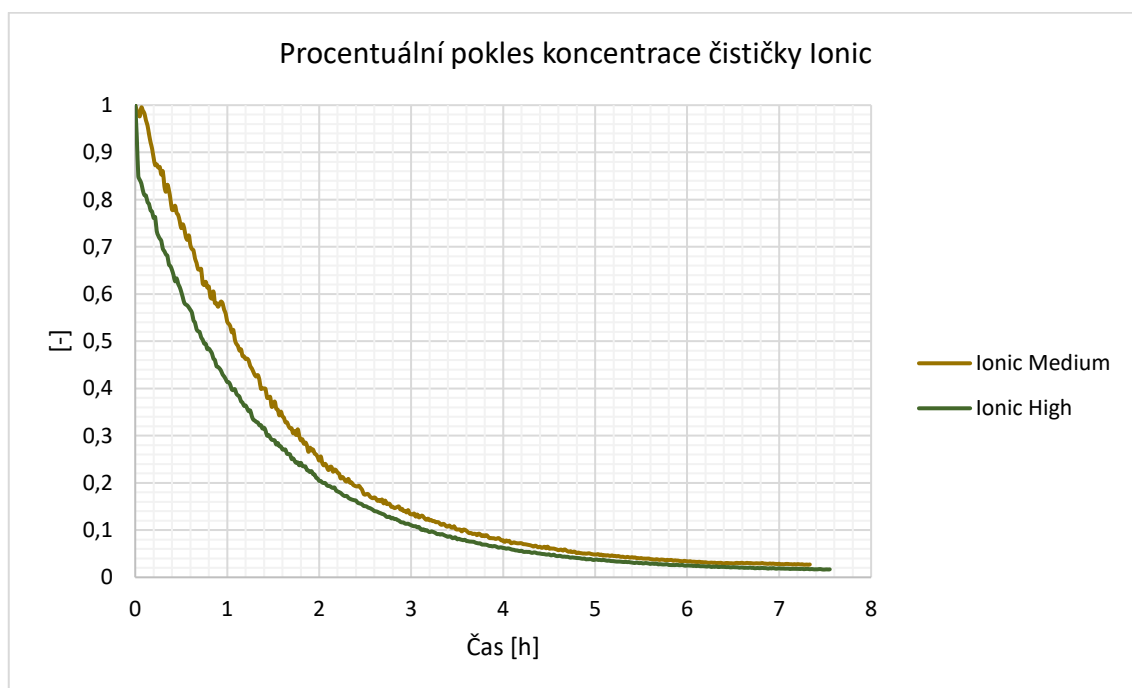
Při doporučeném režimu L byl po půl hodině procentuální pokles koncentrace tuhých částic na hodnotě 55,4 %. Naopak režim Turbo za stejný čas snížil původní koncentraci na 33,1 %. Ostatní hodnoty jsou v tabulce 22.

Tabulka 22: Procentuální pokles snižování koncentrace částic pro čističku Daikin MC 707 VC

Čas [h]	Režim L [%]	Režim M [%]	Režim H [%]	Režim Turbo [%]
0	100	100	100	100
0,5	55,4	52,6	47,8	33,1
1	30,5	28,9	22,6	12,3
2	8,8	8,2	5,0	1,7
3	3,6	2,8	1,5	-

7.4.4 Použití čističky Ionic CARE Triton X6

K vyhodnocení účinnosti této čističky byly využity režimy Medium a High. Režim Medium byl vybrán dle doporučení výrobce pro rozlohu místnosti do 50 m² a režim High dle obecného doporučení tak, aby byl průtok vzduchu alespoň 2x - 3x větší než objem místnosti. Na obrázku 56 je průběh poklesu koncentrace částic pro oba režimy.



Obrázek 56: Časový průběh snižování koncentrace částic s čističkou Ionic CARE Triton X6

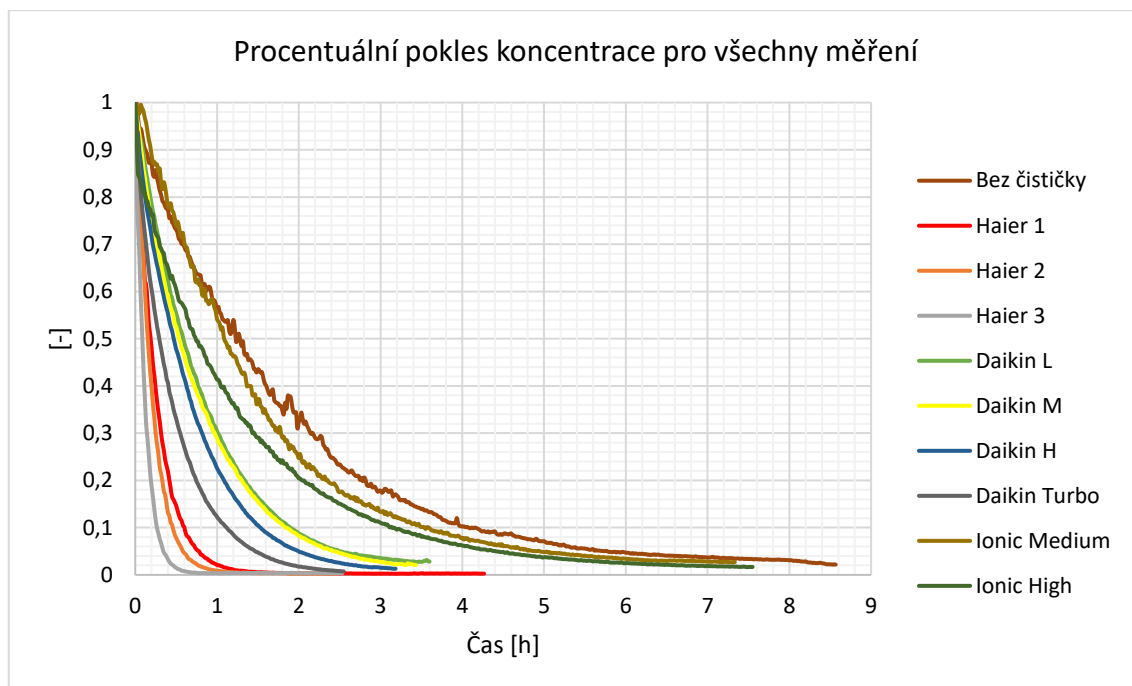
Z tabulky 23 je zřejmé, že čistička Ionic CARE Triton X6 má nižší účinnost než předchozí dvě čističky. Po půl hodině měření klesla původní koncentrace tuhých částic v místnosti pro doporučený režim Medium na 73,9 %. Nejrychlejší pokles původní koncentrace tuhých částic měla čistička během prvních tří hodin měření. Oba otestované režimy měly podobný průběh, ale podle očekávání je režim High účinnější.

Tabulka 23: Procentuální pokles snižování koncentrace částic pro čističku Ionic CARE Triton X6

Čas [h]	Režim Medium [%]	Režim High [%]
0	100	100
0,5	73,9	60,5
1	54,1	41,4
2	24,7	20,4
3	13,4	11,0
4	7,8	6,2
5	4,8	3,7
6	3,4	2,5
7	2,9	1,9

7.4.5 Celkové vyhodnocení účinnosti čističek

Na obrázku 57 jsou zobrazeny všechny procentuální poklesy koncentrace tuhých částic pro různé režimy zkoušených čističek. Nejvyšší účinnost snižování koncentrace tuhých částic byla u čističky Haier KJF600KCAA pro režim 3. Naopak nejnižší účinnost byla u čističky Ionic CARE Triton X6 pro režim Medium, ovšem u této čističky je výhodou bezhlučný provoz bez nutnosti výměny filtru po zanesení. Čistička Daikin MC 707 VC se nachází mezi čističkou Haier a Ionic, kde nejúčinnější byl režim Turbo. Pro experiment bez čističky vzduchu je možné z grafického vyhodnocení pozorovat velký vliv usazování tuhých částic na povrchy v místnosti, kdy se po 5 hodinách samovolně snížila koncentrace pod 10 %.



Obrázek 57: Časový průběh snižování koncentrace částic v uzavřeném prostoru

V tabulce 24 je porovnán procentuální pokles snižování koncentrace částic v uzavřeném prostoru u jednotlivých čističek při různých režimech.

Po celkovém porovnání je patrné, že čistička vzduchu Haier KJF600KCAA má zřejmě kvalitní HEPA filtr, který umožňuje rychlé vyčištění prostoru. U několikastupňové čističky Daikin MC 707 VC je z hlediska snižování koncentrace tuhých částic zřejmě rozhodující nižší kvalita prachového filtru než u čističky Haier KJF600KCAA. Nejméně výkonná byla dle očekávání čistička Ionic CARE Triton X6, která je vybavena pouze elektrostatickým filtrem. Při porovnání s průběhem poklesu koncentrace samovolně bez použití čističky se ukazuje jen o málo pomalejší pokles než při použití čističky Ionic CARE Triton X6 při režimu Medium. Pravděpodobně při poloze bytu v relativně čisté oblasti se tak projevuje značný vliv infiltrace starými okny a usazování částic na površích v místnosti.

Tabulka 24: Procentuální pokles snižování koncentrace částic v uzavřeném prostoru

Čas [h]	Bez čističky [%]	Haier KJF600KCAA [%]			Daikin MC 707 VC [%]				Ionic CARE Triton X6 [%]	
		1	2	3	L	M	H	Turbo	Medium	High
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,5	73,1	14,7	7,8	1,5	55,4	52,6	47,8	33,1	73,9	60,5
1	56,1	2,1	0,89	0,37	30,5	28,9	22,6	12,3	54,1	41,4
2	32,3	0,33	0,27	0,35	8,8	8,2	5,0	1,7	24,7	20,4
3	17,8	0,25	-	-	3,6	2,8	1,5	-	13,4	11,0
4	10,2	0,26	-	-	-	-	-	-	7,8	6,2
5	7,1	-	-	-	-	-	-	-	4,8	3,7
6	4,7	-	-	-	-	-	-	-	3,4	2,5
7	3,7	-	-	-	-	-	-	-	2,9	1,9
8	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

7.5 Vliv umístění na funkci čističek vzduchu

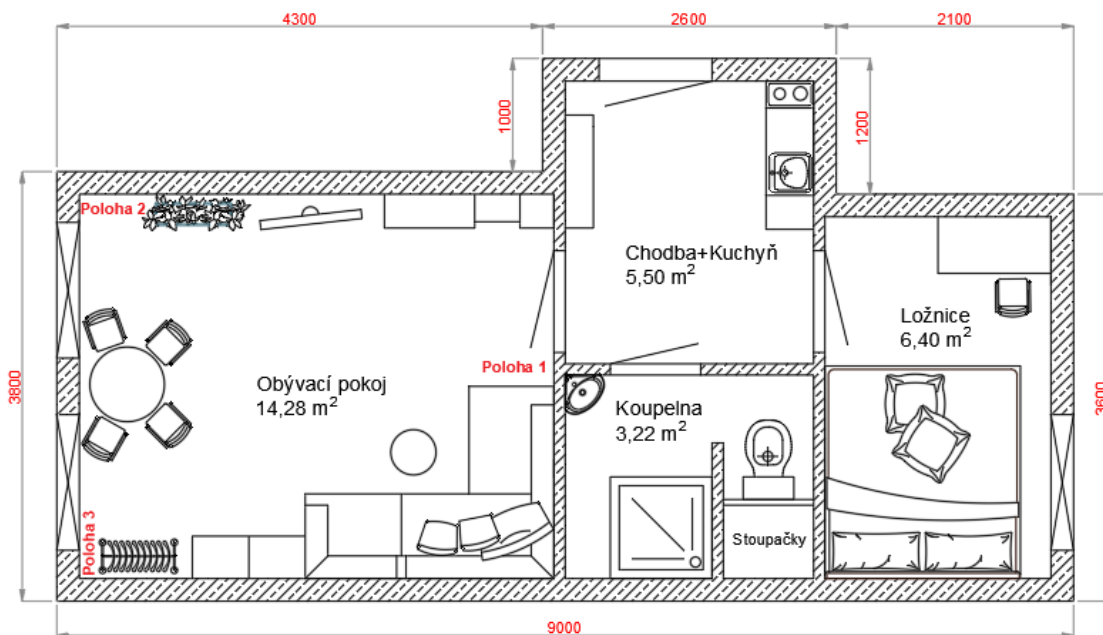
Další část experimentu se zabývala vlivem umístění čističky na její funkci. Měření bylo provedeno pro čističky Haier KJF600KCAA s režimem 2, Daikin MC 707 VC s režimem H a Ionic CARE Triton X6 s režimem Medium. Všechny tři testované polohy čističek jsou označené na obrázku 58.

Poloha 1 simulovala ideální místo dle doporučujících zásad, kdy byly čističky vzduchu umístěné vedle sedačky ve volném prostoru směrem ke středu místnosti. Čistička Daikin MC 707 VC byla umístěna ve výšce 50 cm nad zemí a čistička Haier KJF600KCAA a Ionic CARE Triton X6 na podlaze, tak aby výdechový otvor byl přibližně ve výšce pasu.

Poloha 2 simulovala nevhodné místo, a to z důvodu umístění pod oknem v rohu vedle otopného tělesa. Čistička byly umístěny ve stejné výšce jako u polohy 1.

Poloha 3 simulovala naprosto nevhodné místo pro umístění čističky vzduchu. Čističky byly postaveny na zemi za věšákem, kde byly částečně obklopeny oblečením na věšáku a taškami.

I v této části šlo o experiment v uzavřené místnosti, kdy na počátku byla koncentrace zvýšena pomocí dvou vonných tyčinek jako při předchozím měření.



Obrázek 58: Polohy čističek při experimentu

Na obrázcích 59 až 64 je zobrazena poloha 2 a 3 pro jednotlivé čističky vzduchu.



Obrázek 59: Haier KJF600KCAA –
Poloha 2



Obrázek 60: Haier KJF600KCAA –
Poloha 3



Obrázek 61: Daikin MC 707 VC –
Poloha 2



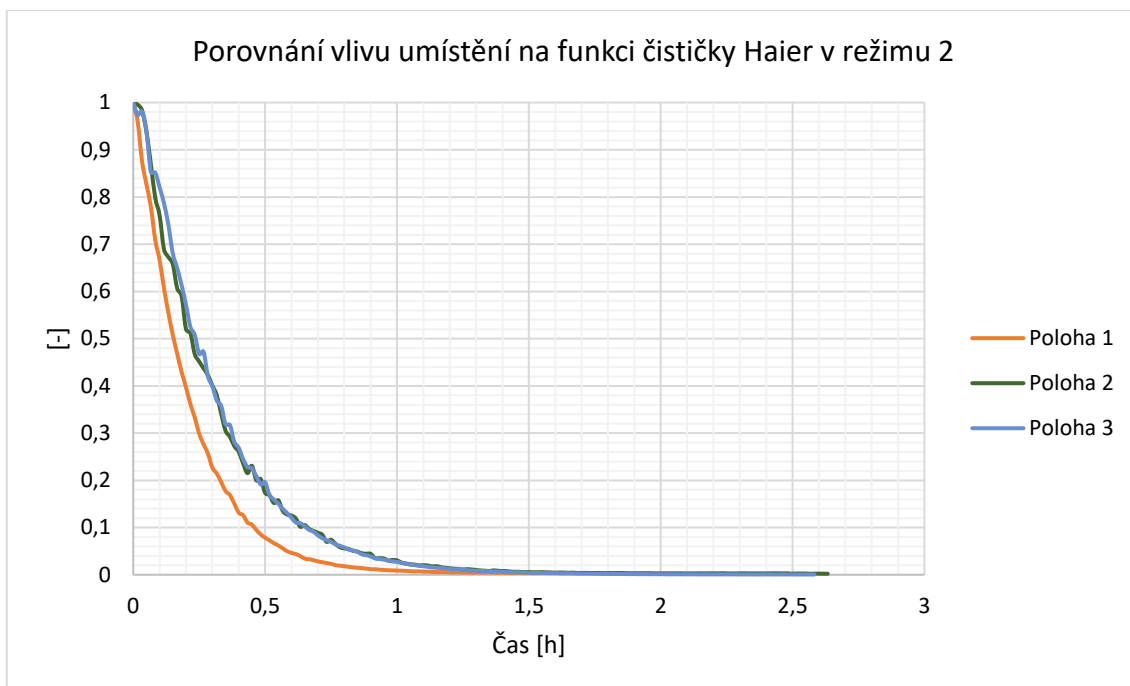
Obrázek 62: Daikin MC 707 VC –
Poloha 3



Obrázek 63: Ionic CARE Triton X6 –
Poloha 2



Obrázek 64: Ionic CARE Triton X6 –
Poloha 3

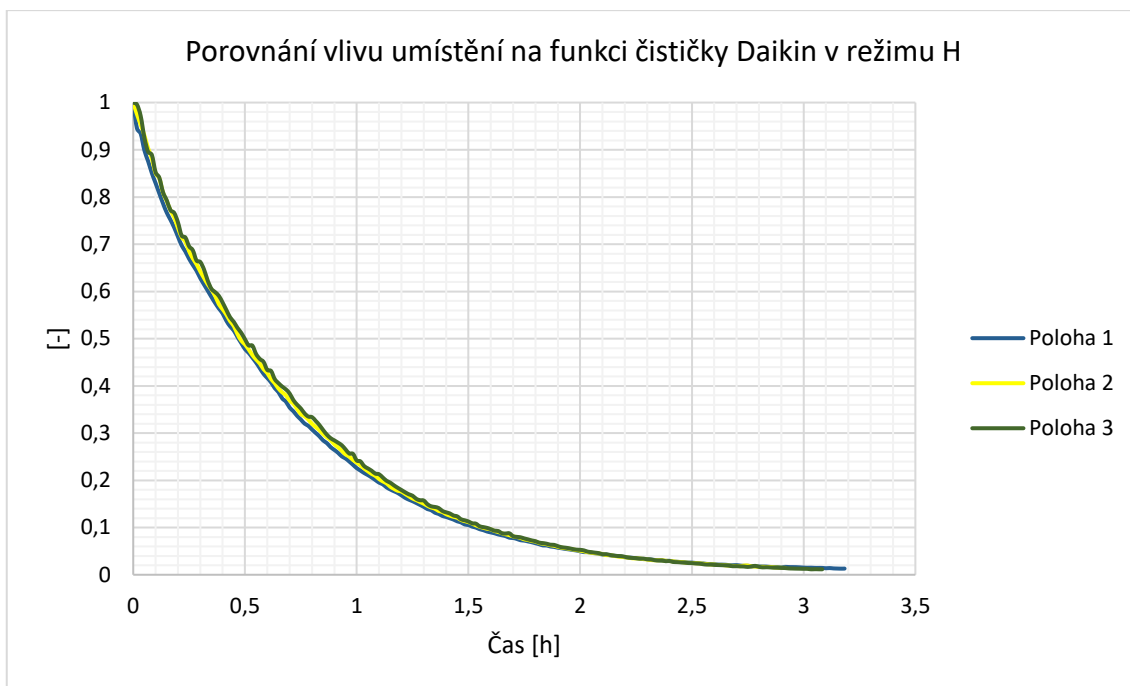


Obrázek 65: Časový průběh snižování koncentrace částic pro různá umístění čističky Haier KJF600KCAA

Z grafické závislosti na obrázku 65 vyplývá, že čistička vzduchu Haier KJF600KCAA byla neúčinnější při poloze 1 (ideální poloha). Polohy 2 (nevhodná poloha) a 3 (naprosto nevhodná poloha) měly prakticky stejný průběh snižování koncentrace tuhých částic, nicméně při poloze 2 byl tento pokles zpočátku mírně rychlejší. Z tabulky 25 je možné vidět, že čistička vzduchu v poloze 1 snížila koncentraci po půl hodině na 7,8 %, v poloze 2 na 17,3 % a v poloze 3 na 19,6 % původní koncentrace částic. Po více jak 1,5 hodině klesla koncentrace oproti původní pod 1 % a to pro všechny tři polohy.

Tabulka 25: Procentuální pokles snižování koncentrace částic pro čističku Haier KJF600KCAA v závislosti na poloze

Čas [h]	Poloha 1	Poloha 2	Poloha 3
0	100	100	100
0,5	7,8	17,3	19,6
1	0,89	3,1	2,7
1,5	0,36	0,57	0,43
2	0,27	0,27	0,12

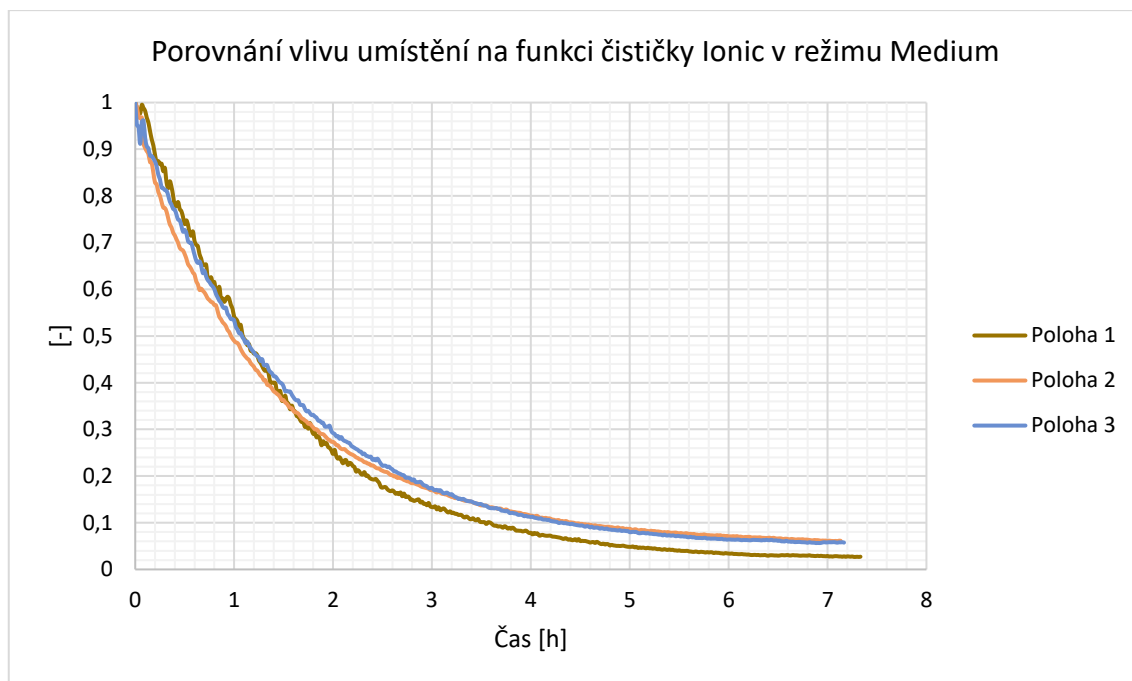


Obrázek 66: Časový průběh snižování koncentrace částic pro různá umístění čističky Daikin MC 707 VC

Pro čističku Daikin MC 707 VC je z obrázku 66 zřejmé, že pokles koncentrace tuhých částic se u všech tří poloh lišil minimálně. Dle očekávání byl nejrychlejší pokles při poloze 1, nicméně jen mírně. Po půl hodině byla původní koncentrace na 47,8 %. Pro polohu 2 byla po stejném době na 48,8 % a poslední a zároveň nejméně vhodná poloha na 49,9 % původní koncentrace. Po 2,5 hodině se hodnoty ustálily přibližně na 2,5 % počáteční koncentrace pro všechny tři polohy.

Tabulka 26: Procentuální pokles snižování koncentrace částic pro čističku Daikin MC 707 VC v závislosti na poloze

Čas [h]	Poloha 1	Poloha 2	Poloha 3
0	100	100	100
0,5	47,8	48,8	49,9
1	22,6	23,8	24,2
1,5	10,5	11,1	11,3
2	5,0	5,1	5,3
2,5	2,6	2,5	2,5



Obrázek 67: Časový průběh snižování koncentrace částic pro různá umístění čističky Ionic CARE Triton X6

U čističky Ionic CARE Triton X6 se ukázalo, že po hodině měření byl o malou část nejrychlejší pokles koncentrace tuhých částic pro polohu 2, kde původní koncentrace klesla na 49 %. Za stejný čas pro polohu 1 klesla koncentrace na 54,1 % a pro polohu 3 na 53,4 %. Na obrázku 67 a v tabulce 27 je možné sledovat, že po 2 hodinách experimentu se výhodnost jednotlivých poloh změnila. Pro polohu 1 klesla koncentrace tuhých částic na 24,7 %, pro polohu 2 na 27,3 % a pro polohu 3 na 29,2 %. Od tohoto okamžiku až do konce měření byla ze všech tří poloh poloha 1 nejúčinnější.

Tabulka 27: Procentuální pokles snižování koncentrace částic pro čističku Ionic CARE Triton X6 v závislosti na poloze

Čas [h]	Poloha 1	Poloha 2	Poloha 3
0	100	100	100
0,5	74,0	67,5	72,7
1	54,1	49,0	53,4
2	24,7	27,3	29,2
3	13,4	17,0	17,5
4	7,8	11,5	11,2
5	4,8	8,7	8,0
6	3,4	7,1	6,4
7	2,9	6,1	5,8

Při porovnání všech tří čističek vzduchu je patrné, že ideální poloha byla dle očekávání neúčinnější. Při nevhodném umístění čističek bylo ale možné vidět, že v relativně malé místnosti tyto čističky fungují jen o něco málo hůře než při ideální poloze a vliv umístění čističky není až tak výrazný.

7.6 Experiment při běžném provozu domácnosti

V této části experimentu bylo cílem porovnání jednotlivých čističek vzduchu při běžném provozu domácnosti. Dveře mezi jednotlivými místnostmi byly po dobu měření stále otevřené a v bytě se pohybovaly dvě osoby. Objem celého prostoru bytu je 102,9 m³. Na začátku každého měření bylo 5 minut větráno. Ihned po větrání byl spuštěn analyzátor Grimm 1.109 pro zaznamenávání koncentrace aerosolů a přístroj Wöhler CDL 210 pro záznam koncentrace CO₂. Vzorkování u těchto dvou přístrojů bylo nastaveno stejně jako u experimentu s uzavřenou místností (1 minuta). Koncentrace CO₂ byla sledována informativně, ale nakonec byla také vyhodnocena. Vliv koncentrace CO₂ na zdraví člověka je v tabulce 28.

Při samotném experimentu bylo nejprve provedeno měření bez čističky, aby byl vidět přirozený pokles jako v případě měření v uzavřené místnosti. Dále bylo provedeno měření s čističkou Haier KJF600KCAA v režimu 1, Daikin MC 707 v režimu H a Ionic CARE Triton X6 v režimu High. Jednotlivé režimy odpovídají režimu doporučeným výrobcem čističek dle objemu celého prostoru bytu.

Čističky byly během měření umístěny nejprve na ideálním místě vedle sedačky a pak na nevhodném místě vedle topného tělesa přesně tak, jako v předchozím experimentu. Režim domácích činností, který byl dodržován u všech jednotlivých měření, je v tabulce 29. Použití vonné tyčinky simulovalo uživatele bytu, který takto produkuje znečišťující látky a kde by čističky vzduchu měly nacházet obecně uplatnění. K maximální koncentraci po zapálení vonné tyčinky se vztahovaly i všechny naměřené hodnoty pro zobrazení poměrné změny koncentrace.

Tabulka 28: Vliv koncentrace CO₂ na zdraví člověka [19]

Koncentrace CO ₂ [ppm]	Účinky na lidský organismus
350 – 400	Úroveň venkovního prostředí
do 1 000	Doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1 200 – 1 500	Doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1 000 – 2 000	Nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2 000 – 5 000	Nastávají možné bolesti hlavy
5 000	Maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5 000	Nevolnost a zvýšený tep
> 15 000	Dýchací potíže
> 40 000	Možná ztráta vědomí

Tabulka 29: Režim činností při měření

Délka měřeného úseku	Popis činností
0 – 30 minut	Práce na PC
30 – 60 minut	Zapálená vonná tyčinka, bez rozvíření vzduchu v bytě
60 – 180 minut	Běžné domácí aktivity (vysávání, učení, vaření)
180 – 185 minut	Větrání
185 – 245 minut	Oběd, klidový režim
245 – 260 minut	Zapálená vonná tyčinka, bez rozvíření vzduchu v bytě
260 – 320 minut	Běžné domácí aktivity
320 – 325 minut	Větrání
325 – 385 minut	Klidový režim

Jednotlivá měření při běžném provozu domácnosti:

Bez čističky vzduchu

Haier KJF600KCAA

- Režim 1, ideální poloha
- Režim 1, nevhodná poloha

Daikin MC 707 VC

- Režim H, ideální poloha
- Režim H, nevhodná poloha

Ionic CARE Triton X6

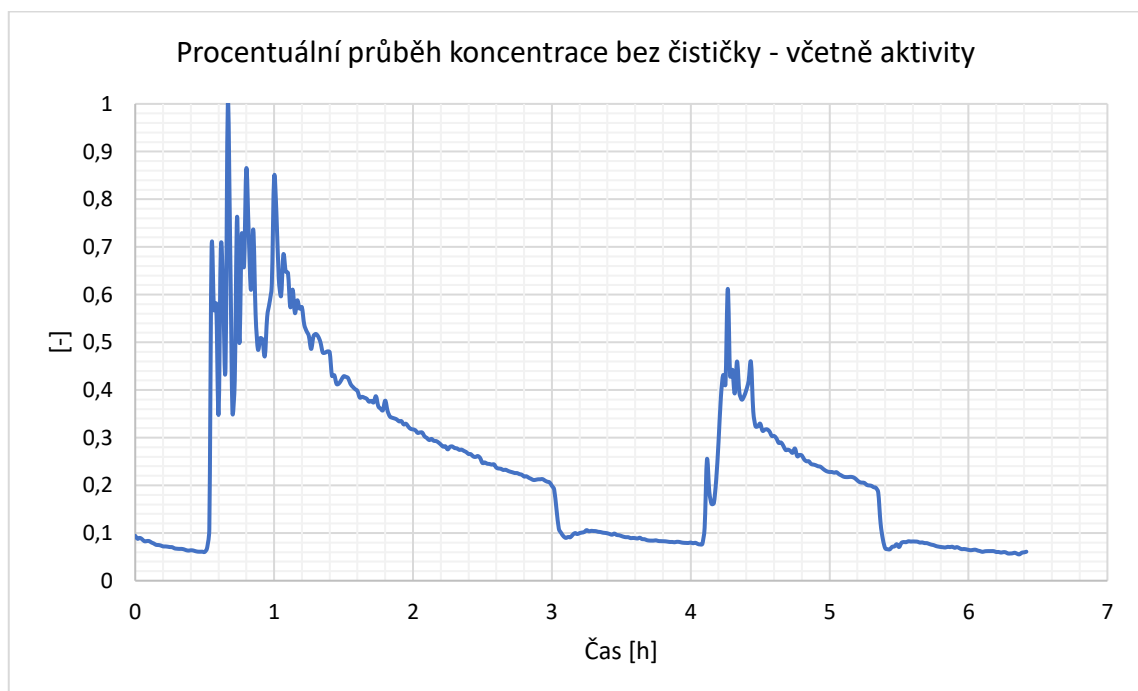
- Režim High, ideální poloha
- Režim High, nevhodná poloha

Pokles koncentrace částic při otevřeném okně

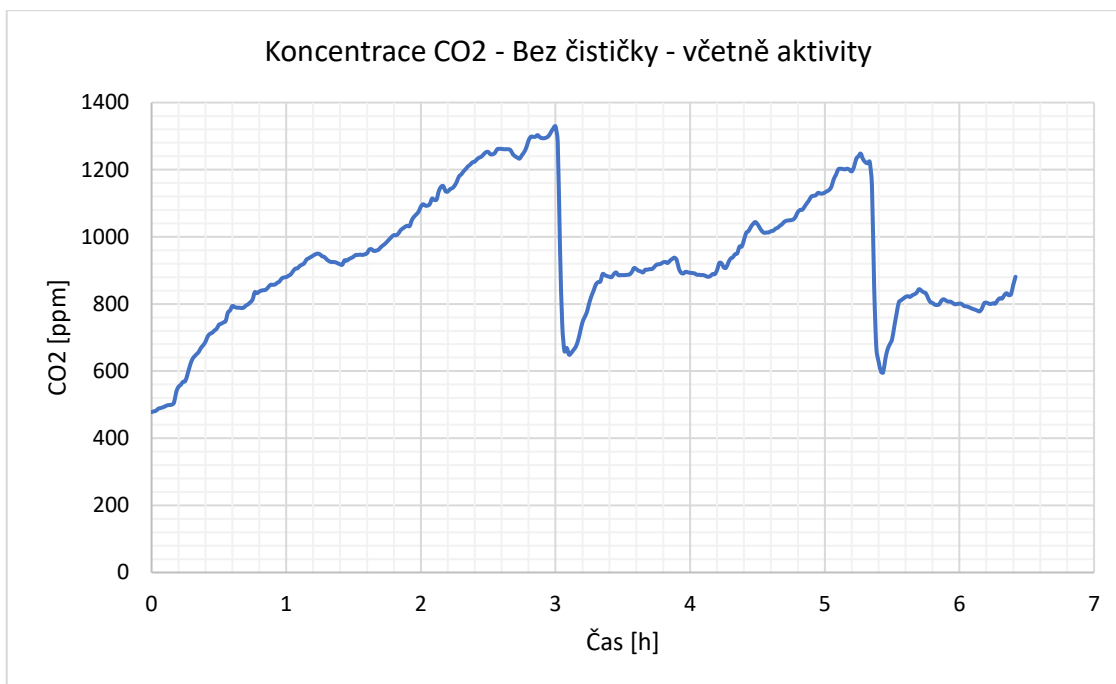
Porovnání poklesu částic PM_{2,5} mezi čističkou Haier KJF600KCAA a analyzátozem Grimm 1.109

Bez čističky vzduchu

Na obrázku 68 je graficky znázorněn přirozený průběh koncentrace tuhých částic v čase bez čističky vzduchu pro režim uvedený v tabulce 29. Při porovnání s výsledkem měření v uzavřené místnosti, které je zobrazené na obrázku 53, je zřejmé, že pokles koncentrace tuhých částic probíhal s podobnou intenzitou. Po 3 hodinách v uzavřené místnosti klesla koncentrace částic na 17,8 % a při otevřené místnosti včetně domácích aktivit na 19,9 %, což je odpovídající. Stejně jako při experimentu v uzavřené místnosti docházelo k infiltraci starými okny v obývacím pokoji a usazování částic na různé povrchy v bytě. Vždy po otevření oken docházelo k rychlému poklesu koncentrace tuhých částic. Časový průběh koncentrace CO₂ je na obrázku 69. Koncentrace CO₂ se během prvních tří hodin experimentu zvýšila přibližně na hodnotu 1 300 ppm. Po větrání, které trvalo 5 minut, klesla koncentrace CO₂ na hodnoty mezi 600 až 700 ppm. Podobný průběh byl zaznamenán i pro druhou polovinu experimentu po dalším zvýšení koncentrace pomocí zápalné vonné tyčinky.



Obrázek 68: Časový průběh koncentrace částic bez čističky – včetně aktivity



Obrázek 69: Časový průběh koncentrace CO₂ bez čističky – včetně aktivity

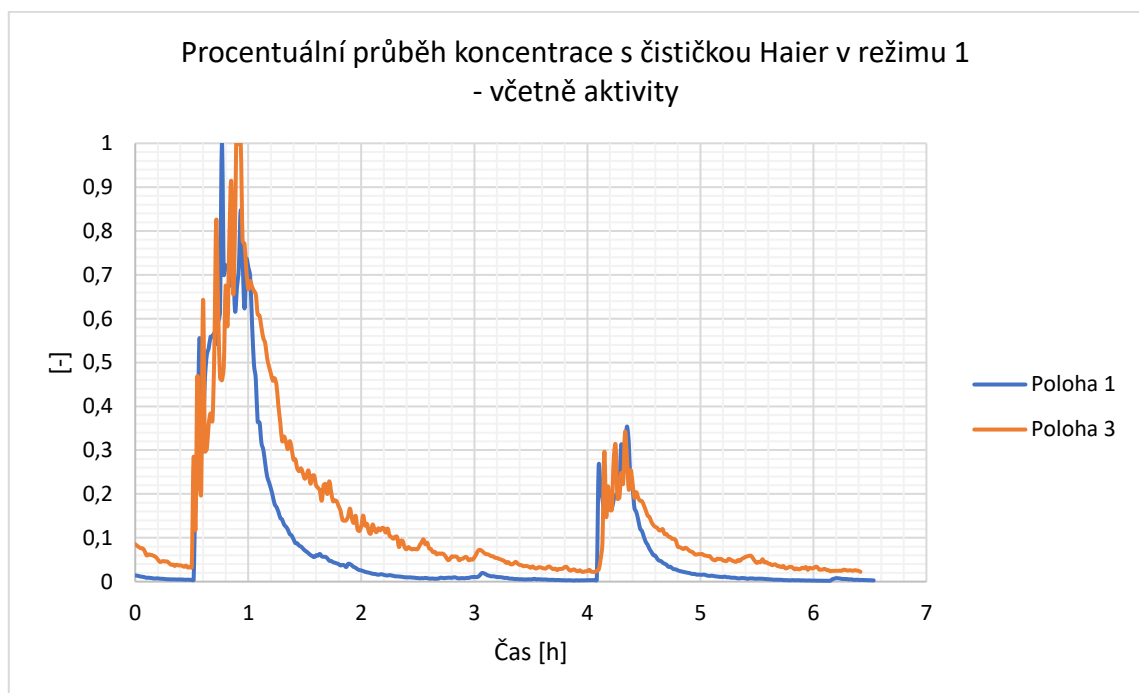
Čistička vzduchu Haier KJF600KCAA

Na obrázku 70 je graficky znázorněn průběh koncentrace tuhých částic v čase s čističkou vzduchu Haier KJF600KCAA pro režim uvedený v tabulce 29. Pro obě polohy byla čistička vzduchu nastavena na režim 1. Časový průběh koncentrace CO₂ je na obrázku 71. Na první pohled je patrné, že při umístění čističky do polohy 1 (ideální poloha) byl procentuální pokles koncentrace tuhých částic rychlejší než při nevhodné poloze 3. Po 3 hodinách od prvního zvýšení koncentrace tuhých částic pomocí vonné tyčinky klesla koncentrace u polohy 1 na 1,1 % a u polohy 3 na 5,5 % maximální hodnoty.

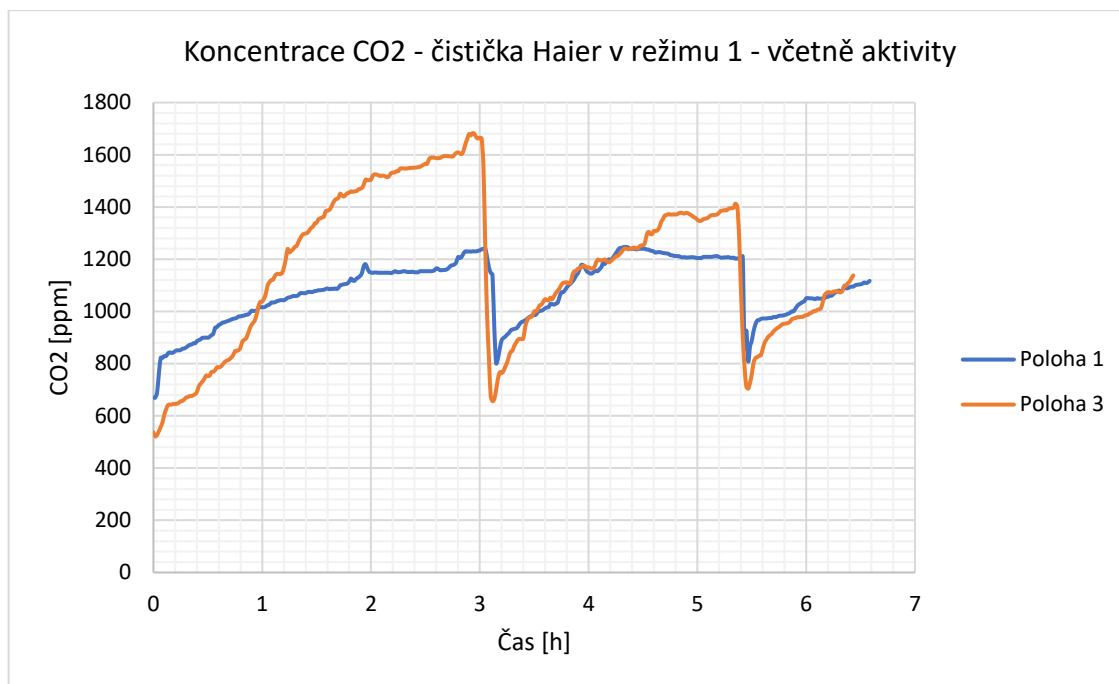
Naopak koncentrace CO₂ dosahovala po třech hodinách u polohy 1 hodnoty 1 234 ppm a u polohy 3 hodnoty 1 665 ppm. Pravděpodobně to bylo způsobeno tím, že při umístění čističky do ideální polohy (poloha 1) docházelo díky ventilátoru v čističce k intenzivnější výměně a promíchávání vzduchu. Následovalo pětiminutové větrání, kde je vidět na obrázku 70 menší nárůst koncentrace tuhých částic u obou poloh, díky tomu, že čistička vzduch uvnitř vyčistila velmi dobře až pod úroveň znečištění venku v této relativně čisté lokalitě. Ve stejnou dobu se skokově snížila i koncentrace CO₂, kdy hodnoty klesly na

600 – 800 ppm pro obě polohy. Po zavření okna se koncentrace CO₂ začala dle očekávání zvyšovat, což bylo způsobeno pobytem dvou osob v bytě.

Při druhém zvýšení koncentrace tuhých částic pomocí vonné tyčinky se koncentrace tuhých částic zvýšila na přibližně 35 % pro obě polohy, tudíž pokles na podobné hodnoty jako po prvním zvýšení koncentrace trval už jen přibližně 1,5 hodiny. Na konci experimentu byla hodnota koncentrace tuhých částic pro polohu 1 ustálena na hodnotě 3 100 částic/l a pro polohu 2 na hodnotě 14 500 částic/l.



Obrázek 70: Časový průběh koncentrace částic s čističkou Haier KJF600KCAA – včetně aktivity



Obrázek 71: Časový průběh koncentrace CO₂ s čističkou Haier KJF600KCAA – včetně aktivity

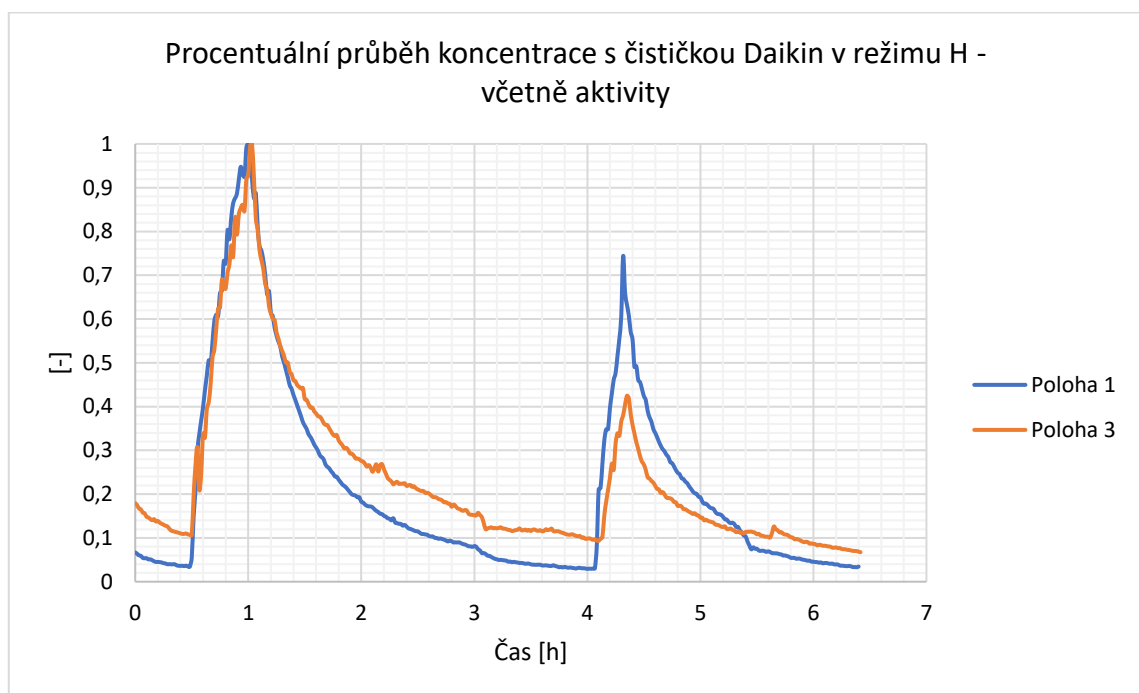
Čistička vzduchu Daikin MC 707 VC

Na obrázku 72 je graficky znázorněn průběh koncentrace tuhých částic v čase s čističkou vzduchu Daikin MC 707 VC pro režim uvedený v tabulce 29. Pro obě polohy byla čistička vzduchu nastavena na režim H. Časový průběh koncentrace CO₂ je na obrázku 73. Na první pohled je patrné, že při umístění čističky do polohy 1 (ideální poloha) byl procentuální pokles koncentrace tuhých částic mírně rychlejší než při nevhodné poloze 3. Po 3 hodinách od prvního zvýšení koncentrace tuhých částic pomocí vonné tyčinky klesla koncentrace u polohy 1 na 8,1 % a u polohy 3 na 15,2 % maximální hodnoty.

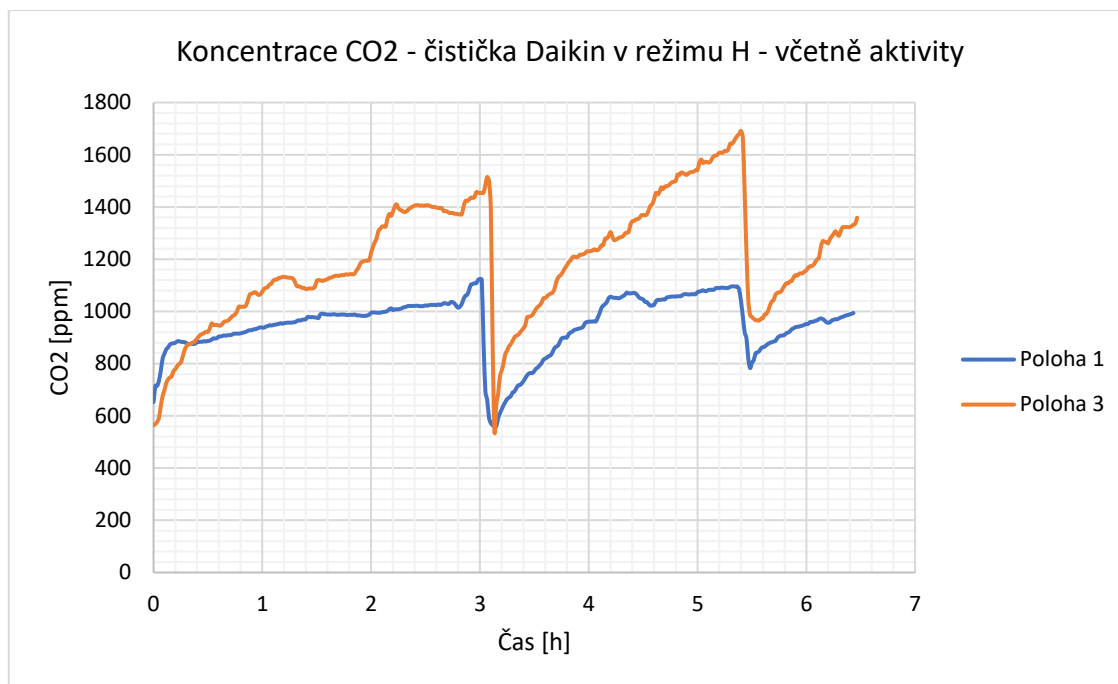
Naopak koncentrace CO₂ dosahovala po třech hodinách u polohy 1 hodnoty 1 124 ppm a u polohy 3 hodnoty 1 454 ppm. Hodnoty koncentrace CO₂ vycházely podobně jako u předchozí čističky Haier KJF600KCAA, která byla taktéž vybavena ventilátorem a kde se zřejmě projevil stejný efekt. Následovalo pětiminutové větrání a na obrázku 72 lze spatřit menší pokles koncentrace tuhých částic u obou poloh. Ve stejnou dobu se skokově snížila i koncentrace CO₂, kdy hodnoty klesly na 500 – 600 ppm pro obě polohy.

Po zavření okna se koncentrace CO₂ začala dle očekávání zvyšovat, což bylo způsobeno pobytem dvou osob v bytě.

Při druhém zvýšení koncentrace tuhých částic pomocí vonné tyčinky se koncentrace tuhých částic přibližně zvýšila u polohy 1 na 66 % a 40 % u polohy 3, tudíž pokles na podobné hodnoty jako po prvním zvýšení koncentrace trval už jen přibližně 1,5 hodiny, tedy přibližně stejnou dobu jako u předchozí testované čističky Haier KJF600KCAA. Na konci experimentu byla hodnota koncentrace tuhých částic pro polohu 1 ustálena na hodnotě 22 800 částic/l a pro polohu 2 na hodnotě 65 600 částic/l.



Obrázek 72: Časový průběh koncentrace částic s čističkou Daikin MC 707 VC – včetně aktivity



Obrázek 73: Časový průběh koncentrace CO₂ s čističkou Daikin MC 707 VC – včetně aktivity

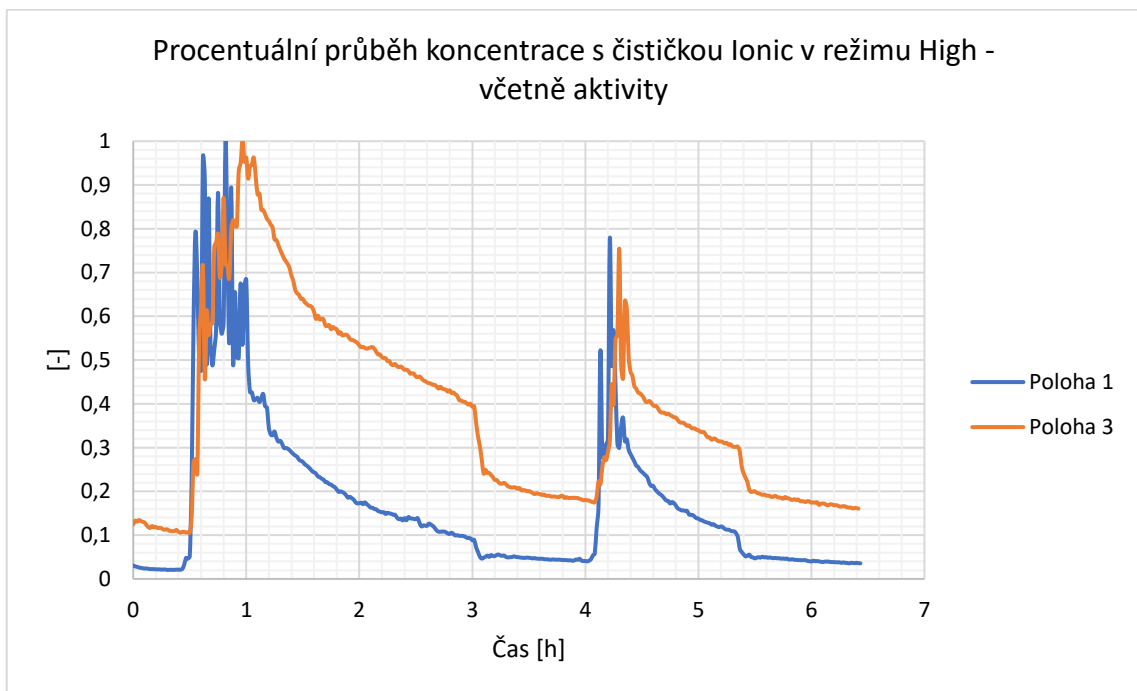
Čistička vzduchu Ionic CARE Triton X6

Na obrázku 74 je graficky znázorněn průběh koncentrace tuhých částic v čase s čističkou vzduchu Ionic CARE Triton X6 pro režim uvedený v tabulce 29. Pro obě polohy byla čistička vzduchu nastavena na režim High. Časový průběh koncentrace CO₂ je na obrázku 75. Na první pohled je patrné, že při umístění čističky do polohy 1 (ideální poloha) byl procentuální pokles koncentrace tuhých částic výrazně rychlejší než při nevhodné poloze 3. Po 3 hodinách od prvního zvýšení koncentrace tuhých částic pomocí vonné tyčinky klesla koncentrace u polohy 1 na 8,8 % a u polohy 3 na 39,3 % maximální hodnoty. Vliv umístění čističky se zde ukazuje větší než při experimentu v uzavřené místnosti, což může být způsobeno nyní použitým účinnějším režimem High, kdy se efekt nevhodného umístění zvýraznil, a také tím, že čistička není vybavena ventilátorem.

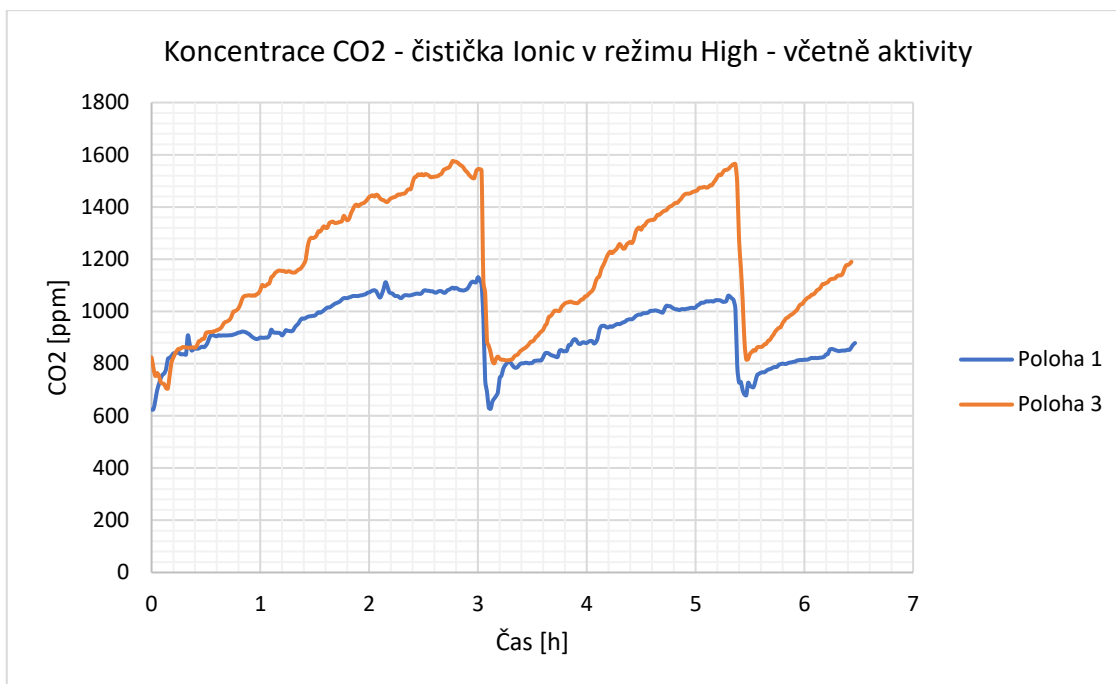
Naopak koncentrace CO₂ dosahovala u polohy 1 hodnoty 1 131 ppm a u polohy 3 hodnoty 1 545 ppm. Ukázalo se, že i u čističky vzduchu bez ventilátoru, kde je proudění zapříčiněno pouze korónovým výbojem, byla koncentrace CO₂ podobná jako u předchozích čističek vzduchu s ventilátory, takže i u této čističky se zřejmě projevil efekt lepšího promíchávání a výměny vzduchu. Následovalo pětiminutové větrání, kde

je vidět na obrázku 74 větší pokles koncentrace tuhých částic u obou poloh. V stejnou dobu se skokově snížila i koncentrace CO₂, kdy hodnoty klesly na 600 – 800 ppm pro obě polohy. Po zavření okna se koncentrace CO₂ začala dle očekávání zvyšovat, což bylo způsobeno pobytem dvou osob v bytě.

Při druhém zvýšení koncentrace tuhých částic pomocí vonné tyčinky se koncentrace tuhých částic přibližně zvýšila u polohy 1 na 77 % a 75 % u polohy 3, tudíž pokles na podobné hodnoty jako po prvním zvýšení koncentrace trval už jen přibližně 1,5 hodiny, stejně jako u předchozích dvou testovaných čističek. Na konci experimentu byla hodnota koncentrace tuhých částic pro polohu 1 ustálena na hodnotě 78 400 částic/l a pro polohu 2 na hodnotě 229 300 částic/l.



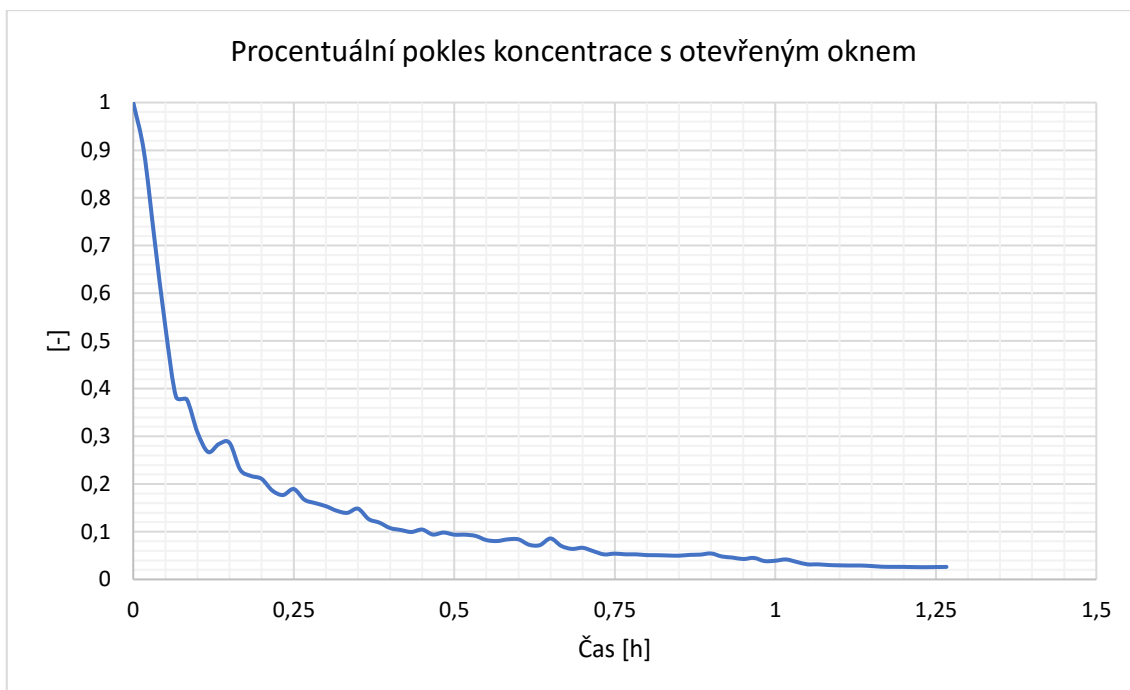
Obrázek 74: Časový průběh koncentrace částic s čističkou Ionic CARE Triton X6 – včetně aktivity



Obrázek 75: Časový průběh koncentrace CO₂ s čističkou Ionic CARE Triton X6 – včetně aktivity

7.7 Pokles koncentrace částic při otevřeném okně

Jako ukázka vlivu otevření okna a rychlosti poklesu koncentrace částic bylo provedeno kratší srovnávací měření při otevření okna v uzavřeném obývacím pokoji. Počáteční hodnota koncentrace tuhých částic byla přibližně 1 800 000 částic/l. Ze začátku byl pokles celkem rychlý, kdy po 5 minutách původní koncentrace klesla na 37,8 % a po 10 minutách na 23 %. Za 30 minut při otevřeném okně klesla koncentrace až na 10 % původní koncentrace, což je znázorněné na obrázku 76. Ukazuje se, že při plném otevření okna v relativně malé místnosti v čisté lokalitě dochází k rychlému poklesu koncentrace. Navíc je čerstvý vzduch potřebný pro snížení koncentrace CO₂. Nicméně v době topné sezóny by takto dlouhé větrání zvyšovalo spotřebu tepla a použití čističky by tak bylo přínosné.



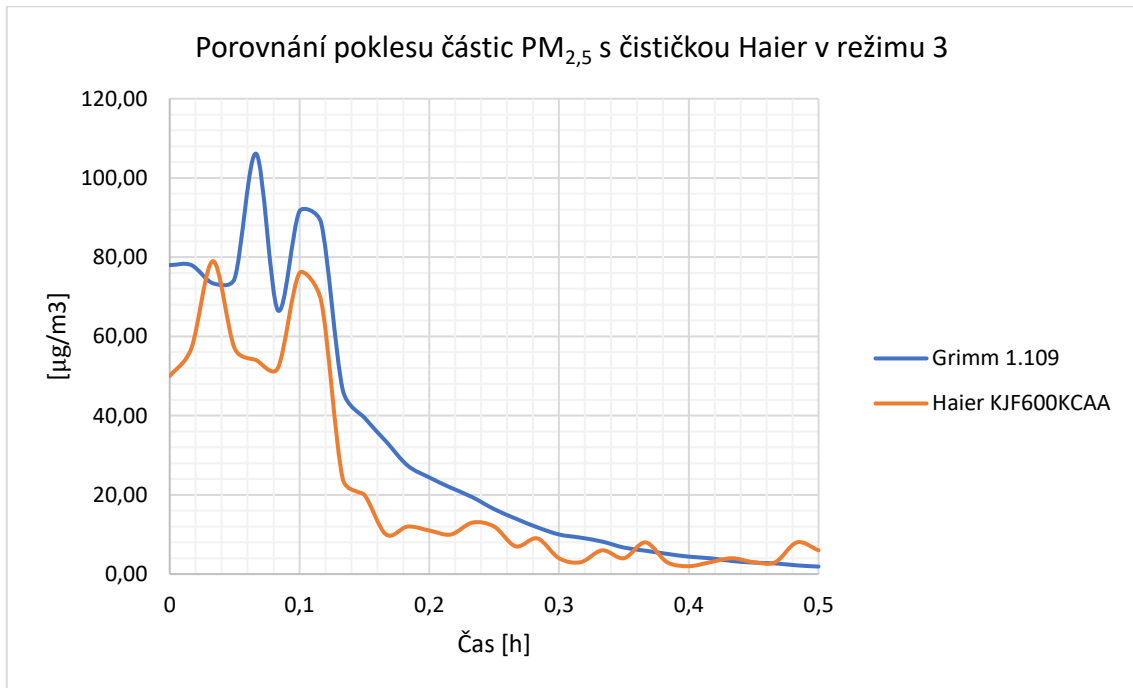
Obrázek 76: Pokles koncentrace tuhých částic při otevření okna

7.8 Ověření čidla koncentrace částic frakce $PM_{2,5}$ u čističky Haier KJF600KCAA

Čistička vzduchu jako jediná ukazuje na svém displeji aktuální hodnotu koncentrace částic frakce $PM_{2,5}$, proto bylo provedeno srovnávací měření mezi čističkou a analyzátozem Grimm 1.109. Na začátku experimentu byla pomocí vonné tyčinky zvýšena koncentrace tak, aby při postupném poklesu, pokud možno, bylo pokryto co největší spektrum hodnot. Na analyzátoru Grimm 1.109 bylo nastaveno stejné vzorkování jako v předchozím měření (1 minuta) v režimu hmotnostní koncentrace a následně vyhodnocena požadovaná frakce částic $PM_{2,5}$. U čističky Haier KJF600KCAA byly ve stejný čas každou minutu ručně zapisovány hodnoty $PM_{2,5}$. Celý experiment trval přibližně 30 minut.

Na obrázku 77 jsou porovnána obě měření. Průběh naměřených hodnot byl podobný, ale samotná čistička ukazovala hodnoty v průměru o 20 % nižší než analyzátor Grimm 1.109. Ke konci měření u nízkých koncentrací pod $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se již naměřené hodnoty na čističce i analyzátoru lišily minimálně. Zobrazované hodnoty koncentrace částic frakce $PM_{2,5}$ na čističce během měření celkem kolísaly, což může být způsobeno tím, že čistička

pravděpodobně ukazuje aktuální hodnoty, zatímco analyzátor Grimm 1.109 zprůměrované hodnoty po 1 minutě. Jelikož výrobce čističky neudává žádné bližší informace ohledně přesnosti zobrazované hodnoty koncentrace částic frakce PM_{2,5}, je nutné tyto hodnoty brát pouze jako informativní.



Obrázek 77: Porovnání údajů o koncentraci frakce částic PM_{2,5} u čističky Haier KJF600KCAA a u analyzátoru Grimm 1.109

8 Závěr

Diplomová práce je složena z teoretické a praktické experimentální části. V teoretické části je popsána teorie částic, kde jsou vysvětleny základní pojmy, zrnitost, frakce částic PM_x a zdravotní účinky na lidský organismus. Čím je velikost částic menší, tím je větší pravděpodobnost, že se dostanou hlouběji do organismu lidského těla.

Další kapitola se zabývá principy odlučování tuhých částic a jednotlivými typy odlučovačů. Součástí teoretické části práce je i kapitola o filtraci, ve které je popsáno zkoušení a třídění filtrů pro všeobecné větrání a vysoce účinných filtrů. Další kapitola teoretické části stručně popisuje hodnocení vnitřního prostředí a používané normy a předpisy v této oblasti.

V závěru teoretické části jsou popsány jednotlivé typy čističek vzduchu, jako například čističky s HEPA filtrem, s uhlíkovým filtrem, ionizátory, s elektrostatickým filtrem, s UV filtrem nebo vícestupňové čističky. Dále je zde uvedeno několik prací zabývajících se hodnocením čističek vzduchu z hlediska snižování koncentrace.

První část experimentu je věnována snižování koncentrace tuhých částic v uzavřené místnosti v bytě v Praze 2 na Vinohradech a vyhodnocení účinnosti tří testovaných čističek vzduchu – Haier KJF600KCAA vybavenou vstupním filtrem, HEPA filtrem a filtrem s aktivním uhlím, Daikin MC 707 VC se sedmistupňovým systémem čištění a Ionic CARE Triton X6 vybavenou pouze elektrostatickým filtrem.

Na začátku bylo také uskutečněno měření bez čističky vzduchu, které sloužilo jako porovnání pro přirozený pokles koncentrace. U testovaných čističek bylo provedeno měření pro různé režimy – pro Haier KJF600KCAA režim 1, 2, 3, pro Daikin MC707 VC režim L, M, H, Turbo a pro Ionic CARE Triton X6 režim Medium a High. Zdrojem znečištění byly vonné tyčinky, pomocí kterých se zvýšila koncentrace částic. Ukázalo se, že nejúčinnější snižování koncentrace tuhých částic zajistí čistička Haier KJF600KCAA, a naopak nejméně účinná byla čistička Ionic CARE Triton X6, kde při režimu Medium byl pokles jen o trochu rychlejší než pokles samovolně bez použití čističky. Pravděpodobně

při poloze bytu v relativně čisté oblasti se tak projevuje značný vliv infiltrace starými okny a usazování částic na površích v místnosti.

Další část experimentálního měření byla zaměřená na vliv polohy jednotlivých čističek vzduchu. Mezi sebou byly porovnávány tři polohy (ideální, nevhodná a naprosto nevhodná poloha). Dle očekávání byla pro všechny tři čističky nejúčinnější ideální poloha. Na druhou stranu bylo možné pozorovat, že i při umístění čističek na nevhodné místo nebyl pokles koncentrace až o tolik pomalejší než při umístění čističek v ideální poloze a vliv evidentně nevhodného umístění čističky v poměrně malé místnosti s netěsnými okny není až tak výrazný.

V další části proběhl experiment při běžném provozu domácnosti. Součástí tohoto experimentu bylo i monitorování koncentrace CO₂. Při měření byly použity čističky Haier KJF600KCAA v režimu 1, Daikin MC 707 VC v režimu H a Ionic CARE Triton X6 v režimu High. Čističky byly během tohoto experimentu umístěny nejprve na ideálním místě a pak také v další části experimentu pro porovnání na nevhodném místě. Po celém bytě se pohybovaly dvě osoby a byl dodržován stejný režim provozu domácnosti pro všechna měření. Rovněž bylo provedeno porovnávací měření bez použití čističky. Ve všech případech při umístění čističky do ideální polohy byl procentuální pokles koncentrace tuhých částic rychlejší než při nevhodné poloze. Stejně jako při experimentu v uzavřené místnosti nejúčinnější byla čistička Haier KJF600KCAA a nejméně účinná čistička Ionic CARE Triton X6 pouze s elektrostatickým filtrem bez ventilátoru, u které se také nejvíce negativně projevil vliv nevhodného umístění. Koncentrace CO₂ dosahovala u vhodné polohy cca o třetinu nižších hodnot než u nevhodné polohy. Pravděpodobně to bylo způsobeno tím, že při umístění čističky do ideální polohy docházelo díky čističce k intenzivnější výměně a promíchávání vzduchu.

Součástí experimentu bylo i měření, které se zabývalo poklesem koncentrace částic při otevření okna, kdy během 30 minut při otevřeném okně klesla koncentrace na 10 % původní koncentrace. Při plném otevření okna v relativně malé místnosti v čisté lokalitě dochází k rychlému poklesu koncentrace.

Další doplňkové měření pak bylo ověření čidla koncentrace částic frakce $PM_{2,5}$ u čističky Haier KJF600KCAA, kterým byla tato čistička vybavena, pomocí analyzátoru částic Grimm 1.109. Ukázalo se, že u čističky Haier KJF600KCAA hodnoty koncentrace částic frakce $PM_{2,5}$ celkem kolísaly a poměrně dost se lišily od hodnot naměřených pomocí analyzátoru Grimm 1.109, kdy kromě oblasti nízkých koncentrací ukazovala čistička v průměru o 20 % nižší hodnoty. Výrobce čističky Haier KJF600KCAA nikde neudává přesnost ani bližší specifikace zobrazované hodnoty koncentrace částic frakce $PM_{2,5}$, takže tyto hodnoty je lépe brát pouze jako informativní.

Všechny experimenty provedené v rámci této diplomové práce jsou detailněji vyhodnoceny na konci svých kapitol. Na závěr lze potvrdit, že čističky vzduchu jsou schopny velice dobře snižovat koncentraci tuhých znečišťujících částic ve vnitřním prostředí a zejména ve vnitřních prostorách s různými zdroji znečišťování, nebo v oblastech s vyšším znečištěním venkovního vzduchu nacházejí své využití.

9 Literatura

- [1] HEMERKA J., Odlučování tuhých částic, ČVUT, 1994, 138 s. ISBN 80-01-01088-0
- [2] HEMERKA, J., VYBÍRAL, P. Filtrace atmosférického vzduchu, ČVUT, 2011, 110 s. ISBN 978-80-01-04902-0.
- [3] Obroučka, K.: Látky znečišťující ovzduší (skripta). Ostrava, VŠB – TU 2001 ISBN 80-248-0011-X, Dostupné na: <http://homel.vsb.cz/~lih90/soubory/oo/02-01.pdf>
- [4] Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. EXPERIMENTÁLNÍ METODY V TECHNICE PROSTŘEDÍ 2005 ČVUT, ISBN 80-01-03291-4
- [5] ZDRAVOTNÍ RIZIKA ZPŮSOBENÁ ČÁSTICEMI V OVZDUŠÍ. Malina safety [online]. [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.malina-safety.cz/zdravotnirizika/zpusobena-casticemi-v-ovzdusi/>
- [6] TZB-info, Camfil s.r.o. [online]. [cit. 2020-10-18], Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/potrubi-a-jeho-soucasti/15062-pm-fracce-nejmensich-anejskodlivejsich-castic-nove-zamereni-na-ochranu-lidskeho-zdravi>
- [7] Kopřivnice – Suspendované částice a frakce [online]. [cit. 2020-10-18]. Dostupné z: <http://zivotniprostredi.koprivnice.org/index.php?art=226>
- [8] Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2020-10-18]. Ministerstvo životního prostředí České republiky. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/weather_links/Pocasi/Navody/Znecisteni/susp_castice.pdf
- [9] Projekt, Ing. Michaela Zárybnická, [online]. [cit. 2020-10-24]. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, [https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/20 Obnova-a-tvorba-ZP 52-53/52 IUT/129 Odlucovani-tuhych-castic-ve-spalinach---Zarybnicka---P1.pdf](https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/20%20Obnova-a-tvorba-ZP%2052-53/52_IUT/129_Odlucovani-tuhych-castic-ve-spalinach---Zarybnicka---P1.pdf)
- [10] Ochrana ovzduší (1. ročník NS), [online]. [cit. 2020-10-24] <http://homel.vsb.cz/~lih90/soubory/oo/04-01.pdf>

- [11] Prof. S.S. Jahagirdar, course material, Air pollution and control, [online]. [cit. 2020-10-25] Dostupné na: <http://www.slideshare.net/jshrikant/l-22-final>
- [12] Změny ve třídění vysoce účinných filtrů atmosférického vzduchu, Doc. Ing. Jiří Hemerka CSc., Ing. Pavel Vybíral Ph.D., [cit. 2021-03-23]
- [13] Kvalita vnitřního prostředí, [online]. [cit. 2020-11-15] <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/kvalita-vnitriho-prostredi>
- [14] Hygienické hodnocení škodlivin ve vnitřním ovzduší a návrh větrání, doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D., [online], [cit. 2020-11-15] Dostupné na: http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/VVI-2013-03_p098.pdf
- [15] Zákony pro lidi, [online], [cit. 2021-01-25], Dostupné na: <https://www.zakonyprolidi.cz/>
- [16] Normalizace a odlučovací schopnosti filtrů pro všeobecné větrání, Doc. Ing. Jiří Hemerka, CSc., Ing. Pavel Vybíral, Ph.D., Ústav techniky prostředí FS ČVUT v Praze, [cit. 2021-01-16],
- [17] Požadavky na jednotlivé faktory vnitřního prostředí budov a jejich zajištění, Ing. Zuzana Mathauserová, [online], [cit. 2021-01-25], Dostupné na: <https://stavba.tzb-info.cz/regenerace-domu/12280-pozadavky-na-jednotlive-factory-vnitriho-prostredi-budov-a-jejich-zajisteni>
- [18] Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí budov, Ing. Zuzana Mathauserová, [online], [cit. 2020-11-15], Dostupné na: <https://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/5593-pozadavky-na-kvalitu-vnitriho-prostredi-budov-mikroklimaticke-podminky-a-vetrani>
- [19] Vliv koncentrace CO₂ na zdraví člověka, [online], [cit. 2020-05-29], Dostupné na: <https://www.enectiva.cz/cs/blog/2017/04/co2-vnitri-prostory/>
- [20] Čističky vzduchu, Vzdušín, [online], [cit. 2021-01-20], Dostupné na: <https://www.vzdusin.cz/cisticky-vzduchu>

- [21] The 5 Most Common Types of Air Purifiers, [online], [cit. 2021-02-04], Dostupné na: <https://learn.allergyandair.com/types-of-air-purifiers/>
- [22] Vše o HEPA filtru. Použití, klasifikace, výběr, čištění, výměna a životnost, [online], [cit. 2021-02-05], Dostupné na: <https://www.dewolf.cz/blog/vse-o-hepa-filtru/>
- [23] ČISTIČKA VZDUCHU AIRBI PURE, [online], [cit. 2021-02-22], Dostupné na: <https://www.vax-brno.cz/produkt/cisticka-vzduchu-airbi-pure-cerna/99/>
- [24] 13 Types of Air Purifiers for Your Home, [online], [cit. 2021-02-15], Dostupné na: <https://www.homestratosphere.com/types-of-air-purifiers/>
- [25] Clean air delivery rate (CADR) testing, [online], [cit. 2021-02-15], Dostupné na: <https://www.tuvsud.com/en-id/services/testing/clean-air-delivery-rate-cadr-testing>
- [26] Čističky vzduchu pro vaši domácnost, [online], [cit. 2021-02-15], Dostupné na: <http://www.cisticka-vzduchu.info/rozdeleni-cisticek-vzduchu-podle-typu-filtrace.php>
- [27] CADR Rating In Air Purifiers, [online], [cit. 2021-02-17], Dostupné na: <https://afresherhome.com/what-is-cadr-rating-in-air-purifiers/>
- [28] Fotokatalytický princip, [online], [cit. 2021-02-22], Dostupné na: <https://www.airbi.cz/slovnicek-pojmu/fotokatalyticky-princip>
- [29] Kvalita vnějšího a vnitřního vzduchu, [online], [cit. 2021-02-22], Dostupné na: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/6486-kvalita-vnejsiho-a-vnitriho-vzduchu>
- [30] JOKL M. V., Teorie vnitřního prostředí budov, ČVUT, 1993. 261 s. ISBN 80-01-00481-3.
- [31] Ing. Pavel Vybíral Ph.D., Základy větrání: prezentace, [online], [cit. 2021-03-01], Dostupné na: <http://users.fs.cvut.cz/~vybirpav/Filtrace/Fil%205.pdf>
- [32] Ionic CARE, [online], [cit. 2021-03-02], Dostupné na: <https://www.ionic-care.cz/o-ionic-care.html>

- [33] Pro alergiky, Čistička vzduchu Daikin MC 707, [online], [cit. 2021-03-02], Dostupné na: <https://proalergiky.cz/eshop/cisticka-vzduchu-daikin.html>
- [34] MUDr. A. Lajčíková, CSc., Ing. J. Hollerová, Protokol o měření negativních iontů a protiprašné účinnosti u ionizátoru a čističky vzduchu Ionic CARE Triton X6, Státní zdravotnický ústav, [online], Protokol č. 127/14 [cit. 2021-04-07]
- [35] Hygienické posouzení čističe vzduchu DAIKIN model MC 707 VM, Státní zdravotnický ústav [online], [cit. 2021-03-08], Dostupné na: https://www.proalergiky.cz/eshop/datove_uloziste/ke_stazeni/hygienicke-posouzeni-cisticky-vzduchu-Daikin.pdf
- [36] Portable laser aerosol spectrometer and dust monitor, GRIMM AEROSOL, [online], [cit. 2021-03-09], Dostupné na: <https://www.wmo-gaw-wcc-aerosol-physics.org/files/opc-grimm-model--1.108-and-1.109.pdf>
- [37] Nejlepší čističky vzduchu 2021, David Pokorný, [online], [cit. 2021-03-10], Dostupné na: <https://vas-pomocnik.cz/cisticky-vzduchu/>
- [38] Čistička vzduchu 500 m³/h, [online], [cit. 2021-03-27], Dostupné na: <https://www.e-klimatizace.cz/cs/cisticka-vzduchu-500-m3-h/>
- [39] Měření kvality vzduchu v místnosti – Wöhler CDL 210, [online], [cit. 2021-03-27], Dostupné na: <https://www.woehler.cz/cs/detekce-plynu/115-mereni-teploty-vlhkosti-co2-oxidu-uhliciteho.html>
- [40] Ultrafine particle removal and generation by portable air cleaners, Waring, Siegel, Corsi, [online], [cit. 2021-04-01], Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008001593>
- [41] Experimental Study on Ultrafine Particle Removal Performance of Portable Air Cleaners with Different Filters in an Office Room, Huan Ma, Henggen Shen, Tiantian Shui, Qing Li, Liuke Zhou, [online], [cit. 2021-04-01], Dostupné na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4730493/>

[42] Převod tříd filtrů mezi ČSN EN 779 a ČSN EN ISO 16890-1, doc. Ing. Jiří Hemerka, CSc., Ing. Pavel vybíral Ph.D., Ústav techniky prostředí FS ČVUT v Praze, [cit. 2021-04-01]

[43] Grafická ročenka ČHMÚ, [online], [cit. 2021-04-12], Dostupné na: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/SumObr_CZ.html

[44] MIZERA V, Posouzení využití čističek vzduchu: diplomová práce, ČVUT, Fakulta strojní, 2017, [online], [cit. 2021-04-12], Dostupné na: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73345/F2-DP-2017-Mizera-Vojtech-2-IB-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

10 Přílohy

Součástí této práce je CD, které obsahuje:

1. Diplomovou práci ve formátu PDF
2. Výkres bytu ve formátu PDF
3. Naměřené hodnoty a vyhodnocení čističek vzduchu ve formátu XLSX