

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

VYUŽITÍ ČISTIČEK VZDUCHU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

GABRIELA CHLÁDKOVÁ

1 – TZSI – 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Chládková** Jméno: **Gabriela** Osobní číslo: **474836**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Využití čističek vzduchu

Název bakalářské práce anglicky:

Use of Air Purifiers

Pokyny pro vypracování:

Popište principy odlučování suspendovaných částic. Zhodnoťte využití přenosných čističek vzduchu. S použitím optického počítače částic změřte a vyhodnoťte účinnost čističek vzduchu Daikin MC707VM a Ionic Care Triton X6 z hlediska snižování koncentrace suspendovaných znečišťujících částic.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Hemerka J.: Odlučování tuhých částic, ČVUT, Praha, 2000.
- 2) Shaughnessy R.J., Sextro R.G.: What is an effective portable air cleaning device?, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, č. 3, 2006.
- 3) Blažek B.: Posouzení využití čističek vzduchu, diplomová práce, Fakulta strojní ČVUT v Praze, 2016.
- 4) Aerosol Dust Monitors & Counters, Grimm Aerosol Technik Manual
- 5) firemní literatura

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


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


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

Datum zadání bakalářské práce: **30.10.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **08.01.2021**

Platnost zadání bakalářské práce:


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



doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

4.1.2021
Datum převzetí zadání


Podpis studentky

Anotace

Práce se zabývá teorií suspendovaných znečišťujících částic, zhodnocením využití přenosných čističek vzduchu a aktuálně používanými technologiemi. V praktické části informuje o výsledcích měření s čističkami Daikin MC 707 VM a Ionic Care Triton X6 v reálném prostředí, u kterých posuzuje vybrané výkonnostní stupně a zaměřuje se také na závislost účinnosti čističky na umístění v prostoru. K měření koncentrací částic se používal analyzátor Grimm 1.109.

Klíčová slova

Čistička vzduchu, suspendované znečišťující částice, kvalita vnitřního vzduchu, filtrace vzduchu, filtry vzduchu

Abstract

Thesis deals with the theory of suspended particulate pollutants, assess the use of portable air purifiers and current used technology and informs about the results of experiment with Daikin MC 707 VM and Ionic Care Triton X6 in real environment. Performance of both air purifiers have been assessed at chosen setting according to room size and placement of air purifier. The concentration of pollutants is measured by the Dust monitor Grimm 1.109.

Keyword

Air purifier, air pollutants, indoor air quality, filtration of air, filters of air

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Využití čističek vzduchu“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Pavla Vybírala, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 8. 1. 2021

Gabriela Chládková

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Pavlu Vybíralovi, Ph.D. za ochotnou pomoc, věcné připomínky a věnovaný čas při konzultacích, které mi pomohly při vypracování této práce.

Obsah

Seznam použitých veličin a symbolů	9
Úvod.....	11
Cíle	12
1. Ověření.....	13
1.1. Složení vzduchu	13
1.1.1. Znečišťující látky.....	13
1.2. Tvar.....	15
1.3. Zrnitost	16
2. Kvalita vzduchu ve vnitřním prostředí	21
2.1. Znečišťující látky vnitřního ovzduší	21
2.2. Hodnocení kvality vnitřního ovzduší	23
2.3. Legislativa v oblasti kvality vnitřního prostředí	25
3. Filtrace vzduchu	26
3.1. Třídění a použití filtrů atmosférického vzduchu	26
3.1.1. Filtry pro všeobecné větrání	26
3.1.2. Filtry pro vysoce účinnou filtraci.....	29
3.2. Odlučovací principy	31
3.2.1. Gravitační princip.....	31
3.2.2. Setrvačný princip	32
3.2.3. Odstředivý princip.....	33
3.2.4. Elektrický princip.....	33
3.2.5. Difuzní princip	34
3.2.6. Intercepční princip	35
3.2.7. Sítový princip	35

3.3.	Frakční odlučivost.....	36
3.4.	Tlaková ztráta	37
4.	Čističky vzduchu.....	37
4.1.	Historie	37
4.2.	Typy čističek	38
4.2.1.	Mechanické (Hepa type).....	38
4.2.2.	Elektrostatické	38
4.2.3.	Ionizátory	40
4.2.4.	PECO technologie.....	40
4.2.5.	PCO technologie.....	41
4.3.	Stupně čistění.....	41
1.	Před filtr	41
2.	Hepa filtr	41
3.	Antibakteriální vrstva	42
4.	Sorpční filtr	42
5.	Fotokatalyzátor.....	42
6.	UV-C filtr	43
7.	Generátor záporných iontů	43
4.4.	Hodnocení čističek	43
4.4.1.	ANSI/AHAM AC-1	43
4.4.2.	Další hodnocení.....	44
5.	Experiment.....	47
5.1.	Popis použitých přístrojů.....	47
5.1.1.	Optický analyzátor GRIMM 1.109.....	47
5.1.2.	Čistička vzduchu IONIC CARE TRITON X6.....	49

5.1.3.	Čistička vzduchu DAIKIN MC 707 VM	51
5.2.	Metodika měření.....	53
5.2.1.	Měřicí místnost	53
5.2.2.	Postup měření.....	55
5.2.3.	Software analyzátoru Grimm 1.109.....	55
5.2.4.	Velikostní složení částic	56
5.3.	Vyhodnocení účinnosti.....	58
5.3.1.	Měření bez použití čističky	58
5.3.2.	Čistička Ionic Care Triton X6	59
5.3.3.	Čistička Daikin MC 707 VM	60
5.3.4.	Celkové srovnání.....	62
5.3.5.	Vliv umístění čističky	63
6.	Závěr	66
	Seznam použitých zdrojů	69
	Přílohy	74

Seznam použitých veličin a symbolů

Jednotka	Symbol	Veličina
a	μm	Velikost částice
A	m^2	Celková odlučovací plocha
$a_{N,i}$	μm	Střední velikosti
$CADR$	m^3/h	Clean Air Delivery Rate
C_p	g/m^3	Hmotnostní koncentrace na přívodu
C_v	g/m^3	Hmotnostní koncentrace na výstupu
$d_{N,1}$	μm	Střední průměr vlákna
d	m	Charakteristický rozměr obtékaného tělesa
D_B	m^2/s	Součinitel tepelné difuze
E	V/m	Intenzita elektrického pole
F_q	N	Elektrická síla
l	m	Charakteristický rozměr překážky
j	1	Počet frakcí
M_p	mg/s	Přiváděný hmotnostní tok
M_v	mg/s	Výstupní hmotnostní tok
M_z	mg/s	Zachycený hmotnostní tok
N	N	Počet částic
O_c	1	Celková odlučivost
O_f	1	Frakční odlučivost
P	1	Propad
Pe	1	Pecletovo kritérium
P_c	1	Celkový průnik
P_N	1	Propad dle počtu
Q	C	Náboj
Re_d	1	Reynoldsovo číslo proudu
$Re_{\check{c}}$	1	Reynoldsovo číslo částice
Stk	1	Stokesovo číslo
u_p	m/s	Pádová rychlost

v_0	m/s	Charakteristická rychlost proudu
\dot{V}	m^3/s	Průtok vzduchu filtrem
w	m/s	Konečná odlučovací rychlost částice
Z	1	Zbytek
Z_N	1	Zbytek dle počtu
α	1	Parametr intercepce
Λ	$1/h$	Celkové množství částic změřených při vypnuté čističce
Λ_{AC}	$1/h$	Celkové množství částic změřených za chodu čističky
ε	1	Poréznost
ξ	1	Aerodynamický součinitel odporu
ρ	kg/m^3	Hustota plynu
ρ_c	kg/m^3	Hustota částice
η	$Pa.s$	Dynamická viskozita
τ_c	s	Doba relaxace částice

Úvod

Vnitřní prostředí a jeho kvalita se pro nás stává v dnešní době čím dál aktuálnější téma. I když se obecně kvalita ovzduší v mnoha ohledech zlepšuje a je alespoň v České republice a Evropské unii kladen důraz na emisní a imisní limity, je také důležité zabývat se vnitřním prostředím, kde většina populace tráví téměř 90 % života. Vnitřní vzduch může být v některých případech více znečištěný než venkovní, často z hlediska koncentrace oxidu uhličitého, prachových částic nebo výskytu formaldehydu. Toto může mít výrazný vliv na zdraví člověka, ale i na jeho subjektivní pocit, jak se v prostoru cítí.

Ukazuje se, že užívání čističek vzduchu má pozitivní vliv, jelikož umožňují účinné vyčištění vzduchu ve vnitřním prostředí a mohou zmírnit obtíže plynoucí ze zhoršené kvality vzduchu. Je proto důležité se této problematice efektivního čištění a odstranění škodlivin věnovat.

Cíle

Cílem této bakalářské práce je popsat principy odlučování suspendovaných částic, dále pak zhodnotit využití čističek vzduchu DAIKIN MC 707 VM a IONIC CARE TRITON X6 při snižování koncentrace tuhých znečišťujících částic v reálném prostředí optickým analyzátozem Grimm 1.109.

1. Ovzduší

1.1. Složení vzduchu

Suchý vzduch v atmosféře se skládá z hlavních složek N₂, O₂, Ar, CO₂, Ne, He, CH₄ a H₂, které mají v tab. 1 uvedené objemové koncentrace [1] a zbylá procenta tvoří složky vedlejší, jejichž obsah může být velmi proměnlivý v závislosti na prostředí a dalších činitelích.

Tab. 1: Složení atmosféry [1]

Složka	N ₂	O ₂	Ar	CO ₂	Ne	He	CH ₄	H ₂
Obsah (% obj.)	78,084	20,9476	0,934	0,0314	0,001818	0,000524	0,00015	0,0001

Součástí atmosféry jsou i různorodé znečišťující látky antropogenního a přírodního původu. Mezi takové mohou patřit aerosoly z prachových částic, nejrůznější viry, bakterie a další, které zhoršují jeho kvalitu.

1.1.1. Znečišťující látky

Znečišťující příměsi se v atmosféře mohou vyskytovat ve skupenství tuhém, kapalném i plynném a mohou být různého původu. Na obr. 1 je přehled jednotlivých základních forem škodlivin a jejich velikostí.

[μm]	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100
Tuhé látky			Kouř			Popílek	
						Prach	
Kapalné látky			Dým, Aerosol				
			Kapalné škodliviny				
Plynné látky	Plynné škodliviny						
Mikrobiální aerosoly			Viry		Bakterie		

Obr. 1: Rozdělení znečišťujících forem látek a jejich přibližné velikosti [2]

Tuhé částice

Tuhé částice v ovzduší mohou mít primární nebo sekundární původ. Primárně vznikají ve velké míře v dopravě a v průmyslu, například při spalování uhlí, nebo v přírodě při lesních požárech a při sopečné činnosti. Sekundární mají původ buď zreagováním škodlivin z primárních zdrojů, nebo rozvířením už usazených částic. Podle původu pro ně existují různé názvy jako jsou [3]:

Kouř – Částice ze spalování organických látek obsahujících uhlík

Popílek – Částice ze spalování tuhých paliv

Prach – Tuhé částice vznikající při mechanických operacích nebo erozi

Aerosol – Tuhé i kapalné částice ve vznosu

Dým – Jemné tuhé a kapalné částice vznikající kondenzací par látek

Kapaln e  astice

Mohou vznikat kondenzací plynné fáze nebo rozptylem z tekutiny. Patrí sem p edev ım mlhy, u kterých jde o aerodisperzn ı směsi s obvyklými rozměry 0,1 až 30 μm . [2]

Plyny a páry

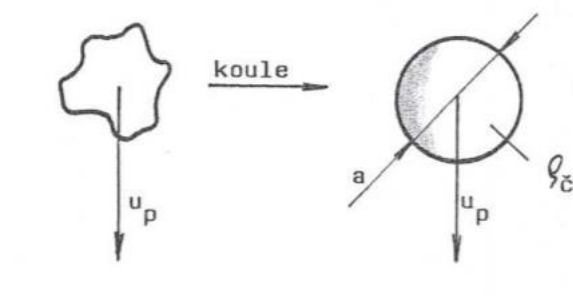
Nej ast ejši se zde jedná o r uzn e oxidy uhlíku, dusíku a síry, dále hořlavé plyny nebo páry hořlavých kapalin a ozon. [2]

Biologického původu

Souhrnn e jde o mikrobiální aerosoly, které mají původ v  ıv ych organismech.

1.2. Tvar

Tvar  astic je často nepravidelný a jen málokteré mají kulovitý tvar, proto se zavádí charakteristické rozměry  astice. U  astic izometrického tvaru se vyjadřují jejich vlastnosti pomocí ekvivalentní velikosti  astice, která může bít založena na parametrech, jako je průmět, povrch, objem nebo pádová rychlost. Ekvivalentní velikost  astice dle pádové rychlosti je pro separaci  astic z proudu vzduchu nejpodstatn ej ı. Vyjadřuje, že skutečná  astice má stejnou pádovou rychlost jako koule o průměru a . To je znázorněno na obr. 2. Dále se zavádí pojem aerodynamický průměr, který pí uvažování stejn e pádové rychlosti místo vlastní hustoty  astice pou ıv a hodnotu hustoty  astice 1000 g/m^3 . [4]



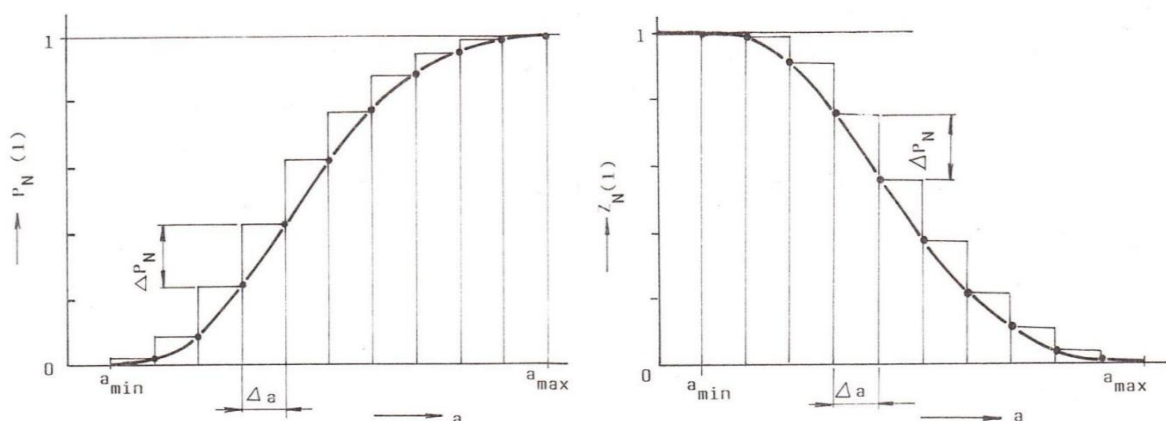
Obr. 2: Skutečná  astice a ekvivalentní velikost  astice dle pádové rychlosti [4]

1.3.Zrnitost

Charakterizuje rozdělení velikostí částic v polydisperzním souboru, tedy takovém, ve kterém částice nejsou stejně velké. Rozdělení může být podle počtu, průmětu nebo hmotnosti. Zrnitost graficky popisují kumulativní a frekvenční křivky zrnitosti. Jelikož odlučovače nefungují skokově, v praxi se tyto křivky sestavují zařazením částic do tzv. velikostních frakcí $(\Delta a)_j$, kde $j=1, 2, 3, \dots, n$, které jsou směsí zrn různých velikostí od horní do dolní meze. Pro rozdělení podle počtu platí, že počet částic ve frakci je $(\Delta N)_j$ a poměrný počet částic ve frakci je pak vyjádřen jako [5]:

$$(\Delta P_N)_j = \frac{(\Delta N)_j}{N} \quad (1.1)$$

Kumulativní křivka propadů a křivka zbytků je tvořena postupným načítáním $(\Delta P_N)_j$ a velikostních frakcí $(\Delta a)_j$. Pro křivku propadů křivku se tak děje od a_{\min} do a_{\max} a pro křivku zbytků je to naopak od a_{\max} do a_{\min} . Na obr. 3 jsou obě křivky znázorněné.



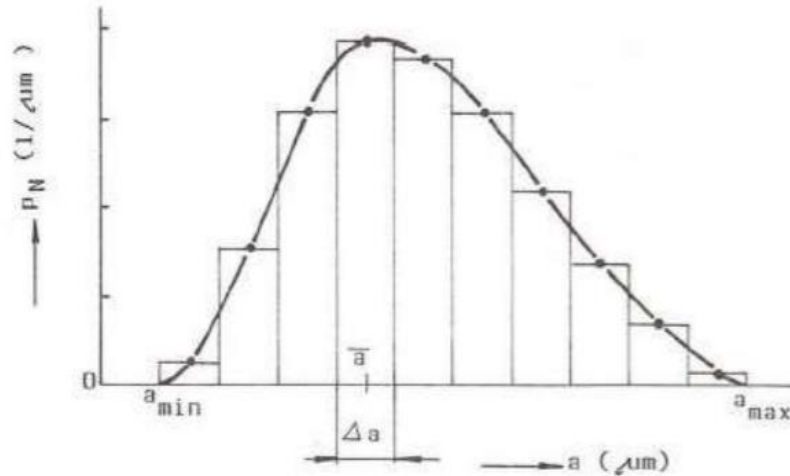
Obr. 3: a) Křivka propadů dle počtu b) Křivka zbytků dle počtu [6]

Křivka propadů $P_N(a)$ udává pro každou velikost částice poměrný počet částic vyskytujících se v souboru menších než daná částice a křivka zbytků $Z_N(a)$ naopak udává, kolik poměrně částic je větších. [3]

Pokud se poměrný počet částic $(\Delta P_N)_j$ podělí velikostní frakcí $(\Delta a)_j$:

$$p_{N,j} = \frac{(\Delta P_N)_j}{(\Delta a)_j} \quad (1.2)$$

Získá se četnost dle počtu p_N , ze které je možno vynést frekvenční křivku zrnitosti neboli křivku relativní četnosti, která je znázorněna na obr. 4.



Obr. 4: Frekvenční křivka dle počtu [6]

Matematické vyjádření pro propad, zbytek a četnost v diferenciálním zápisu je následující.

Pro propad:

$$P_N(a) = \int_{a_{min}}^a p_N(a) da \quad (1.3)$$

Pro zbytek:

$$Z_N(a) = \int_a^{a_{max}} p_N(a) da \quad (1.4)$$

Četnost:

$$p_N(a) = \frac{P_N(a)}{da} \quad (1.5)$$

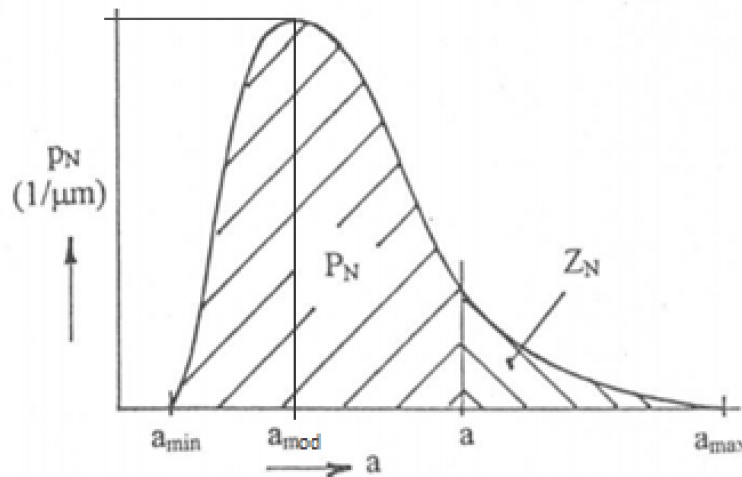
Zároveň pro každou velikosti částice platí, že:

$$\int_{a_{min}}^{a_{max}} p_N(a) da = P_N(a) + Z_N(a) = 1 \quad (1.6)$$

Analogicky vztahy pro zrnitost souboru dle počtu platí i pro vyjádření zrnitosti dle hmotnosti a průmětu. V souboru se dále mohou určit charakteristické velikosti jako modus, medián a střední velikosti. [4]

Modus

Modus odpovídá velikosti nejvíce zastoupené částice nebo částicím v souboru. Jde o maximum křivky relativní četnosti, znázorněné na obr. 5.

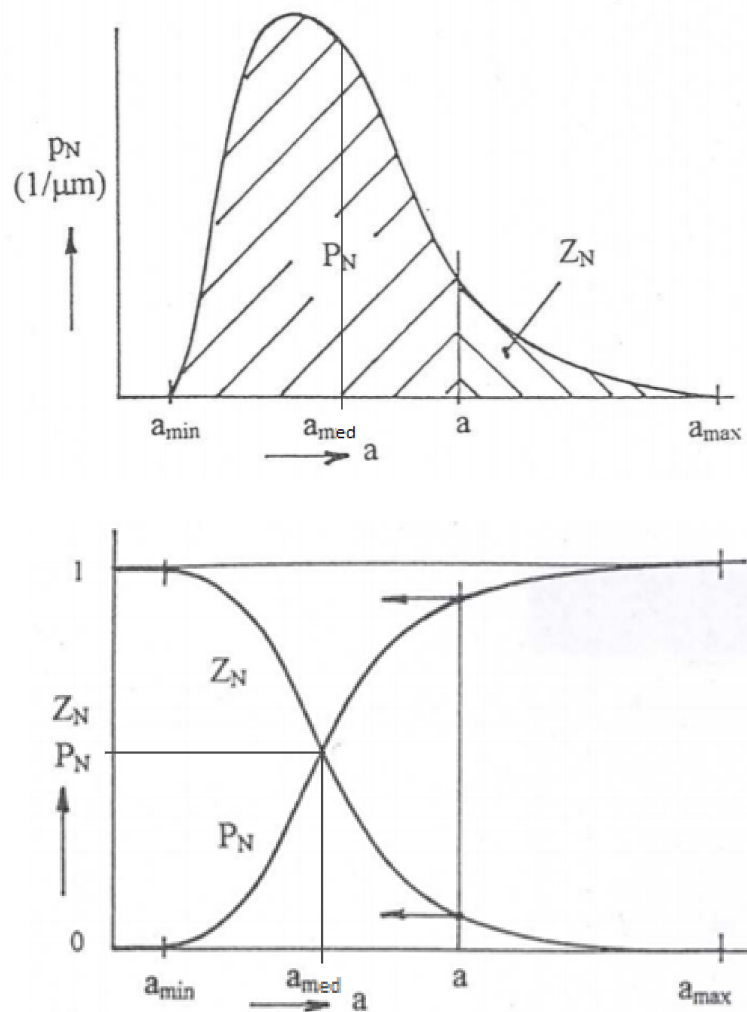


Obr. 5: Modus na křivce relativní četnosti [4]

Medián

Pro tento parametr platí, že se jedná se částici dané velikosti, která má při rozdělení dle počtu stejně částic větších i menších. Matematicky vyjádřeno:

$$P(a_{med}) = Z(a_{med}) = 0,5 \quad (1.7)$$



Obr. 6: Znázornění mediánu na křivce relativní četnosti a kumulativní křivce [4]

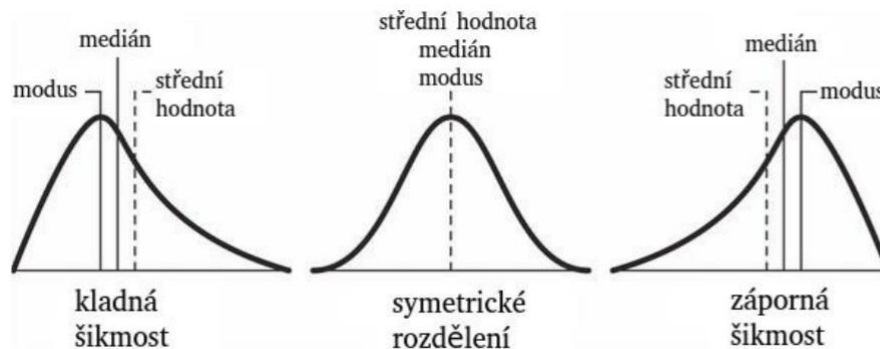
Střední velikosti

Tyto charakteristické velikosti je možné vyjádřit podle vzorce:

$$a_{N,i} = \left[\int_{a_{\min}}^{a_{\max}} a^i \cdot p_N(a) da \right]^{1/i} \quad (1.8)$$

kde i vyjadřuje řadu střední velikosti. Nejobvyklejší jsou aritmetická ($i=1$), kvadratická ($i=2$) a kubická ($i=3$). Střední velikost zastává náhradní monodisperzní soustavu, která sdílí s původní minimálně stejný počet částic a dále pokud se jedná o aritmetickou, tak i stejný součet průměrů, v případě kvadratické stejný součet povrchů a u kubické součet objemů.

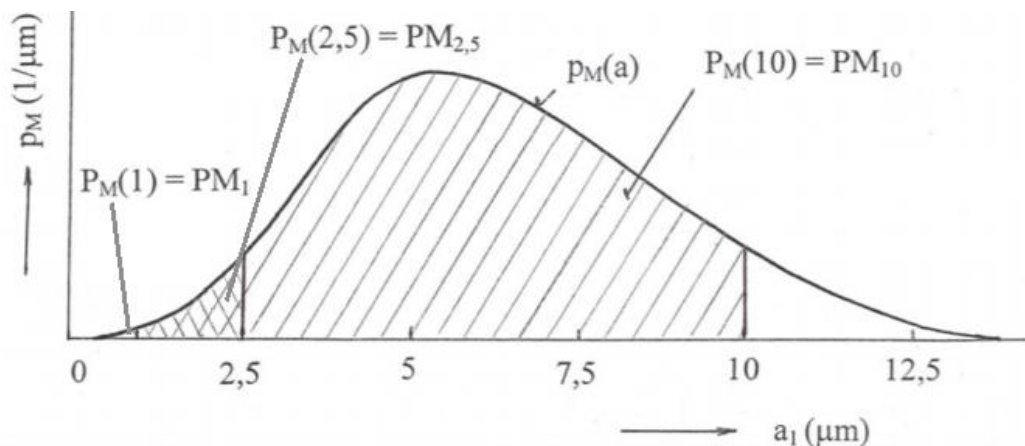
Pokud je rozložení částic v souboru symetrické, tak se modus, medián a střední velikost rovnají. To je zobrazeno na obr. 7 [3].



Obr. 7: Vzájemná poloha modu, mediánu a střední velikosti v souboru [7]

Frakce PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_1

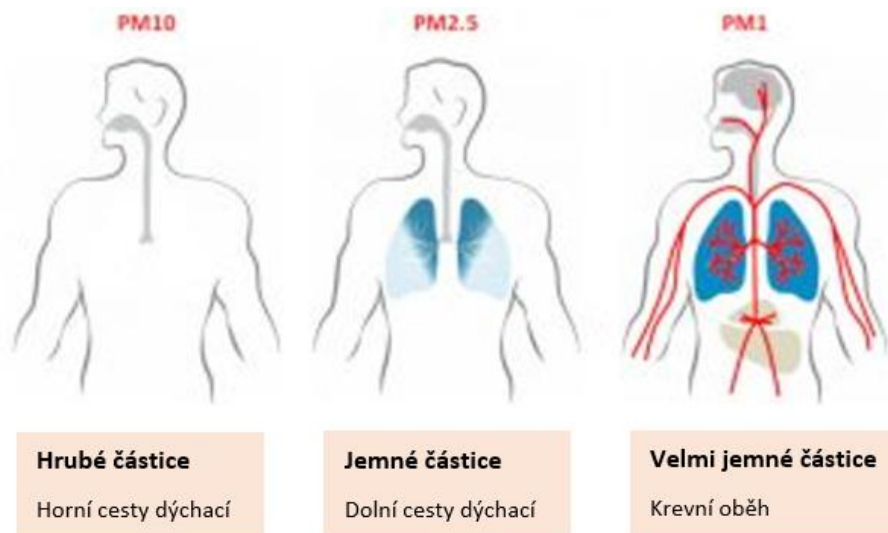
V oblasti čistoty ovzduší jsou rozhodující především frakce tzv. particulate matter. Jedná se o souhrnné označení disperze kapalných a tuhých částic ve vzduchu. Definice těchto PM_x frakcí říká, že se jedná o částice v souboru vyjádřené ve formě aerodynamické velikosti a_1 , které jsou menší než $x \mu\text{m}$. Jsou zavedeny pojmy frakce částic PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 . Na obr. 8 jsou všechny frakce vyznačeny. [4]



Obr. 8: Jednotlivé frakce PM_x [4]

Velikost částic má zásadní vliv na to, jak hluboko do lidského těla jsou schopny pronikat. Hrubé částice PM_{10} jsou zachyceny už v horních cestách dýchacích, obecně lze však říci, že čím jsou částice menší, tím dále se dostávají a větší riziko pro člověka představují.

Jemné částice o velikosti do 2,5 μm pronikají hluboko do plic a plicních sklípků a pokud jsou velikostně ve frakci PM_{10} , mohou pronikat až do krevního oběhu, potenciálně i do nervové a reprodukční soustavy. Na obr. 9 je průnik částic lidského těla naznačen. [8]



Obr. 9: Cesta škodlivin do lidského těla [8]

2. Kvalita vzduchu ve vnitřním prostředí

Do vnitřního ovzduší se škodliviny dostávají z venkovního prostoru nebo jsou produkovány člověkem a domácími zvířaty, dále se také mohou uvolňovat z materiálů použitých v domácnostech. To vede ke zhoršování jeho kvality.

2.1. Znečišťující látky vnitřního ovzduší

Mezi nejčastější patří především [9]:

Oxid uhličitý – jedná se o nejběžnější plyn, jeho typickým zdrojem je metabolismus člověka či zvířat, ve vnitřním prostředí se vyskytuje z pravidla s větší koncentrací, kde podle vyhlášky č. 268/2009 Sb. nesmí koncentrace překročit hodnotu 1500 ppm [10].

Oxid uhelnatý – vzniká při nedokonalém spalování např. u kamen, sporáku nebo karmy. Je bezbarvý a bez zápachu, ale váže se na hemoglobin a snižuje okysličování krve

Oxidy dusíku – vznikají při vysokoteplotním spalování fosilních paliv, a tak často přichází z venkovního prostředí, také se mohou uvolňovat při vaření a při ohřevu teplé vody plynem

Oxidy síry – z venkovního ovzduší mohou pronikat především v místech vyskytujících se v blízkosti tepelných elektráren, vznikají spalováním fosilních paliv s obsahem síry

Formaldehyd – jedná se o těkavý bezbarvý plyn s výrazným zápachem, v domácnostech se může uvolňovat z podlahových krytin, tapet, nábytku, je přítomný v některých dezinfekčních čistících nebo kosmetických přípravcích, vyskytuje se v tabákovém kouři a vzniká při nedokonalém spalování organických látek

Organické chemické látky – většinou se jedná o látky těkavé, tzv. VOC („volatile organic compound“), snadno reagují s dalšími složkami vzduchu, především oxidy dusíku, původ ve vnitřních prostorách mají hlavně z kosmetických přípravků, barev a laků a dále také vznikají například při kouření, řadí se sem toluen, xylen, ftaláty, etylbenzen a další

Polycyklické aromatické uhlovodíky – vznikají nedokonalým spalováním fosilních paliv, např. při výrobě koksu a železa, větší koncentrace se objevuje především v průmyslových oblastech, řada z nich je karcinogenních, patří sem například benz(o)pyren, pyren, antracen

Azbest – používal se hlavně do 80. let 20. století jako levný tepelně izolační materiál, je karcinogenní a může se uvolňovat především při mechanickém poškození

Olovo a jiné těžké kovy – do vnitřního ovzduší se dostávají obvykle zvenčí ve formě aerosolu, mohou se uvolňovat při těžbě a zpracování těchto kovů

Suspendované částice – pevné a kapalné částice se zanedbatelnou pádovou rychlostí, které zůstávají v ovzduší po dlouho dobu, zdrojem je zejména silniční doprava, průmyslové procesy, vytápění a provoz domácností

Přízemní ozon – má původ ve venkovním prostředí, kde vzniká sekundární reakcí složek NO_x a VOC

Odéry – různorodé plynné sloučeniny, objektivní hodnocení jejich kvantity je obtížné kvůli malým koncentracím, při kterých už mohou negativně zhoršovat kvalitu prostředí

Radon – bezbarvý plyn, který je těžší než vzduch, může se uvolňovat z podloží domu nebo ze stavebního materiálu

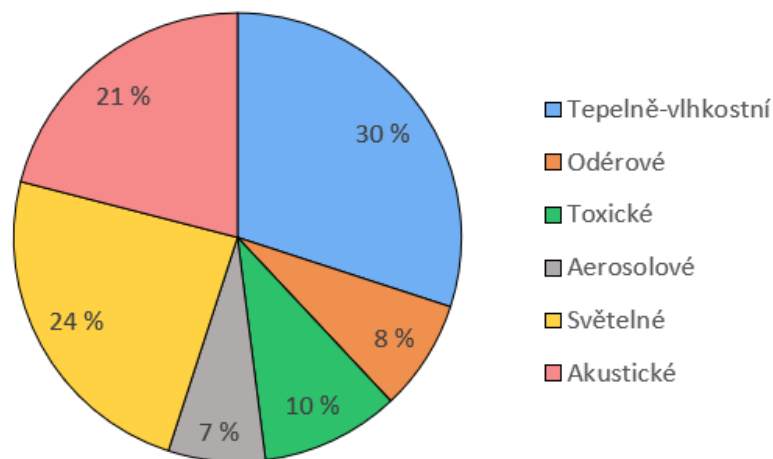
Vliv znečišťujících látek na zdraví

V předchozí části byly vyjmenovány nejčastější látky, které negativně mohou ovlivňovat kvalitu vzduchu, ale i zdraví člověka. Do lidského těla dostávají především inhalací, případně některé mohou pronikat i pokožkou. Podstatné v uvažování vlivu na zdraví je, zda působí krátkodobě nebo po delší časový úsek a jejich množství. Od toho se pak odvíjí jednotlivé negativní účinky. Zvýšené riziko a citlivost ke znečištění dále platí pro ohrožené skupiny, kterými jsou děti, těhotné ženy, starší osoby a osoby s chronickým onemocněním.

Účinky se dělí na krátkodobé a dlouhodobé. Mezi nejčastější krátkodobé a povětšinou přechodné patří podráždění dýchacího ústrojí a sliznic, bolest hlavy, alergická reakce a náchylnosti k infekcím dýchacích cest, při nadlimitních koncentracích závažnost příznaků roste. Daleko větším problémem je ale dlouhodobé vystavení zvýšeným koncentracím, způsobené například polohou bydliště v oblastech s většími imisemi škodlivin. Taková expozice může vyvolávat nemoci jako je pneumonie, bronchitida, zvýšená koncentrace ozonu může vést k astmatu, také se objevuje zvýšený výskyt počtu případů onemocnění dýchacího a kardiovaskulárního ústrojí, zvýšený počet nádorů a obecně vyšší úmrtnost. Dle [11] jen na následky znečištění vnitřního vzduchu ročně celosvětově předčasně zemře 3,8 milionu lidí. [8]

2.2. Hodnocení kvality vnitřního ovzduší

Obecně kvalitu vnitřního vzduchu určuje několik složek, z nichž míra znečištění vzduchu tvoří dle [9] přibližně 25 % z celkové kvality interního mikroklimatu. Pod tyto složky patří oděrová, aerosolová, toxická a mikrobiální. Jednotlivé podíly složek na celkovém stavu interního mikroklimatu jsou vyznačeny na obr. 10. [9]



Obr. 10: Průměrné podíly složek na stavu interního mikroklimatu [9]

Odérové mikroklima

Sleduje obsah odéru v prostoru. Ten tvoří látky vznikající při kouření, přípravě jídla, tvoří ho také výpary formaldehydu nebo tělesné pachy – antropotoxiny. Jako kriteriální a exaktně měřitelná hodnota se používá Pettenkoferovo kritérium, které udává limitní hodnotu koncentrace CO_2 ve vnitřním prostředí 0,1 obj. % CO_2 . Z toho dále vyplývá dávka čerstvého vzduchu na osobu. Prakticky lze tedy v prostředí předejít oděrům jen dostatečnou obměnou vzduchu. [9, 12]

Toxické mikroklima

Toxické klima je prostředí, kde se vyskytují plynné toxické látky, které mají patologický účinek na organismus člověka. Nejčastěji se může jednat o oxidy dusíku, síry nebo oxidu uhelnatého nebo ozonu, o formaldehyd, ale i další. Po určité době pobytu v takovém mikroklimatu mohou být patrné příznaky jako podráždění dýchacího ústrojí a ostatních sliznic. Dlouhodobější expozice může být příčinou kardiovaskulárních chorob a onemocnění dýchacího ústrojí. [9]

Aerosolové mikroklima

Tvoří ho pevné a kapalné částice suspendované v ovzduší. Většinou mají negativní vliv ve formě dýchacích obtíží a astmatu, ale některé látky jako například částičky azbestu mohou mít i karcinogenní účinek. [9]

Mikrobiální mikroklima

Obsahuje především bakterie, viry, plísňe a jejich spory. Mohou způsobovat hlavně alergické reakce. Pro vnitřní prostředí existuje únosná koncentrace mikrobů, která je pro obytné budovy 200 až 500 mikrobů/m³. [9]

2.3. Legislativa v oblasti kvality vnitřního prostředí

V České republice se pro vnitřní prostředí aktuálně uplatňují tyto zákony a k nim následující nařízení a vyhlášky [14]:

Zákon č. 183/2006 Sb., stavební zákon (nahrazuje zákon č. 50/1976 Sb.)

Zákon č. 20/1966 Sb., o zdraví lidu v platném znění

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

Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce (nahrazuje zákon č. 155/2000 Sb.)

Zákon č. 309/2006 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

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb.) ve znění vyhlášky č. 241/2018 Sb.

Nařízení vlády č. 291/2015 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb., 262/2006 Sb. a č. 309/2006 Sb.)

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci (prováděcí předpis k zákonu č. 309/2007 Sb. a 262/2006 Sb.) ve znění vyhlášky č. 467/2020 Sb.

Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby (prováděcí předpis k zákonu č. 183/2006 Sb.) ve znění vyhlášky č. 323/2017 Sb.

Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb.) ve znění vyhlášky č. 465/2016 Sb.

Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb.)

Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 137/2004 Sb., o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb.) ve znění vyhlášky č. 602/2006 Sb.

Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 238/2011 Sb., o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb.) ve znění vyhlášky č. 97/2014 Sb.

3. Filtrace vzduchu

Při odstraňování prachových částic pro účely úpravy vzduchu ve vnitřních prostředích je dominantní použití filtrů. Filtry pro oddělování tuhých částic se dají rozdělit podle použití do dvou základních skupin na:

- Filtry atmosférického vzduchu
- Průmyslové filtry

3.1. Třídění a použití filtrů atmosférického vzduchu

Filtry atmosférického vzduchu jsou určeny do pracovních a obytných prostor nebo pro čisté prostory. Dělí se dále na filtry pro všeobecné větrání a na filtry pro vysoce účinnou filtraci, které jsou do prostor s přísnějšími požadavky na čistotu vzduchu.

3.1.1. Filtry pro všeobecné větrání

Od konce roku 2017 [15] je v platnosti nová norma ČSN EN ISO 16890. Jedná se o normu, která měla nahradit předchozí ČSN EN 779. V praxi je však situace jiná a přechod spíše stále probíhá. ČSN EN ISO 16890 má čtyři části. Nově bere v úvahu při třídění částice o rozměrech 0,3-10 μm a ruší dosavadní rozdělení filtrů na G1-F9 dle ČSN EN 779. V tab. 2 jsou rozsahy velikostí částic při stanovení účinností.

Tab. 2: Rozsahy velikostí částic při stanovení účinnosti filtru dle ČSN EN ISO 16890 [14]

Třída účinnosti	Velikost částic [μm]
ISO Hrubý	$x > 10$
ISO ePM ₁₀	$0,3 \leq x \leq 10$
ISO ePM _{2,5}	$0,3 \leq x \leq 2,5$
ISO ePM ₁	$0,3 \leq x \leq 1$

Pro zatřídění do některé ze základních tříd ePM_x musí splňovat podmínky podle tab. 3. Znamená to, že se zjišťuje hodnota frakční odlučivosti filtru při počátečním čistém stavu a frakční odlučivost po vybití náboje ve 12 velikostních intervalech v rozsahu velikostí částic 0,3 až 10 mikrometrů, z těchto hodnot se stanoví střední frakční odlučivosti, které se použijí při výpočtu hodnot ePM_x. Druhou podmínkou je, že pro třídy ISO ePM₁ a ISO ePM_{2,5} musí být i minimální frakční odlučivost filtru větší než 50 %. [14]

Tab. 3: Požadavky na základní třídy filtrů dle ČSN EN ISO 16890 [14]

Základní 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

U filtrů se kromě základního rozdělení do tříd udává i zjištěná procentuální hodnota ePM_x [%], která se zaokrouhluje na násobek 5 % směrem dolů. To je přehledně vyznačeno v tab. 4, kde jsou uvedeny jednotlivé skupiny a třídy filtrů.

Tab. 4: Klasifikační tabulka jednotlivých tříd filtrů dle ČSN ISO EN 16890 [15]

	Klasifikační třída:			
	ISO Hrubý	ISO ePM ₁₀	ISO ePM _{2,5}	ISO ePM ₁
Rozdělení tříd po 5 % odlučivosti na prach		ePM ₁₀ (95)	ePM _{2,5} (95)	ePM ₁ (95)
		ePM ₁₀ (90)	ePM _{2,5} (90)	ePM ₁ (90)
		ePM ₁₀ (85)	ePM _{2,5} (85)	ePM ₁ (85)
		ePM ₁₀ (80)	ePM _{2,5} (80)	ePM ₁ (80)
		ePM ₁₀ (75)	ePM _{2,5} (75)	ePM ₁ (75)
		ePM ₁₀ (70)	ePM _{2,5} (70)	ePM ₁ (70)
		ePM ₁₀ (65)	ePM _{2,5} (65)	ePM ₁ (65)
		ePM ₁₀ (60)	ePM _{2,5} (60)	ePM ₁ (60)
		ePM ₁₀ (55)	ePM _{2,5} (55)	ePM ₁ (55)
		ePM ₁₀ (50)	ePM _{2,5} (50)	ePM ₁ (50)
Účinnost > 50 % počát. odluč.	Ne	Ano	Ano	Ano
Účinnost > 50 % odluč. po vybití	Ne	Ne	Ano	Ano

ASHRAE 52.2

Jde o americkou normu srovnatelnou s aktuální evropskou EN ISO 16890 pro běžné filtry. Používá stupnici MERV, která má 16 tříd a posuzuje účinnost filtrů v několika rozsazích velikostí částic 0,3 až 10 mikrometrů, rozdělených pro zatřídění do 12 intervalů. Pro zatřídění se používají střední hodnoty z minimálních hodnot odlučivosti na atmosférický prach ve třech oblastech 0,3 až 1 mikrometr, 1 až 3 mikrometry a 3 až 10 mikrometrů a váhové odlučivosti na syntetický prach. V tab. 5 je zatřídění filtrů dle ASHRAE 52.2-1999. [16]

Tab. 5: Stupnice MERV hodnocení [2]

MERV stupnice	Průměrná účinnost filtru v daném rozsahu (%)			Průměrná hodnota odlučivosti (%)
	E1 (0,3-1,0 μm)	E2 (1-3,0 μm)	E3 (3,0-10 μm)	
1	-	-	E3 < 20	$A_{avg} < 65$
2	-	-	E3 < 20	$65 < A_{avg} < 70$
3	-	-	E3 < 20	$70 < A_{avg} < 75$
4	-	-	E3 < 20	$75 \leq A_{avg}$
5	-	-	$20 \leq E3$	-
6	-	-	$35 \leq E3$	-
7	-	-	$50 \leq E3$	-
8	-	$20 \leq E2$	$70 \leq E3$	-
9	-	$35 \leq E2$	$75 \leq E3$	-
10	-	$50 \leq E2$	$80 \leq E3$	-
11	$20 \leq E1$	$65 \leq E2$	$85 \leq E3$	-
12	$35 \leq E1$	$80 \leq E2$	$90 \leq E3$	-
13	$50 \leq E1$	$85 \leq E2$	$90 \leq E3$	-
14	$75 \leq E1$	$90 \leq E2$	$95 \leq E3$	-
15	$85 \leq E1$	$90 \leq E2$	$95 \leq E3$	-
16	$95 \leq E1$	$95 \leq E2$	$95 \leq E3$	-

Podstatné je i při jakém průtoku vzduchu bylo měření prováděno. Existuje 7 standartních rychlostí: 118, 246, 295, 374, 492, 630, 748 ft/min a tato hodnota se uvádí společně se zjištěným MERV stupněm. [16]

Na celosvětovém trhu s čističkami platí, že spousta výrobců stupně MERV používá pro snadnější orientaci zákazníka.

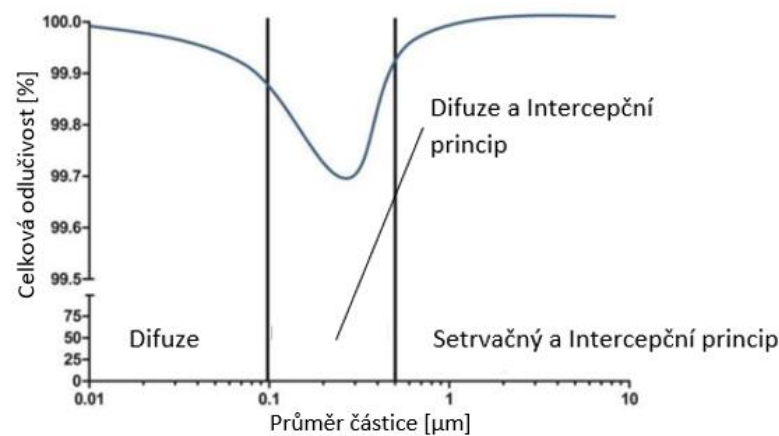
3.1.2. Filtry pro vysoce účinnou filtraci

V současné době souběžně existují dva třídící systémy podle normy EN 1822:2019 a ISO 29463. Obě normy rozdělují filtry do kategorií EPA – účinné filtry vzduchových částic, HEPA – vysoce účinné filtry vzduchových částic, ULPA – filtry s ultra nízkou penetrací vzduchovými částicemi a dále dělí do tříd podle tab. 6. [2]

Tab. 6: Klasifikace filtrů dle ČSN EN 1822 a ISO 29463 [17]

Skupina filtrů	Třída filtrace		Celková hodnota		Přípustná místní netěsnost	
	EN 1822-1:2019	ISO 29463-1:2017	Účinnost (%)	Průnik (%)	Účinnost (%)	Průnik (%)
EPA	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	-	-
HEPA	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
ULPA		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

Testování filtrů probíhá pomocí tzv. MPPS (Most Penetrating Particle size) neboli částic nejvíce pronikajících filtrem, pro které se zjišťuje odlučivost, resp. průnik. Na obr. 11 je patrné, že je to způsobeno působením tří hlavních odlučovacích principů, popsaných v kapitole 3.2, při filtraci. V oblasti MPPS už difuzní princip přestává působit a intercepční a setrvačný princip ještě působí málo. Tato hodnota se určuje ještě před samotným testem pomocí měření odlučivosti několika vzorky monodisperzních aerosolů. [2, 18]



Obr. 11: Korelace mezi odlučovacími způsoby a MPPS [20]

3.2. Odlučovací principy

K odloučení tuhých nebo kapalných částic z unášeného plynného média slouží několik mechanismů. Rozdělují se podle charakteru síly, která se na separaci podílí, na gravitační, setrvačný, odstředivý, difuzní a elektrický a k tomu existují dva speciální případy, intercepční a síťový, kde dochází k odloučení částic vlivem jejich konečné velikosti.

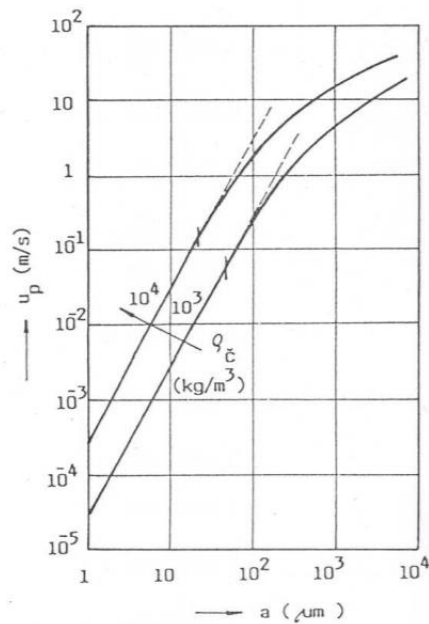
Jako parametr k vyjádření, nakolik byl proces efektivní, se využívá tzv. frakční odlučivost O_f , daná jako poměr frakčních hmotnostních toků v záchytu a přívodu [4].

3.2.1. Gravitační princip

Na částice v proudovém poli působí síly gravitační, vztlaková a odporová. Tyto síly se po krátkém čase vyrovnají a částice padá s pádovou rychlostí, která je obecně funkcí [4]:

$$u_p = f(\xi, a, \rho_c, \rho, \eta) \quad (1.9)$$

kde ξ je aerodynamický součinitel odporu, a velikosti částice, ρ_c hustota částice, ρ hustota plynu, η dynamická viskozita. Celková rychlost částice je dána vektorovým součtem unášivé rychlosti proudění a pádové rychlosti. Na obr. 12 je vyjádřená závislost velikosti pádové rychlosti na velikosti částice pro dvě různé hustoty částice. Je z toho patrné, že tento princip je efektivní jen pro velké částice v řádu desítek a více mikrometrů. Proto se prakticky k čištění vzduchu využívá pouze u předodlučovačů, anebo v kombinaci se setrvačným principem.

Obr. 12: Závislost velikosti a na pádové rychlosti u_p [4]

3.2.2. Setrvačný princip

Využívá setrvačnosti částic při změně směru proudu unášecího média při obtékání překážek. Na základě řešení pohybové rovnice lze zjistit, že trajektorie částice se odchyluje od proudnice a ty pak naráží na povrch vláken, kde kombinací sil Van der Waalsových, elektrostatických a kapilárních ulpí, a tak se odloučí. To je znázorněno na obr. 13.

Hlavním bezrozměrným kritériem charakterizujícím setrvačný princip je Stokesovo kritérium Stk , definované jako:

$$Stk = \frac{\tau_c \cdot v_0}{l} \quad (2.1)$$

kde v_0 je charakteristická rychlost proudu, l charakteristický rozměr překážky a τ_c doba relaxace částice.

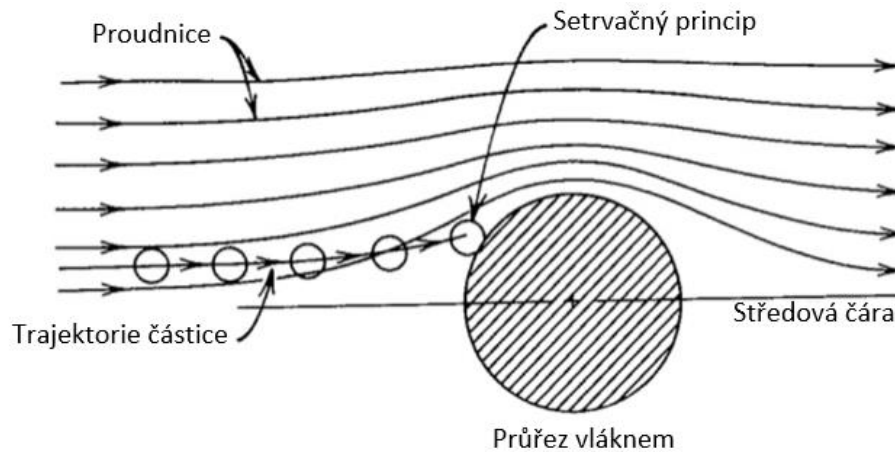
Platí, že čím větší je hodnota Stk , tím se částice více odchyluje od proudnice. Dalším kritériem, které se zde uplatňuje, je Reynoldsovo číslo dané jako:

$$Re = \frac{v_0 \cdot d_{N,1} \cdot \rho}{\eta} \quad (2.2)$$

Kde $d_{N,1}$ je střední arit. průměr vlákna. Tento princip se uplatňuje především u částic $>1 \mu\text{m}$ a frakční odlučivost obecně závisí na [4, 20, 21]:

$$O_f = f(Stk, Re_d, Re_\zeta) \quad (2.3)$$

kde Re_d je Reynoldsovo číslo proudu a Re_ζ je Reynoldsovo číslo částice (vztažené k velikosti částice).



Obr. 13: Setrvačný princip odloučení částice [19]

3.2.3. Odstředivý princip

Jedná se o zvláštní případ setrvačného principu při proudění plynu ve válcových nebo kuželových komorách, kde na částici působí odstředivá síla. Konečná odlučovací rychlost je analogií na pádovou rychlost u gravitačního setrvačného principu, kdy u odstředivého principu působí dostředivé zrychlení místo gravitačního. [4]

3.2.4. Elektrický princip

Částice s nábojem Q jsou vystaveny působení elektrického pole o intenzitě E a vlivem elektrické síly F_q ulpívají na povrchu odlučovací plochy. Jelikož je pro úspěšné odloučení nutné, aby měly dostatečně velký náboj, jsou před tímto procesem uměle nabity ionty plynu při korónovém výboji. Elektrický princip umožňuje účinné odlučování i velmi malých částic. Frakční odlučivost pro elektrický princip vychází z Deutch-Andersenovy rovnice, která je vyjádřena jako:

$$O_f = 1 - e^{-Aw/\bar{V}} \quad (2.4)$$

kde A je celková odlučovací plocha, w je konečná odlučovací rychlost částice a \dot{V} je průtok vzduchu odlučovačem. [4, 22]

3.2.5. Difuzní princip

Vlivem Brownova pohybu jemných částic molekuly plynu narážejí na částice a ty vychylují, až se zachytí na vláknech filtru. Děje se tak ve směru proti gradientu koncentrace. Převažující je tento jev pro částice do velikosti 0,3 μm a zároveň platí, že s menší velikostí částice je spojena obecně větší intenzita pohybu a difuzního přenosu. Je v zobrazen na obr. 14.

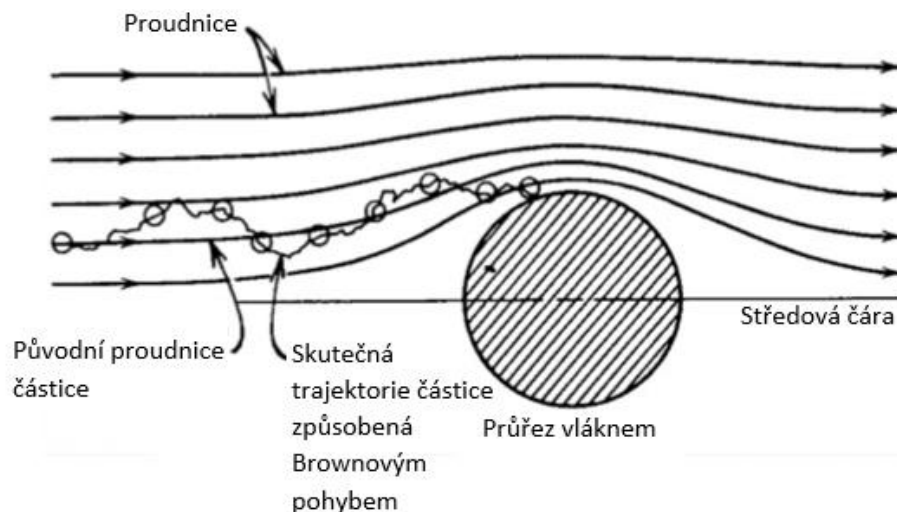
Charakteristickým kritériem u difuzního odlučovacího principu je Pecletovo kritérium Pe , definované jako:

$$Pe = \frac{v_0 \cdot d}{D_B} \quad (2.5)$$

kde d charakteristický rozměr obtékaného tělesa a D_B součinitel tepelné difuze, který je funkcí teploty a pohyblivosti částice. Frakční odlučivost je obecně funkcí [4, 20]:

$$O_f = f(\varepsilon, Pe, Re_d) \quad (2.6)$$

kde ε je poréznost, vyjádřená jako poměr objemu mezer ku objemu, který zaujímají vlákna filtrační vrstvy.



Obr. 14: Znárodnění difuzního principu odloučení [19]

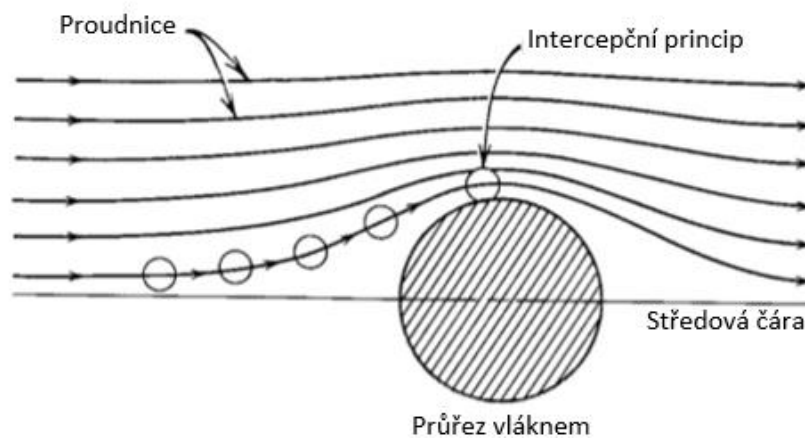
3.2.6. Intercepční princip

Uplatňuje se ve filtraci a jedná se o přímé zachycení částice vlivem její konečné velikosti. Na obr. 15 je vidět, jak částice vazce obtékají vlákno a na něm se přichytí.

Frakční odlučivost závisí na:

$$O_f = f(\varepsilon, \alpha, Re_d) \quad (2.7)$$

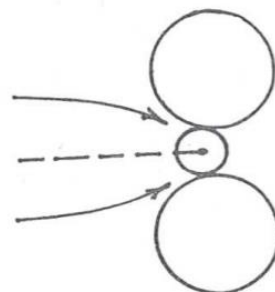
kde α je parametr intercepce, což je poměr ekvivalentní velikosti částice a průměru vlákna. [4]



Obr. 15: Intercepční princip odloučení [19]

3.2.7. Síťový princip

Při průchodu částice hustou vlákninou nebo už nahromaděnými jinými částicemi dojde k vklínění mezi ně a zachycení, jak je znázorněno na obr. 16. Z podstaty je patrné, že je výraznější u velkých částic. [4]



Obr. 16: Znázornění síťového principu odloučení [1]

3.3. Frakční odlučivost

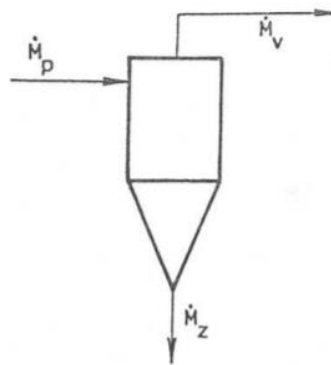
Úkolem odlučovače je obecně odloučení příměsí z proudu plynu na minimální hodnotu a tak, aby bylo vyhověno emisnímu limitu. Celková odlučivost se dá vyjádřit jako:

$$O_c = \frac{\dot{M}_z}{\dot{M}_p} = \frac{\dot{M}_p - \dot{M}_v}{\dot{M}_p} = 1 - \frac{\dot{M}_v}{\dot{M}_p} = 1 - P_c \quad (2.8)$$

kde, jak je znázorněno na obr. 17, \dot{M}_p je přiváděný hmotnostní tok, \dot{M}_z zachycený hmotnostní tok, \dot{M}_v výstupní hmotnostní tok a P_c je celkový průnik. S použitím koncentrací lze celkovou odlučivost lze vyjádřit:

$$O_c = \frac{\dot{V}_p C_p - \dot{V}_v C_v}{\dot{V}_p C_p} \cong \frac{C_p - C_v}{C_p} = 1 - \frac{C_v}{C_p} \quad (2.9)$$

kde C_p a C_v jsou hmotnostní koncentrace na přívodu a na výstupu.



Obr. 17: Schéma odlučovače [1]

Celková odlučivost není vlastností odlučovače, ale závisí na jeho odlučovacích schopnostech. Schopnost odlučovače odlučovat částice v úzkém velikostním intervalu vyjadřuje frakční odlučivost, která je daná vztahem:

$$O_f = \frac{\dot{M}_z dZ_z}{\dot{M}_p dZ_p} = O_c \frac{dZ_z}{dZ_p} \quad (3.1)$$

kde je Z_z zbytek částic v záhytu a Z_p je zbytek částic na přívodu do odlučovače. Frakční odlučivost vyplývá z působících odlučovacích principů. [4]

3.4. Tlaková ztráta

Tlaková ztráta odlučovače je definována jako rozdíl celkových tlaků na vstupu a výstupu z odlučovače, celkový tlak je součet statického a dynamického. Obecně je snaha o co nejmenší tlakovou ztrátu, a tím menší energetické nároky. [4]

4. Čističky vzduchu

Čistička je zařízení sloužící k odlučování škodlivin z prostoru poháněné pomocí ventilátoru nebo méně často využívající pouze volného průchodu vzduchu. S postupem času se vyvinulo několik metod, které toho dosahují s různou účinností a cenovou dostupností.

4.1. Historie

S postupným rozvojem průmyslu a využíváním energie z uhlí se váže zvětšující se problém se znečištěním vzduchu a následné dýchací obtíže, a tak v 18. století začaly první debaty o tom, jak vzduch čistit.

S první pomůckou přišli bratři John a Charles Deane v roce 1823, kteří si nechali patentovat tzv. „Smoke helmet“ pro hasiče zasahující při požárech, kde je znečištění vzduchu velmi omezovalo při práci. Nejednalo se o filtr jako takový, ale pouze helmu s hadicí pro přívod vzduchu z vnějšku. Tento nápad se příliš prosadit nepovedlo a vzniklo pouze pár kusů. O pár desítek let později Johna Stenhouse zaujaly vlastnosti uhlíku a jeho schopnost vázat některé atomy a přišel s nápadem filtru uhlíkového typu, který si poradil i s některými škodlivými plyny. John Tyndall technologii filtrace dále vylepšil a navrhl novou masku pro hasiče, která filtrovala škodlivé plyny a kouř.

Důležitým milníkem pro kvalitu a čištění vzduchu byl vynález HEPA (High-Efficiency Particulate Air Filter) filtru v roce 1940, kdy pracovníci při práci na projektu Manhattan potřebovali k výzkumu patřičnou ochranu před radioaktivními částicemi. Ačkoliv ochranu před radioaktivním zářením neposkytuje, toho že chrání před velmi malými částicemi, se později využilo právě i pro účely domácích čističek a tento filtr je do dnes jedním z nejpoužívanějších.

První domácí filtr vzduchu sestavili v roce 1963 Manfred a Klaus Hammes k peci na uhlí. Ti i nadále pokračovali ve vývoji filtrace vzduchu v domácnostech a později v 90. letech uvedli na trh i samostatně fungující čističku IQAir, která se nedlouho na to stala populární, a i dnes na trhu najdeme její vylepšené verze. [23, 24, 25]

4.2. Typy čističek

Obecně je na trhu velké množství čističek rozmanitých typů s různými filtry, přičemž obvykle platí, že čím více kombinací použitých filtrů, tím lepší účinnosti čistička dosahuje.

4.2.1. Mechanické (Hepa type)

Využívají filtrační materiály pro vysoce účinnou filtraci. Jejich struktura je tvořena navrstvenými vlákny různých průměrů, která tvoří filtrační vrstvu o celkové řádové tloušťce desetin až jednotek milimetrů.

Speciální typem mechanické čističky je tzv. True HEPA, toto označení je obecně uznávaná oficiální certifikace, že filtr splňuje požadavky a odstraňuje 99,97 % částic až do 0,3 mikrometru v laboratorních podmínkách podle ASME, U.S. DOE (Ministerstvo energetiky Spojených států ve spolupráci s americkou asociací strojních inženýrů) nebo v Evropském standardu EN 1822 99,95 % částic do 0,3 mikrometru. Nevýhodou tohoto typu, vlivem hustoty vláken, může být značná tlaková ztráta, kterou je nutné pokrýt například výkonnějším motorem. Mechanických filtrů je nejčastěji využito v kombinaci společně s předfiltrem a filtrem z aktivního uhlí. [20, 26]

4.2.2. Elektrostatické

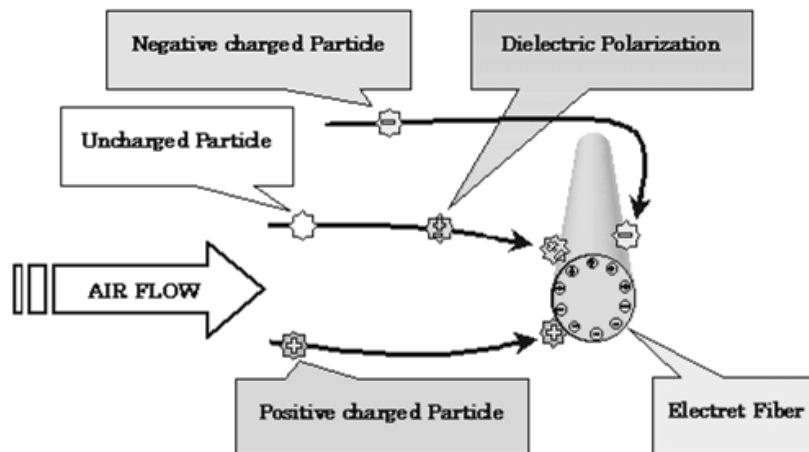
Pomocí elektrického odlučovacího principu jsou nabitě částice elektrickou silou přitahovány k odlučovacím plochám uvnitř, kde se zachytávají. Existují dvě technologie založené na tomto principu, a to elektrostatický precipitátor a tzv. elektrostaticky nabitá vlákna neboli vzduchový filtr Elektret.

Elektret tvoří materiál z vláken dielektrického syntetického polymeru, který nese semi-permanentní náboj má schopnost setrvávat v takovém stavu i po několik desítek let. Částice s nábojem vlákna přitahují a nenabitě částice okolní pole nejprve polarizuje na dipóly a jsou následně také přitahovány a zachyceny. Nepotřebuje tedy ke své funkci

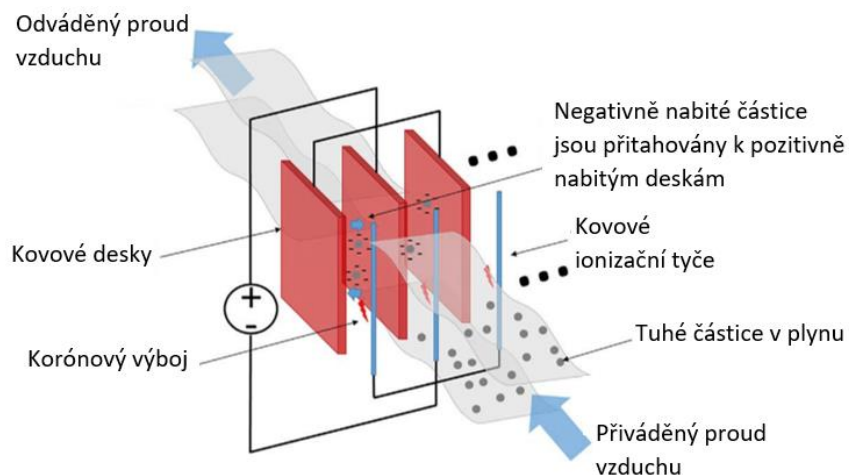
vnější napětí. Využívá vyměnitelné filtry, které je nutné obměňovat přibližně každé 2-3 měsíce. [27, 28]

U elektrostatického precipitátoru jsou desky nabíjeny vnějším zdrojem napětí. Výhodou je, že lze elektrody vyjmout a jsou omyvatelné. Ty vyžadují čištění většinou každých 4-6 týdnů, podle provozu. Jako vedlejší produkt může vznikat ozon, kdy dodáním energie se štěpí molekula kyslíku O_2 a atomy se mohou přeskupit na tříatomovou sloučeninu O_3 . [29]

Na obr. 18 a obr. 19 jsou jednotlivé filtrační technologie znázorněny.



Obr. 18: Princip funkce filtru Elektret [27]



Obr. 19: Princip funkce elektrostatického precipitátoru [29]

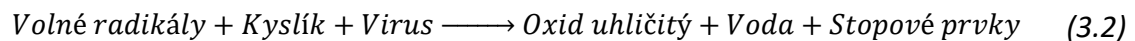
Výhodou elektrostatických filtrů je, že dochází k daleko menším tlakovým ztrátám. Obecně pro obě technologie také platí, že jsou dobré pro odstraňování jemných částic, alergenů, ale neodstraňují plynné škodliviny.

4.2.3. Ionizátory

Ionizátory generují do prostoru negativně nabitě částice, které urychlují ulpívání a shlukování znečišťujících látek a prachových částic. Nevýhodou je, že částice nijak nezachycují, a tak je možné je znovu rozvířit zpátky v prostoru. Dalším problematickým bodem pak je, že produkují ozón. [30]

4.2.4. PECO technologie

Využívá fotoelektrochemické oxidace, kdy přeměněné volné radikály reagují s kyslíkem a rozkládají škodliviny na povrchu filtru a ty jsou následně přeměněny na sloučeniny neškodné pro zdraví, které čistička zpátky vypouští do vzduchu nebo pomocí další technologie tyto částice zachytí. Tato chemická reakce se aktivuje dopadem fotonů na speciální částice nanofiltru. Její průběh je popsán rovnicí (3.2)



Na obr. 20 je vidět PECO filtr od výrobce Molekule. Čističky jsou účinné pro filtraci VOC, virů, bakterií, plísní, a alergenů. Nevýhodou je vyšší cena. [31, 32]



Obr. 20: Filtr od Molekule Air [31]

4.2.5. PCO technologie

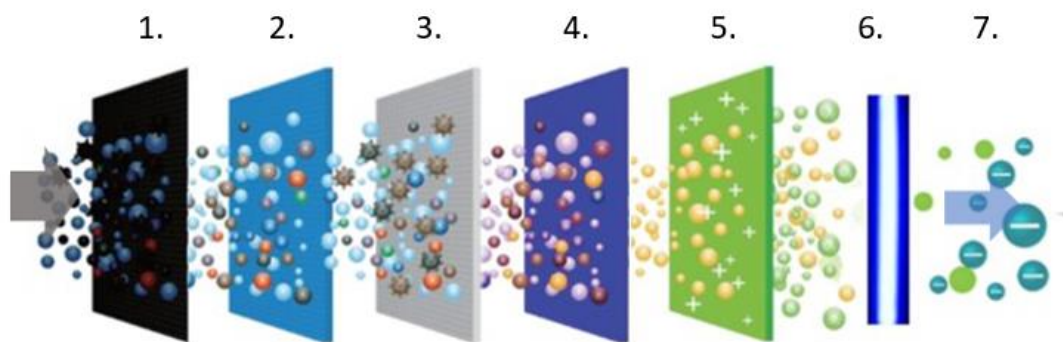
Využívá UV záření, které společně s působením fotokatalyzátoru jako je např. TiO_2 vyvolává chemickou reakci a produkuje hydroxylové radikály, které oxidují škodlivé organické sloučeniny. Což lze vyjádřit rovnicí (3.2).

Je založena na podobném principu jako PECO, kterou předcházela. Ve srovnání s ní je méně efektivní a pomaleji odstraňuje škodliviny. [33]

4.3. Stupně čištění

Existuje řada provedení čističek od nejjednodušších využívajících pouze jeden nebo dva stupně čištění až po nejúčinnější využívajících vícestupňové čištění s až 7 stupni.

Schematicky je vícestupňové čištění znázorněno:



Obr. 21: Schéma vícestupňového čištění vzduchu [34]

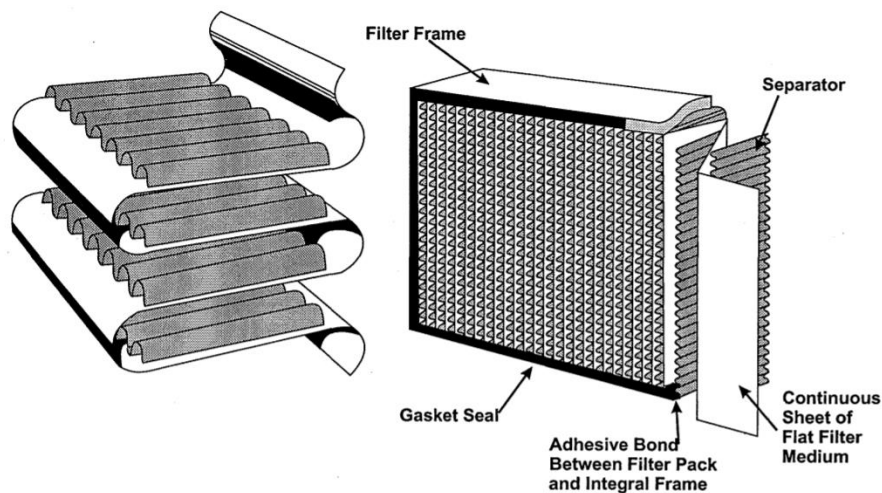
1. Před filtr

První v pořadí, má za úkol především zabránit pronikání velkých i okem patrných částic jako je zvířecí srst, vlasy, hmyz, větších částice prachu apod., čímž zásadně prodlužuje životnost dražších filtrů. Používají se na něj různé převážně omyvatelné nebo čistitelné materiály. Některé čističky využívají mřížky nabitě statickou elektřinou a tyto typy před filtrů patří mezi ty s nejdelší životností.

2. Hepa filtr

Jedná se o akumulací filtr, který je nutné pravidelně vyměňovat. Je tvořen z filtračních papírů ze skelných vláken. K zefektivnění filtrace je většinou použito skládaného filtračního materiálu se sklady oddělenými pomocí separátoru nebo nalepením

pružného separačního materiálu, to je znázorněném na obr. 22. Vyznačuje se vysokou účinností filtrace, a proto je velmi rozšířený. Udává se, že filtr při běžném provozu vydrží 6-12 měsíců. [21, 35]



Obr.22: Konstrukce HEPA filtru [35]

3. Antibakteriální vrstva

Slouží jako další ochrana před mikrobiálními aerosoly. Většinou má strukturu nanovláknité membrány nebo může být nanesena na jiném filtru. Je tvořena částicemi jako jsou atomy stříbra, v budoucnu by mohlo dojít i k využití uhlíkových nanotrubic. [36]

4. Sorpční filtr

Nejčastěji se jedná o filtr s aktivním uhlím, který funguje na principu chemické adsorpce, kdy se při průchodu částice filtračním materiálem vytvoří kovalentní nebo iontová vazba se sdílením elektronů.

Využívají se především k filtraci VOC, složek tabákového kouře a odérů ve vzduchu, na které jsou HEPA filtry neúčinné. Naopak ale hůře zachycují prachové částice, proto je velmi časté kombinování těchto dvou technologií. Jsou poměrně nákladné a potřebují výměnu filtru přibližně každé 3 měsíce, v závislosti na provozu. [37]

5. Fotokatalyzátor

Fotokatalyzátor pomocí oxidace rozkládá škodliviny na látky jako jsou voda, oxid uhličitý apod. Fotokatalytická reakce potřebuje ke svému průběhu dodané záření. Reakce

tohoto nízko teplotního fotokatalyzátoru probíhá za pokojové teploty a filtr má dlouhotrvající životnost, jelikož působí v reakci pouze jako médium.

Jejich předností je efektivní odstraňování formaldehydu, amoniaku, benzenu, VOC a jiných plynů. [33, 38]

6. UV-C filtr

Působením UV lampy vlnové délky 200-280 nm dochází k zničení virů, bakterií a plísňových spor. Ne všechny však musí být na UV záření dostatečně citlivé nebo je pro jejich likvidaci potřebné déletrvajícím působením záření. Působením UV záření je zamezeno jejich reprodukci a pro jejich odstranění ze vzduchu se často využívá UV-C filtr v kombinaci s jinými typy filtru jako HEPA. [39]

Také zde je vedlejším produktem ozon, kdy při dopadu záření se některé molekuly kyslíku rozpadají na atomy kyslíku a znovu se navážou do tříatomové molekuly ozonu.

7. Generátor záporných iontů

Generuje záporně nabitě ionty, které jsou přitahovány kladně nabitými částicemi prachu nebo pylu a vážou se k nim.

4.4. Hodnocení čističek

S rozrůstajícím se trhem a nabídkami od různých výrobců by bylo pro spotřebitele obtížné zhodnotit jednotlivé produkty a zvláště v případě, pokud se jedná o stejný typ filtrů, kde se ukazuje, že kvalita může být velmi rozdílná. Příkladem je např. technologie HEPA, kdy existuje spousta vlastních řešení výrobců jako např. HEPASilent, HyperHEPA a další. Aby se toto zobjektivnilo, vzniklo několik hodnotících testů.

4.4.1. ANSI/AHAM AC-1

Hodnocení bylo vyvinuto americkou organizací Association of Home Appliance Manufacturers v 80. letech minulého století. Využívá parametr CADR (Clean Air Delivery Rate), který sleduje odloučené částice a množství vzduchu proteklého filtrem. Využívá standardizovanou laboratorní místnost o rozměrech 11 x 11 x 8 ft, kde spotřebiče testuje na odstranění znečištění ve třech kategoriích - prachové částice, pylové alergeny a tabákový kouř, a každou hodnotí počtem bodů, základem hodnocení je rovnice:

$$CADR = V \cdot (\Lambda_{AC} - \Lambda) \quad (3.3)$$

kde V je objem komory, Λ_{AC} je celkové množství částic změřených za chodu čističky a Λ je celkové množství částic změřených při vypnuté čističce. V tab. 7 jsou uvedeny testovací velikosti pro jednotlivé složky.

Nevýhodou je, že zkoumá pouze prvních 20 minut funkce (10 minut u pylu) a nevyjadřuje tedy žádnou časovou závislost, jak se účinnost proměňuje. Dále nezohledňuje zachycení ultra jemných částic do 0,1 μm , které jsou pro naše zdraví nejrizikovější a tvoří 90 % částic ve vzduchu, netestuje škodlivé plyny, chemikálie a VOC a nesleduje produkci ozonu. [40]

Tab. 7: Testovací velikost částic dle ANSI/AHAM AC-1

Složka	Testovací velikost částic [μm]
Tabákový kouř	0,09–1
Pylové alergen	0,5–3
Prachové částice	5–11

4.4.2. Další hodnocení

Existují i dalších testovacích metody, a stále jsou vyvíjeny nové, které by například umožnily lepší hodnocení dle poklesu plynného znečištění, VOC apod. Patří pod to i různé národní předpisy, kde příkladem takové metody je francouzská experimentální metoda XP B44-013 [41] nebo japonská metoda JEM 1467 [41], která v malé komoře (1 m^3) zkoumá s kolika opakováními zvládne čistička prostor znečištěný cigaretou za 30 minut vyčistit nad hodnotu koncentrace škodlivin 50 % z původní hodnoty. Nicméně tyto metody se v širším mezinárodním měřítku zatím neuplatňují, a navíc je obtížné je detailně dohledat.

Dále jsou k nalezení i některé nezávislé testy organizací od webů zaměřených obecně na větrání a čističky vzduchu. Většinou sledují parametry jako je průtok vzduchu, hluk, výkon a cena, případně jaké má čistička certifikace. V poslední době je na vzestupu i možnost ovládat čističku přes mobilní aplikaci či chytrou domácnost, což je také jedno z hledisek.

Příkladem takového hodnocení org. je TestFakta [42], který testuje vybrané čističky. V roce 2020 proběhl test čističek aktuálně prodávaných na evropském trhu a tab. 8 uvádí hodnocení dle této organizace. Na obr. 23 jsou čističky, které byly testovány.



Obr. 23: Testovaná zařízení [42]

Test u jednotlivých přístrojů hodnotil 3 kategorie s různou procentuální váhou. V prvním kategorii probíhalo celé měření pod hodnotou hluku 37 dB, to je přijatelná hodnota hluku čističek vzduchu dle švédské zdravotní normy. V této kategorii se měřil parametr CADR pro pyl a prach, hluk, spotřeba a aplikovatelná plocha místnosti, pod čímž se rozumí, že daný objem místnosti čistička vyčistí alespoň dvakrát za hodinu. V druhé části probíhalo měření za maximálního výkonu a opět se měřily složky CADR pro pyl a prach, hluk a spotřeba a aplikovatelná plocha místnosti. Poslední hodnotící kategorií byla uživatelská přívětivost, která zahrnovala komfortnost při výměně filtrů a čištění zařízení, vzhled displeje, jednoduchost ovládání a možnosti nastavení výkonu. Celkové hodnocení se skládalo ze 45 % z výsledku první části, ze 45 % z výsledku druhé části a z 10 % z poslední části.

Tab, 8: Test přenosných čističek vzduchu od org. TestFakta

Čistička	Coway	Vax	Philips	Winix	Blueair	Woods	Alfda	Rowenta	Sharp	Soehnle	Stadler Form	Xiaomi	Dyson
Přesný typ	AP-1220B	AC02AMV1	AC2889/10	WACU300	Classic 280i	AL 310 / ELFI 300	ALR300 Comfort	Pure Air Genius PU3080	UA-PG50E-W	AirFresh Clean Connect 500	Roger Little	"Mi Air Purifier 2H AC-M9-AA"	AP-1220B
Přibližná cena v GBP	320	250	400	270	425	440	250	300	250	225	245	80	600
Rozměry (cm)	38 x 72 x 20	51 x 30 x 30	56 x 24 x 36	55 x 42 x 22	53 x 43 x 23	61 x 16 x 51	57 x 34 x 22	38 x 22 x 53	54 x 38 x 21	54 x 27 x 27	45 x 33 x 17	52 x 24 x 24	105 x 12 x 21
Dálkové ovl./aplikací	Ne/Ne	Ano/Ne	Ne/Ano	Ne/Ne	Ne/Ano	Ne/Ne	Ano/Ne	Ne/Ano	Ne/Ne	Ne/Ano	Ne/Ne	Ne/Ano	Ano/Ano
Udávaná kapacita (m ³ /h)	41 m ²	CADR 335/105 m ²	CADR 333/79 m ²	CADR 330/66 m ²	CADR 305-340/26 m ²	CADR 274/19 m ²	CADR 300/60 m ²	CADR 350	40 m ²	CADR 300/78 m ²	CADR 249/35 m ²	CADR 310/31 m ²	27 m ²
Počet nastav.	5	5	5	4	3	Variabilní	3	4	4	4	5	3	10
Filtrační stupně	Mechanický filtr, uhlíkový f.,	Mechanický filtr	Mechanický filtr, uhlíkový f.,	Mechanický filtr, uhlíkový f., ionizátor	Mechanický filtr, uhlíkový f.,	Mechanický filtr	Mechanický f., uhlíkový f., ionizátor	Mechanický f., uhlíkový f.,	Mechanický f., uhlíkový f., ionizátor	Mechanický filtr, uhlíkový f., UV filtr	Mechanický filtr, uhlíkový f., UV	Mechanický f., uhlíkový f.,	Mechanický f., uhlíkový f.,
1. Test při nastavení do hlučnosti 37 dB:													
CADR (prach/pyl)	193 / 193	160 / 150	180 / 168	178 / 175	113 / 117	130 / 136	158 / 122	53/52	92/56	66/56	97/86	98/94	77/82
Hlučnost (dB)	38	34	38	38	28	35	35	19	22	22	32	33	39
Spotř. en. (W)	12	18	10	11	18	4	11	5	5	9	9	6	13
Zvládá místnost (m ²)	40	32	36	37	24	28	29	11	15	13	19	20	17
2. Test při maximálním výkonu:													
CADR (prach/pyl)	328 / 358	355 / 342	321 / 319	336 / 285	336 / 323	341 / 284	270 / 244	409 / 357	334 / 295	327 / 346	261 / 243	223 / 226	137 / 136
Hlučnost (dB)	50	50	52	51	48	50	48	57	55	57	57	59	50
Spotř. en. (W)	48	35	44	48	67	22	31	49	48	58	41	27	39
Zvládá místnost (m ²)	71	73	67	65	69	65	54	80	66	70	53	47	28
Hodn. 1. test	8,9	7,8	8,5	8,5	6,9	7,6	7,6	6,0	6,5	5,9	6,5	6,5	5,6
Hodn. 2. test	8,9	9,0	8,2	8,0	8,5	8,4	7,3	9,0	7,8	8,1	6,4	5,9	4,7
Uživatelská přívětivost	6,6	7,1	7,0	6,9	7,6	4,6	7,3	5,4	7,1	6,1	6,5	6,7	6,7
VÝSLEDEK	8,7	8,3	8,2	8,1	7,7	7,6	7,4	7,3	7,1	6,9	6,4	6,3	5,3
Poznámka	Vítěz testu	Dobrá výkonnost, malá úroveň hluku	Dobrá výkonnost, malá úroveň hluku	Dobrá výkonnost, malá úroveň hluku	Největší spotřeba, malý počet nastavení k nalezení toho vhodného	Nejnižší spotřeba, velká možnost nastavení, špatně se ovládá	Dobrá uživatelská přívětivost, ale malý počet nastavení	Výborná výkonnost, ale hlučnost a zvýšená spotřeba energ.	Dobrá výkonnost, ale vysoká hlučnost, obtížně se hledá opt. nastavení	Dobrá výkonnost, ale vysoká hlučnost i spotřeba	Hlučnost, jinak špatná výkonnost na nastavení s menší hlučností	Hlučnost, jinak špatná výkonnost na nastavení s menší hlučností	Špatná výkonnost

Vítězem testu se stala čistička Coway AP-1220B, která má 4-stupňovou filtraci s předodlučovačem, adaptabilním filtrem (na formaldehyd/ deodorizačním nebo mechanickým), filtrem s aktivním uhlím a Hepa filtrem. Obecně se dá říct, že si lépe vedly čističky s víceúrovňovou filtrací.

5. Experiment

Experimentální část práce probíhala v reálném prostředí, kde byla ověřována účinnost čističek při zachytávání prашných aerosolů.

5.1. Popis použitých přístrojů

Experiment posuzoval použití dvou čističek vzduchu Ionic Care Triton X6 a Daikin MC 707 VM z hlediska snižování koncentrace částic v prostoru. Počet částic byl měřen pomocí analyzátoru Grimm 1.109.

5.1.1. Optický analyzátor GRIMM 1.109

Jedná se o přenosný přístroj na měření koncentrace prашných aerosolů, který využívá k měření jejich optické vlastnosti. Měří v jednotkách počtu částic na litr (N/l) nebo hmotnostní koncentrace ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve 31 velikostních kanálech.



Obr. 24: Přístroj Grimm 1.109 a jeho ovládací panel

Na obr. 24 je celkový pohled na přístroj a ovládací panel, kde je vidět:

- 1) LCD Displej
- 2) Slot pro datovou kartu
- 3) Ovládací tlačítka
- 4) Vstup pro vzorek
- 5) Analogový konektor

- 6) Napájecí konektor
- 7) Připojení RS-232

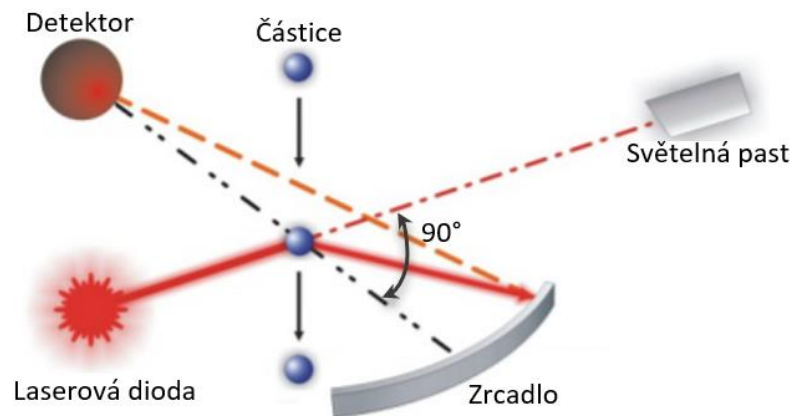
V tab. 9 jsou parametry přístroje Grimm 1.109

Tab. 9: Parametry přístroje [43]

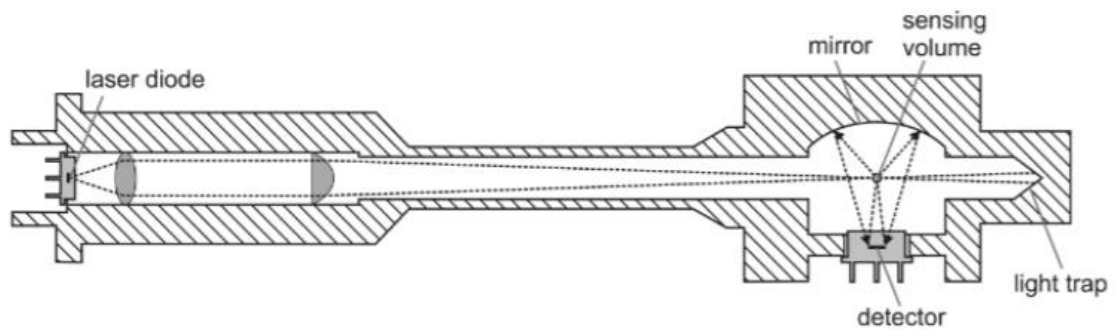
Velikost přístroje	0,24 x 0,12 x 0,06 m
Hmotnost	2,5 kg
Rozsah měření	0,25-32 μm ve 31 kanálech
Měření velikosti	0,25- 0,28- 0,3- 0,35- 0,4- 0,45- 0,5- 0,58- 0,65- 0,7- 0,8- 1,0- 1,3- 1,6- 2,0- 2,5- 3,0- 3,5- 4- 5- 6,5- 7,5- 8,5- 10- 12,5- 15- 17,5- 20- 25- 30- 32 μm
Maximální počet zaznamenaných částic	$2 \cdot 10^6$ částic/litr
Maximální hmotnost zaznamenaných částic	100 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Princip funkce

Polovodičová laserová dioda emituje paprsek s určitou vlnovou délkou a pokud v přiváděném proudu vzduchu narazí na částici, dochází k rozptylu. Uvnitř měřicí optiky tento rozptýlený signál dopadá do zrcadla pod určitým úhlem a následně se odráží do detektoru. Detektor se nachází v 90° úhlu k paprsku laseru, což optimalizuje příjem a rozlišení signálu i od velmi malých částic. Po zesílení signálu je definitivně určena velikost částice a je připočtena k dané velikostní frakci. Na obr. 25 a 26 je celá optická soustava znázorněna. [43]



Obr. 25: Princip ortogonálního analyzátoru částic [43]



Obr. 26: Schéma ortogonálního analyzátoru Grimm 1.109 od výrobce [43]

Přístroj je schopen zaznamenávat koncentrace v intervalu po 60 minutách až po 6 s. Data jsou zaznamenávána na vloženou kartu nebo pomocí připojeného kabelu RS-232 jsou přenášeny do počítače. Pro správnou funkci přístroje je podstatné, aby byl zajištěn dostatečný přívod okolního vzduchu do přístroje. To je zajišťováno pomocí čerpadla, které udržuje průtok 1,2 l/min vzduchu a chrání tak optiku. [43]

5.1.2. Čistička vzduchu IONIC CARE TRITON X6

Tato jednoduchá čistička Ionic Care Triton X6 patří k nejlevnějším na trhu s cenou okolo 3500 Kč. Čističku tvoří elektrostatický filtr částic, kdy na ionizačním drátku vzniká korónový výboj, ten nabíjí částice a ty jsou dále na usazovacích kolektorech zachyceny. Výrobce udává, že místnost zbavuje především polétavého prachu, pylů a alergenů a jeho účinnost je až 97 % hmotnostních procent.

Tělo čističky je celé z plastu s průřezy pro nasávání a průchod vzduchu. Má tři stupně výkonu, nízký, střední a vysoký, s průtokem vzduchu až 65 m³/h. Náklady na provoz se dle údaje distributora pohybují kolem 2 Kč/den. Zachycení částic zajišťují omyvatelné nerezové kolektory. Doporučené provozní podmínky jsou dle výrobce teplota 10-40 °C, vlhkost 15–60 % a je doporučeno přístroj umístit alespoň 0,5 m od překážek pro optimální cirkulaci. Na obr. 27 je čistička vyobrazena a v tab. 10 jsou její technické parametry. [44]



Obr. 27: Čistička vzduchu Ionic Care Triton X6 a její nerezový kolektor [44]

Tab. 10: Technické parametry Ionic Care Triton X6 [44]

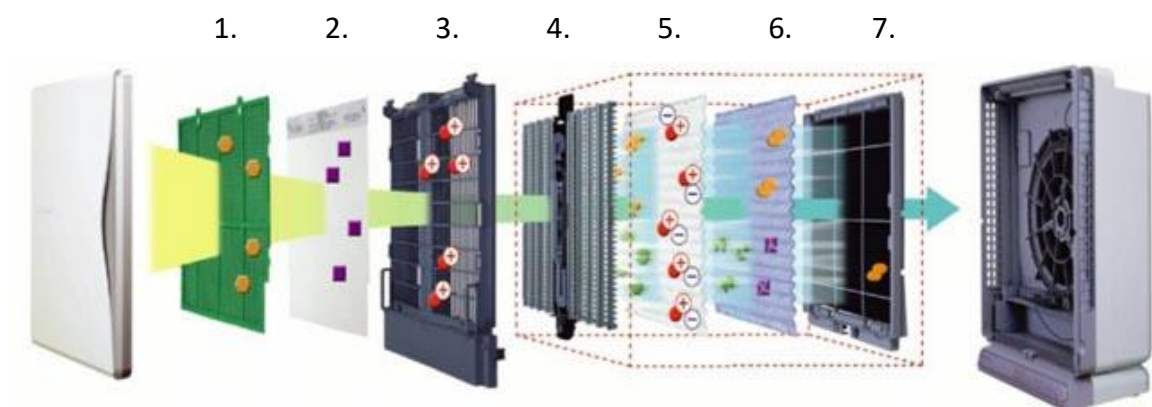
Příkon	max. 12 W
Napájení	220-240 V/ 50 Hz
Produkce lehkých záporně nabitých iontů ve vzdálenosti 50 cm	4,2.10 ⁵ / cm ³
Produkce lehkých záporně nabitých iontů ve vzdálenosti 250 cm	2,7.10 ² /cm ³
Maximální plocha místnosti při standardní výšce stropu (cca 250 cm)	max. 75 m ²
Váha	3,1 kg
Hlučnost	max. 8 dB
Vzduchový výkon	Až 65 m ³ /hod
Protiprašná účinnost	Až 97 %
Produkce ozonu	0,005 ppm

5.1.3. Čistička vzduchu DAIKIN MC 707 VM

Jedná se o již nevyráběné zařízení, které ve své době patřilo k nejlepším na trhu a tomu odpovídala i cena čističky okolo 13 000 Kč. Nyní vyráběné modely jsou velmi podobné. Přítomná je 7stupňová filtrace obsahující filtry vyznačené na obr. 26. Má 4 běžné režimy, viz. tabulka X, navíc turbo pro maximální výkon a automatický režim, který si sám přepíná mezi jednotlivými stupni. Na obr. 28 je podoba této čističky a na obr. 29 jsou jednotlivé stupně. [45]



Obr. 28: Daikin MC 707 VM [46]



Obr. 29: Jednotlivé stupně čističky Daikin MC 707 VM [46]

Stupně čištění [46]:

1. Katechinový před odlučovač – odděluje velké nečistoty a katechin má přirozené antioxidační vlastnosti
2. Bio-antibody filtr – odstraňuje vzdušné viry a bakterie, ale jeho přítomnost v čističce není nutná
3. Plazmový ionizátor – nabíjí prachové a pylové částice kladným nábojem a ty se pak na elektrostatickém filtru zachytí
4. Flash streamer – generuje elektrony s vysokými rychlostmi, které eliminují část virů, bakterií, zápachů, rozkládají některé chemické látky a podporují fotokatalytickou reakci
5. Elektrostatický prachový filtr – zachycuje částice s kladným nábojem na negativně nabitý filtr
6. Titanový apatitový fotokatalytický filtr – funguje k zachycení především látek organického původu a k eliminaci zápachu
7. Deodorizační katalyzátor – slouží především k odbourání pachů

V tab. 11 jsou uvedeny parametry přístroje.

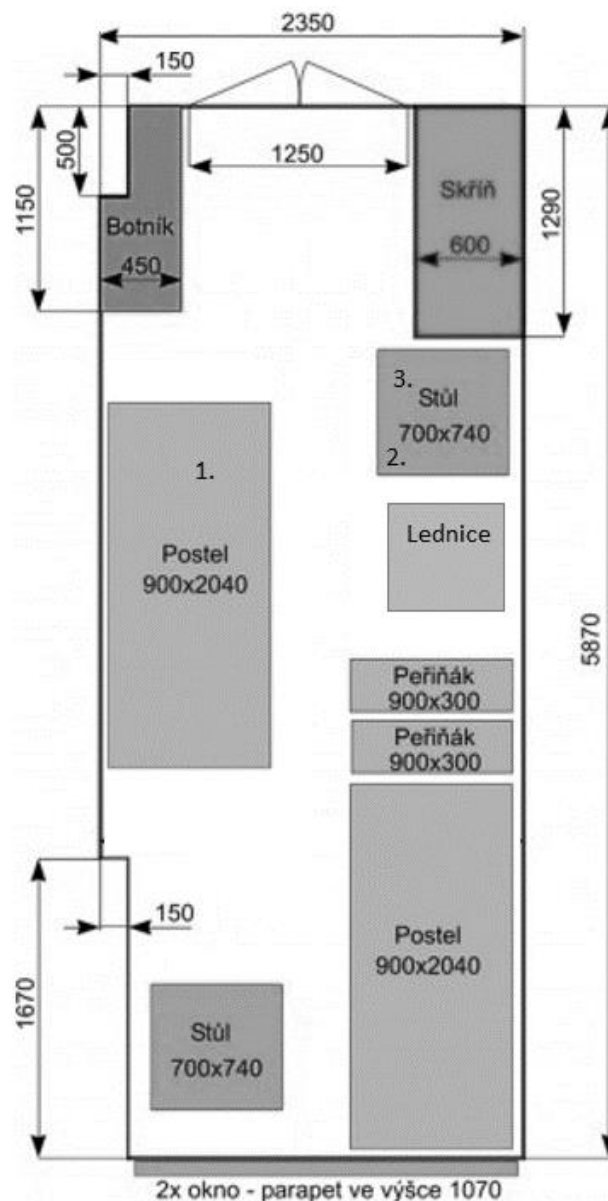
Tab. 11: Technické parametry Daikin MC 707 VM [45]

Rozměry	533×425×213 mm
Příkon	max. 55 W
Napájení	1f/220-240V/220-230V 50/60Hz
Aplikovatelná plocha místnosti	48 m ²
Váha	8,7 kg
Hlučnost	16/ 24/ 31/ 38/ 47 dB dle režimu
Průtok vzduchu podle režimu	HH: Turbo 420 m ³ /h H: Vysoké otáčky 285 m ³ /h M: Střední otáčky 180 m ³ /h L: Nízké otáčky 120 m ³ /h LL: Tiché nejnižší otáčky 60 m ³ /h

5.2. Metodika měření

5.2.1. Měřicí místnost

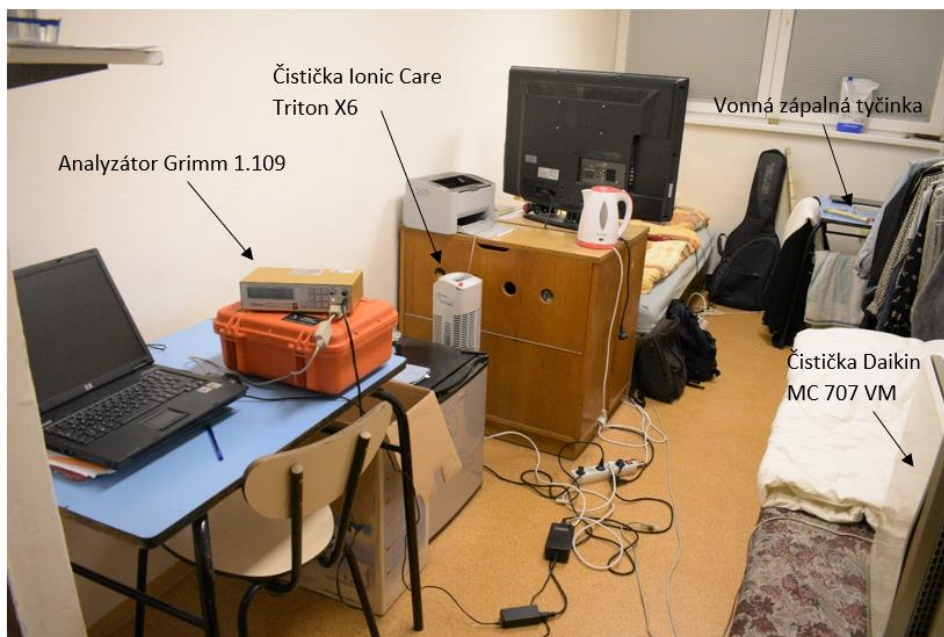
Veškeré měření probíhalo v pokoji č. 206 na koleji Strahov, nacházejícím se na bloku 5 ve 2. patře s okny směrem na západ. Půdorysná plocha pokoje je 13,79 m² a výška stropu 2,6 m, to představuje objem přibližně 36 m³. Půdorysné schéma pokoje i s vybavením je na obr. 30 a pohled s použitými přístroji na obr. 31 a obr. 32. Pokoj je vybaven plastovým oknem, u kterého lze předpokládat malou infiltraci a dvoukřídlými dveřmi, které jsou velmi špatně těsnící.



Obr. 30: Půdorysné schéma pokoje [47]

Označení pozice přístrojů na schématu:

1. Čistička vzduchu
2. Optický analyzátor Grimm 1.109
3. Notebook



Obr. 31: Ukázka pokoje při experimentu



Obr. 32: Umístění měřicího zařízení

5.2.2. Postup měření

Po zapojení analyzátoru Grimm 1.109 bylo spuštěno zaznamenávání koncentrace aerosolů. Na úplném počátku měření byla jako zdroj znečistění zapálena vonná tyčinka, která do 5 minut dokázala zvednout koncentraci částic na hodnotu více než 1,5 milionu částic/l a hodnoty v rozsahu 1,5 mil. Až 2 mil. byly použity jako počáteční hodnoty pro měření. Po dosažení této koncentrace byl zdroj znečistění odebrán. Úvodní měření probíhalo bez zapnuté čističky, aby se ukázalo, jaký je samovolný průběh snižování koncentrace. Poté bylo měření celkem 6x zopakováno s čističkami Ionic Care X6 a Daikin MC 707 VM při dvou režimech. Analyzátor Grimm 1.109 po celou dobu měřil koncentraci frakcí částic v litru po 6 s intervalech. V pokoji se po dobu měření nevětralo a zároveň se v pokoji pohybovala jedna osoba. V druhé části experimentu byl zkoumán vliv umístění na účinnost čističky Ionic Care.

Jednotlivá měření:

Ionic Care Triton X6

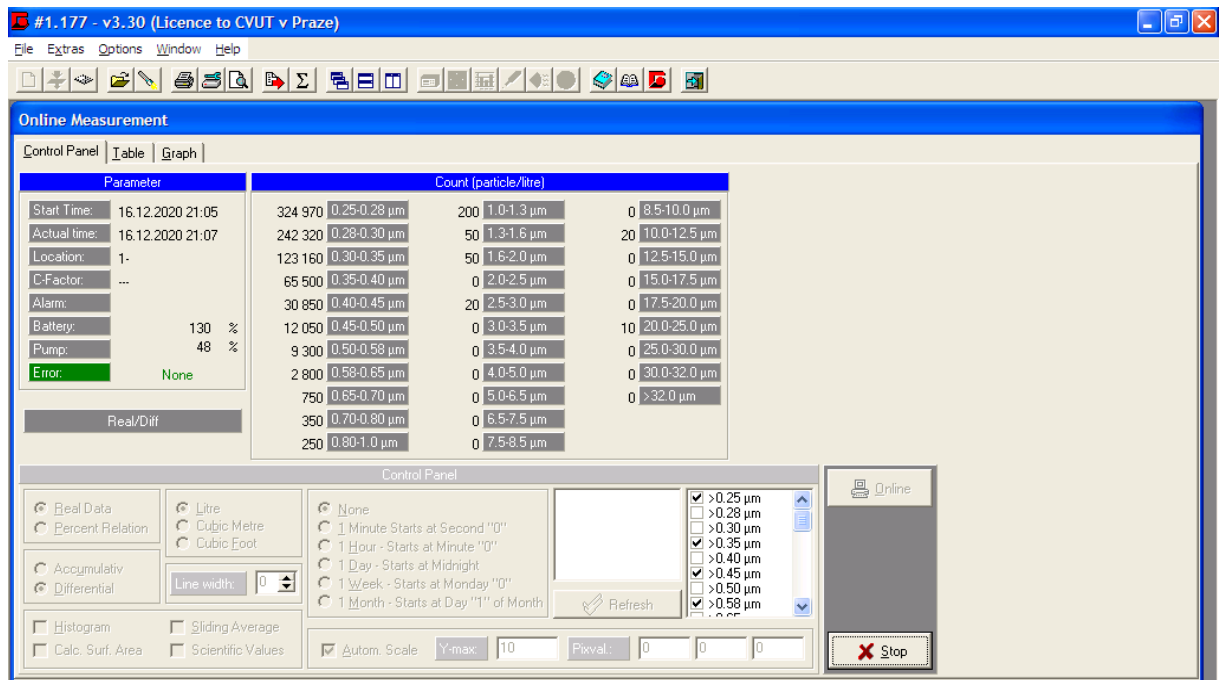
- Režim Medium – odpovídající objemu místnosti dle doporučení výrobce
 - 3 polohy v pokoji
- Režim High – odpovídající objemu místnosti dle doporučeného pravidla

Daikin MC 707 VM

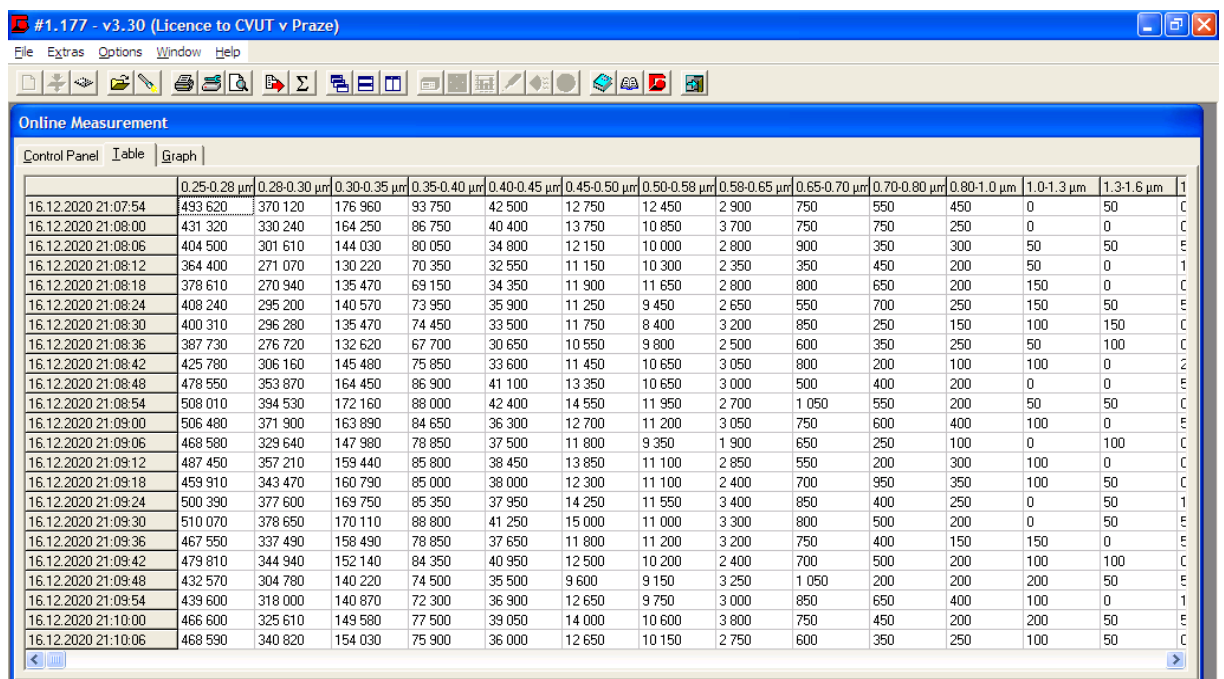
- Režim L – odpovídající objemu místnosti
- Režim Turbo – maximální výkon

5.2.3. Software analyzátoru Grimm 1.109

Experiment běžel na notebooku s operačním systémem Windows XP a programem Dust Monitor, který zaznamenával data z optického analyzátoru Grimm. Na obr. 33 a 34 je snímek obrazovky se záznamem dat. Na první záložce programu jsou informace o probíhajícím experimentu a ovládací panel s nastavením, na dalších dvou je pak možno zobrazit zaznamenaná data v tabulce a grafu.



Obr. 33: Program na záznam dat Dust Monitor

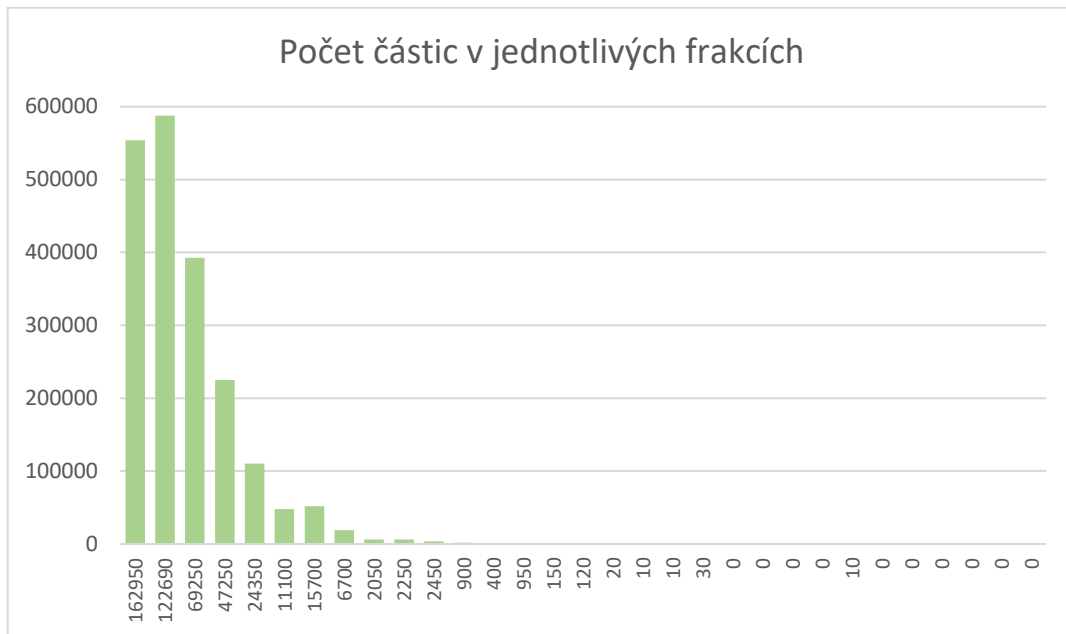


Obr. 34: Program na záznam dat Dust Monitor

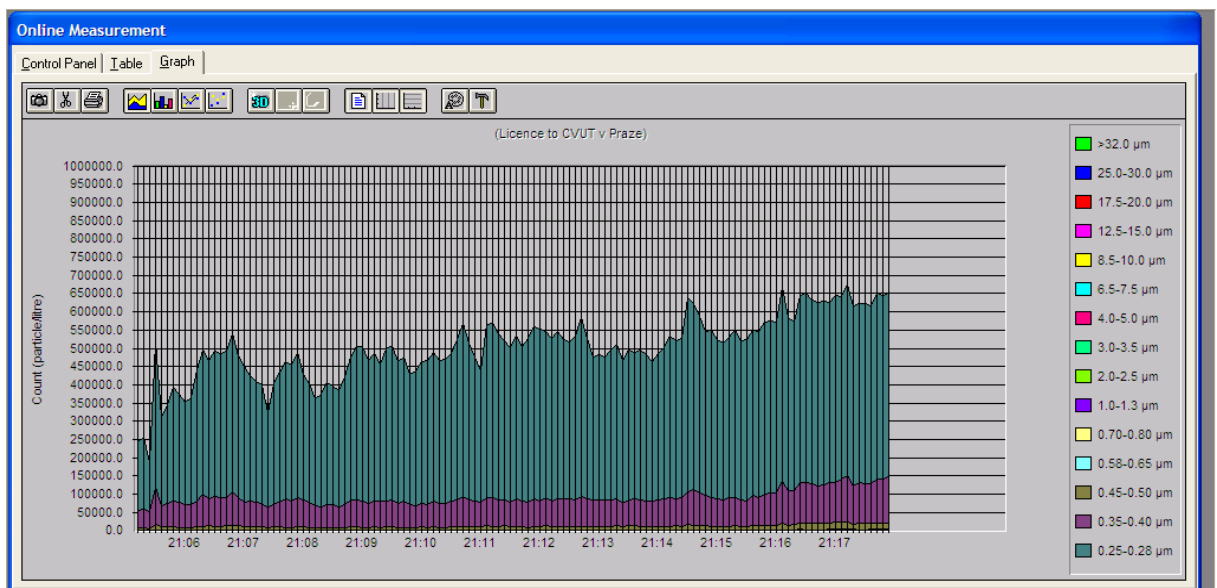
5.2.4. Velikostní složení částic

Software analyzátoru, který měří ve 31 frakcích, zaznamenal do tabulky jednotlivé počty částic ve frakci. Ve vzorku se v převážné většině nacházely částice velmi malých rozměrů,

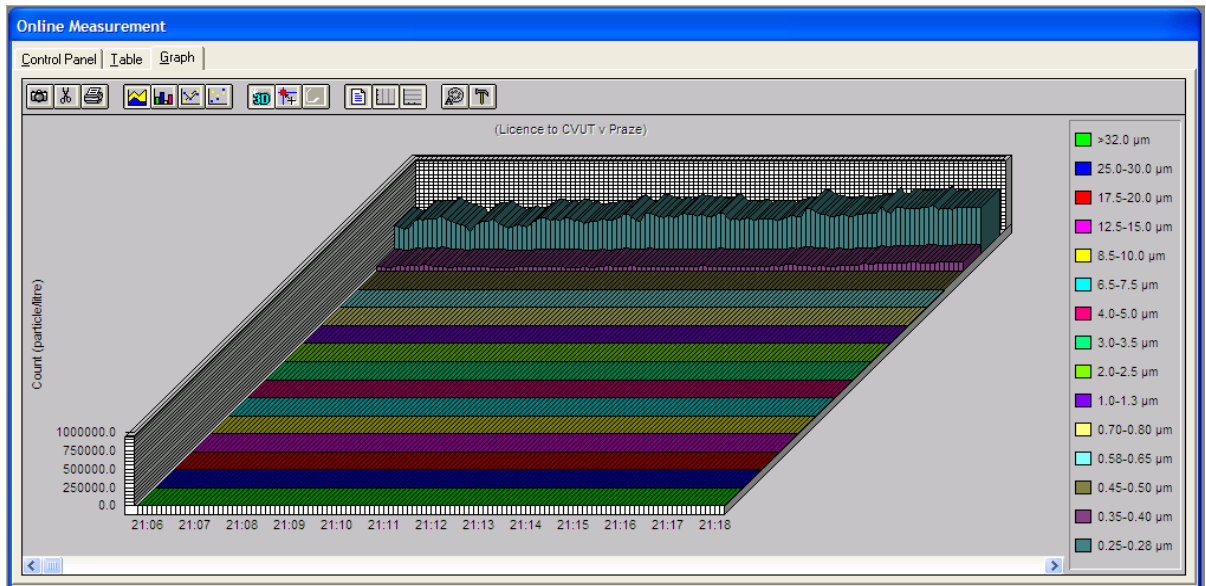
neboť vonná tyčinka produkuje znečišťující částice v submikronové oblasti. Na obr. 35 je na ukázkou ve sloupcovém grafu vynesena jednotlivý počet částic ve frakcích v daném časovém okamžiku při měření. Na obr. 36 a 37 je pak 2D a 3D graf počtu částic, tak jak je zobrazil program Dust Monitor.



Obr. 35: Počet částic podle frakcí



Obr. 36: 2D graf početního rozložení částic v místnosti



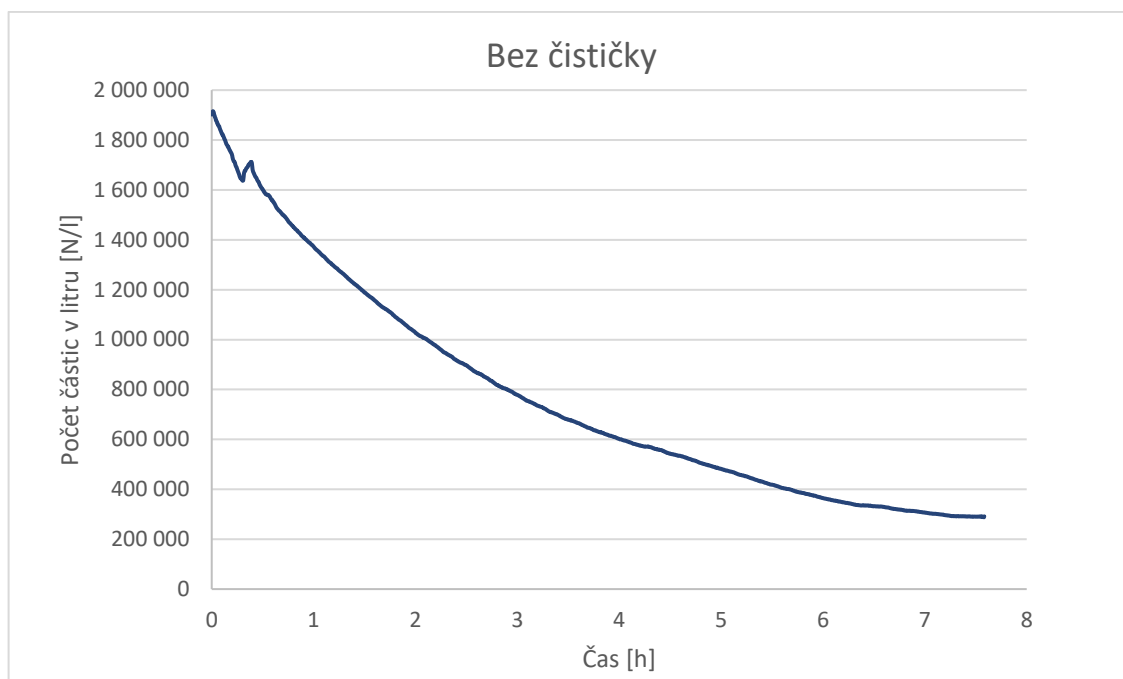
Obr. 37: 3D graf početního rozložení částic v místnosti

5.3. Vyhodnocení účinnosti

Naměřené hodnoty z experimentu byly vyexportovány do textového souboru a dále upraveny a vyhodnoceny v programu Excel. Vzhledem k množství dat, kdy u každého měření bylo zaznamenáno kolem 2,5 tis. až 4,5 tis. řádků, a kolísání koncentrace částic byla pro vynesení do grafu průměrována jejich hodnota za 6 min.

5.3.1. Měření bez použití čističky

Pro porovnání účinnosti čističek byl změřen průběh snižování koncentrace částic v prostoru rovněž bez zapnuté čističky, aby se ukázalo, jaký je samovolný pokles koncentrace. Během sledovaných 7 hodin se koncentrace snížila vlivem infiltrace a depozicí částic na povrchy o 84 %, z původních $1,7 \cdot 10^6$ částic/l na hodnotu přibližně 290 000 částic/l. V grafu na obr. 38 je celý průběh snižování koncentrace v místnosti znázorněn.



Obr. 38: Časový průběh snížení koncentrace částic v prostoru bez použití čističky

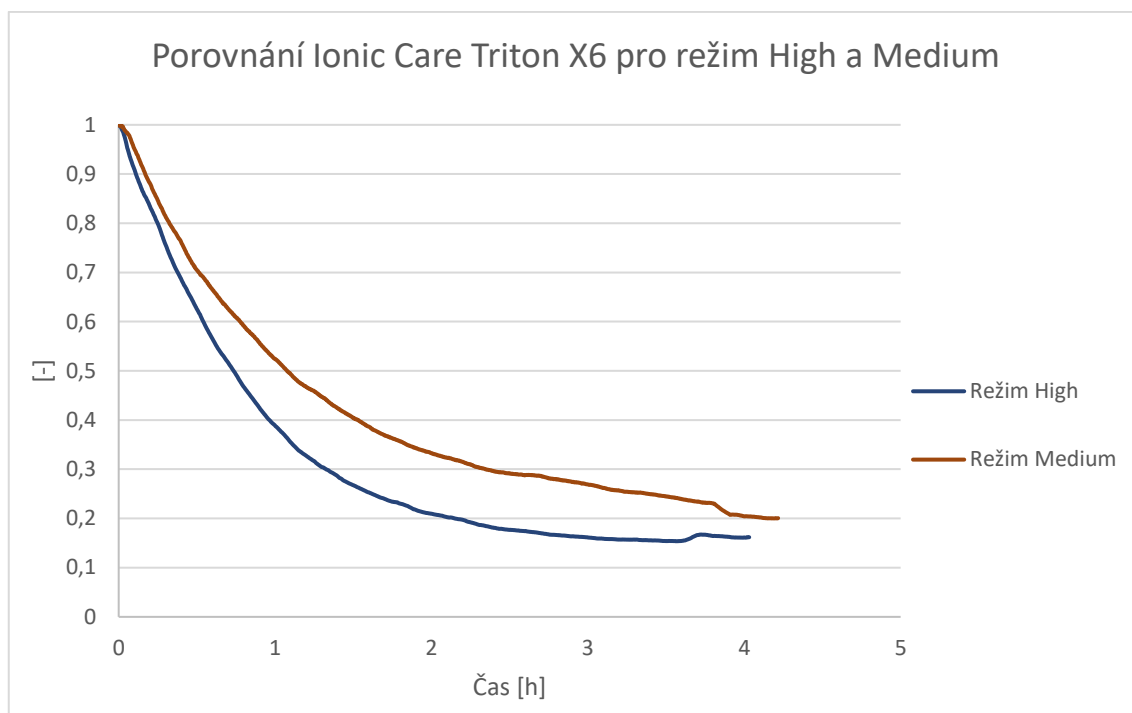
5.3.2. Čistička Ionic Care Triton X6

K hodnocení čističky Triton X6 byly podle velikosti místnosti zvoleny dva režimy. Dle manuálu pro místnosti do 50 m² byl vybrán režim Medium s průtokem vzduchu 38 m³/h a podle doporučeného pravidla, aby byl průtok místností 2–3krát větší než objem samotné místnosti, intenzivnější režim High s průtokem 65 m³/h, parametry měřených režimů čističky Ionic Care jsou v tab. 12.

Tab. 12: Parametry měřených režimů čističky Ionic Care Triton X6 dle údajů výrobce

	Režim M	Režim H
Průtok vzduchu [m ³ /h]	38	65
Hluk [dB]	8	8

Na obr. 39 je graf k porovnání časového průběhu koncentrace pro oba režimy. Procentuální pokles je u daného měření vždy vztažen k počáteční hodnotě koncentrace (tj. v čase, kdy byla zapnuta čistička). V tab. 13 jsou vyjádřeny procentuální poklesy koncentrace u obou režimů.



Obr. 39: Časový průběh snižování koncentrace částic v prostoru s čističkou Ionic Care Triton X6

Tab. 13: Procentuální pokles snižování konc. částic pro čističku Ionic Care Triton X6

Čas [h]	Režim High [%]	Režim Medium [%]
0	100	100
1	39	52
2	21	33
3	16	27
4	16	20

Je patrné, že křivka průběhu snižování koncentrace je u obou obdobná, ale podle očekávání režim High zvládl vyčistit prostor rychleji. Za 3 hodiny dosáhl 20 % z původní koncentrace částic a poté už probíhalo klesání minimálně. S režimem Medium se stejného výsledku docílilo za 4 hodiny. Po 4. hodině se u obou koncentrace prakticky ustálila na hodnotě přibližně 310 000 částic/l.

5.3.3. Čistička Daikin MC 707 VM

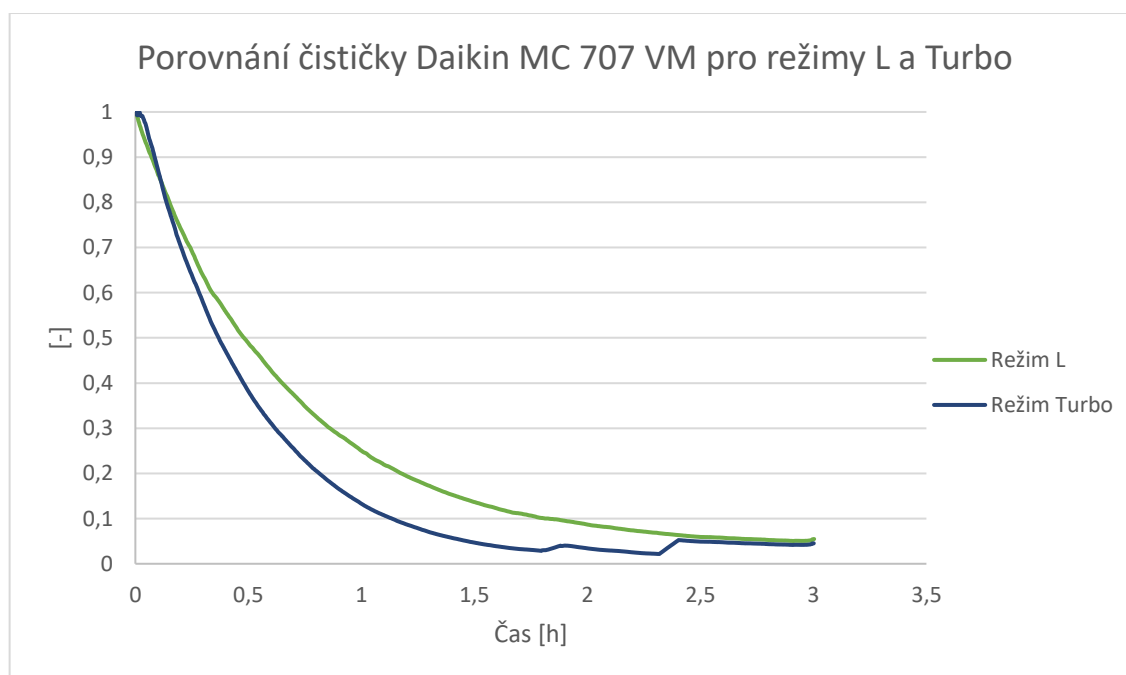
Pro čističku Daikin MC 707 VM byl s ohledem na velikost místnosti zvolen režim L s průtokem 120 m³/h. K porovnání a simulaci podmínek při náhlém větším znečištění

a následné potřebě prostor rychle intenzivně vyčistit byl použit režim Turbo. V tab. 14 jsou srovnány parametry jednotlivých režimů.

Tab. 14: Parametry měřených režimů čističky Daikin MC 707 VM dle výrobce

	Režim L	Režim Turbo
Průtok vzduchu [m ³ /h]	120	420
Hluk [dB]	24	47

Grafická závislost poklesu koncentrace u obou režimů je na obr. 40 a v tab. 15 jsou dosažené procentuální hodnoty poklesu koncentrace.



Obr. 40: Časový průběh snižování koncentrace částic s čističkou Daikin MC 707 VM

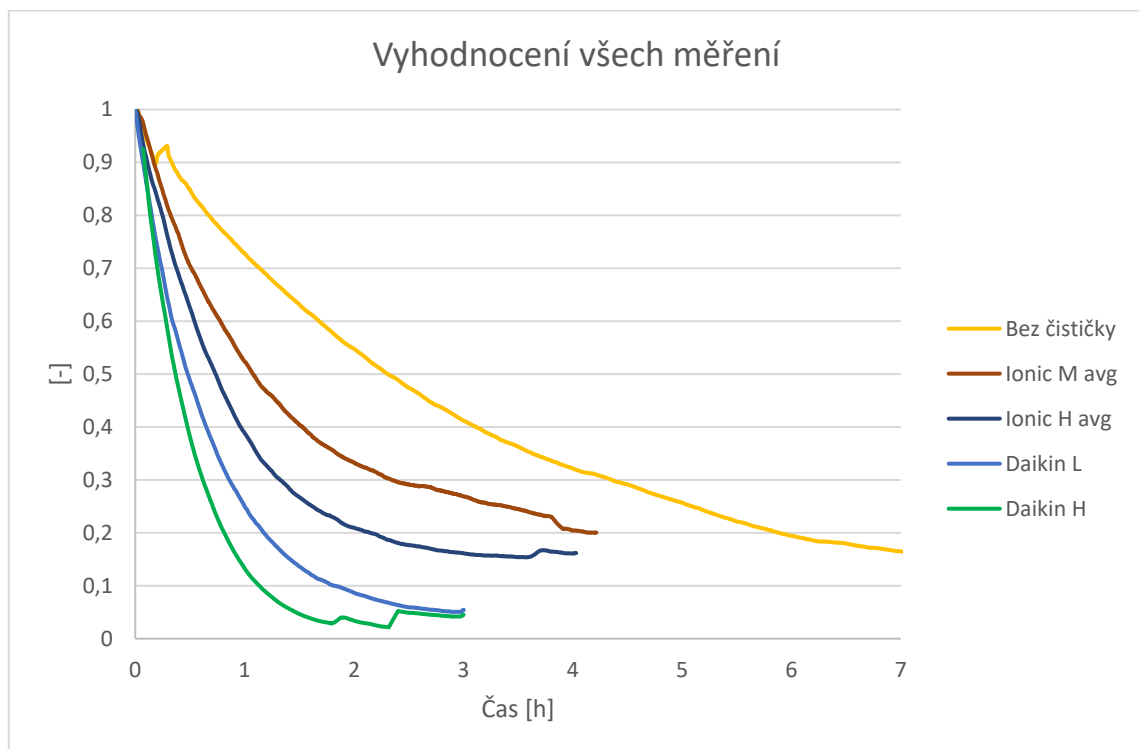
Tab. 15: Procentuální pokles snižování koncentrace částic pro čističku Daikin MC 707 VM

Čas [h]	Režim L [%]	Režim Turbo [%]
0	100	100
1	26	13
2	9	3
3	5	5

V obou případech bylo již po 2 hodinách dosaženo vyčištění do úrovně jednotek procent z původní hodnoty koncentrace. Oba režimy si tedy vedly podstatně lépe než předchozí čistička, Turbo režim to zvládl násobně rychleji, hluk v místnosti však při tomto režimu působil nepříjemně a rušivě. Pocitově již po půl hodině byl velmi znatelný rozdíl v kvalitě vzduchu.

5.3.4. Celkové srovnání

Grafické znázornění průběhů koncentrací u všech testovaných režimů je na obr. 41. Nejvyšší účinnost z měřených čističek měla podle očekávání čistička Daikin při nastavení Turbo, naopak nejnižší Ionic Care Triton X6 s režimem Medium. Patrný je i výrazný vliv samotné depozice částic na povrchy a výměna vzduchu infiltrací, kdy bez čističky se v poměrně malém prostoru už za 6 h koncentrace částic v litru snížila pod 20 % z původní hodnoty. V tab. 16 jsou přehledně vyjádřeny procentuální poklesy koncentrace částic pro všechna měření.



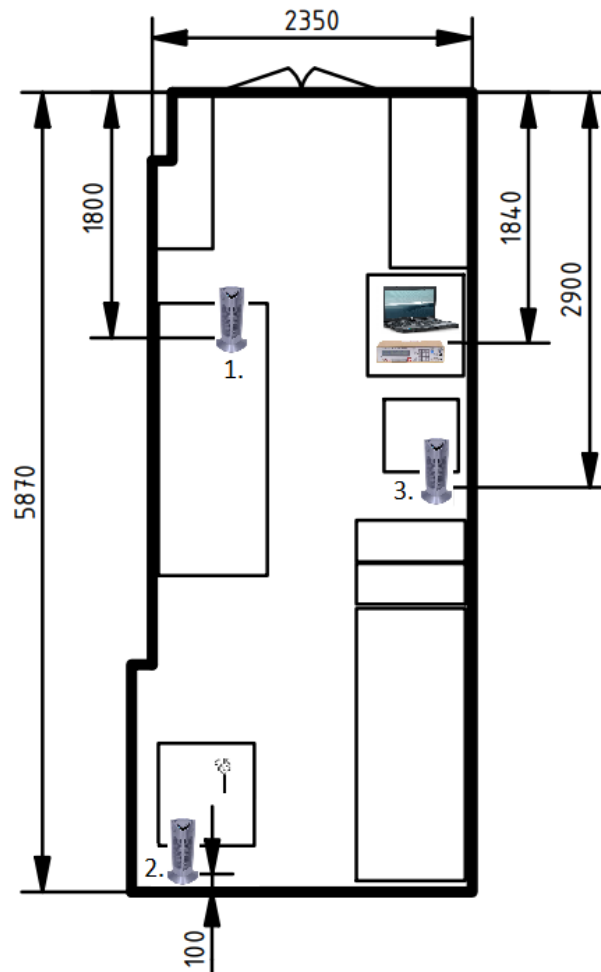
Obr. 41: Časový průběh snižování koncentrace částic v prostoru

Tab. 16: Porovnání snižování koncentrace částic v litru

Čas [h]	Bez čističky [%]	Ionic Care Triton X6		Daikin MC 707 VM	
		Medium [%]	High [%]	L [%]	Turbo [%]
0	100	100	100	100	100
1	73	52	39	26	13
2	55	33	21	9	3
3	41	27	16	5	5
4	32	20	16	-	-
5	26	-	-	-	-
6	19	-	-	-	-
7	16	-	-	-	-

5.3.5. Vliv umístění čističky

Druhá část experimentu probíhala se zaměřením na vliv polohy čističky v pokoji na průběh snižování koncentrace. Testování bylo prováděno s kompaktnější Ionic Care X6 při režimu Medium. Ta má dle návodu doporučené umístění: 0,5 m od předmětů, optimálně by měla mít výstup vzduchu po směru přirozené cirkulace vzduchu v místnosti, měla by být co nejdále od oken, či jiných zdrojů průvanu a vzdálena hřejícímu otopnému tělesu, v bezprostřední blízkosti by se neměl nacházet kovový předmět. Čistička byla v pokoji zkoušena celkem na třech místech podle obr. 42.

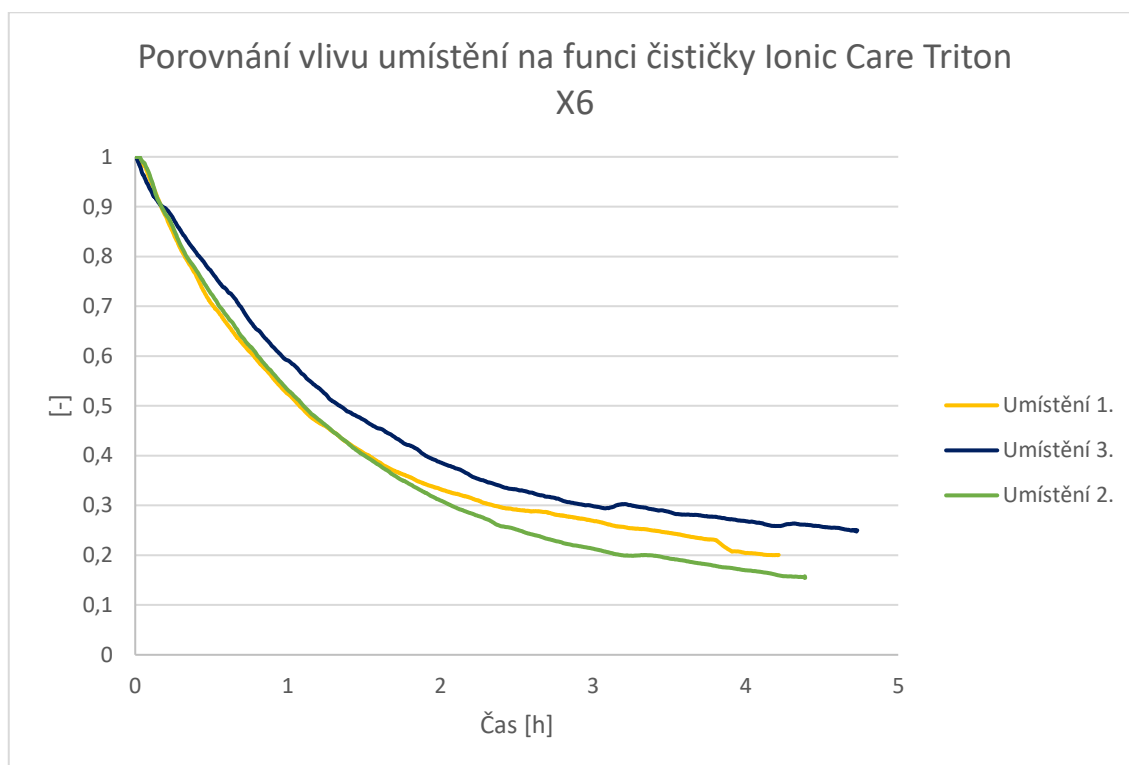


Obr. 42: Schéma jednotlivých umístění čističky

1. Umístění ve výšce 0,4 m nad zemí, s respektováním doporučení od výrobce.
2. Umístění na podlaze v rohu vedle otopného tělesa ve vzdálenosti 100 mm od stěn a 200 mm od otopného tělesa.
3. Umístění na zemi mezi skříní a lednicí, ve vzdálenosti 200 mm od stěny, 100 mm od skříně a lednice.

Umístění 2. a 3. mělo simulovat provoz při naprosto nevhodném umístění čističky v místnosti a ukázat, jak moc se to projeví na průběhu koncentrace. Na obr. 43 jsou procentuálně znázorněny průběhy poklesu koncentrace u jednotlivých měření. Nejlépe dopadlo měření č. 2, kdy se nepotvrdilo, že umístění u zdi a otopného tělesa bude z hlediska funkce omezující a za 4 h zvládla čistička prostor vyčistit na 17 % z původní koncentrace částic. Zřejmě zde sehrálo roli proudění v místnosti, ke kterému výrazně

přispívalo otopné těleso a fakt, že čistička byla v místě intenzivnějšího proudění vzduchu. Pro měření č.3 byla proto vybrána odhadem horší poloha v zákrytu nábytkem uprostřed místnosti. Čistička si při tom opravdu vedla nejhůře a za stejnou dobu koncentrace klesla na 27 %. V tab. 17 je procentuální porovnání poklesu koncentrace u všech poloh.



Obr. 43: Časový průběh snižování koncentrace částic v prostoru pro různá umístění čističky Ionic Care Triton X6

Tab. 17: Procentuální pokles snižování koncentrace částic čističkou Ionic Care Triton X6 v závislosti na poloze

Čas [h]	1. Umístění [%]	2. Umístění [%]	3. Umístění [%]
0	100	100	100
1	53	52	59
2	31	33	39
3	21	27	30
4	17	20	27

V experimentu se potvrdilo, že je nesprávné umísťovat čističku na očividně nevyhovující místo, avšak zároveň může platit, že podle výrobce optimální místo nemusí mít vždy nejlepší výsledky. Rovněž se ale v poměrně malé a nečleněné místnosti ukázalo, že vliv umístění čističky není až tak výrazný a že i čistička umístěná evidentně nevhodně funguje jen o málo hůře než čistička umístěná dle návodu výrobce.

6. Závěr

V teoretické části se práce věnuje popisu zrnitosti částic, kdy z hlediska zdravotních účinků jsou v oblasti ochrany ovzduší nejpodstatnější frakce částic PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_{10} . Velikost částic má zásadní vliv na to, jak hluboko do lidského těla jsou schopny pronikat. Hrubé částice PM_{10} jsou zachyceny už v horních cestách dýchacích, ale čím jsou částice menší, tím hlouběji se dostávají a větší riziko pro člověka představují. Především částice ve frakci PM_{10} , které mohou pronikat až do nervové a reprodukční soustavy.

Dále byly popsány nejčastější znečišťující látky ve vnitřním ovzduší a jejich vliv na zdraví a bylo stručně uvedeno hodnocení kvality vnitřního ovzduší včetně platné legislativy. Obecně kvalitu vnitřního vzduchu určuje několik složek, z nichž míra znečištění vzduchu tvoří nemalou část.

V kapitole „Filtrace vzduchu“ bylo uvedeno současné třídění filtrů atmosférického vzduchu, které jsou častou součástí čističek vzduchu. V oblasti filtrace vzduchu pro všeobecné větrání je v platnosti norma ČSN EN ISO 16890 a v oblasti vysoce účinné filtrace je v současné době souběh norem ČSN EN 1822 a ISO 29463. Dále byly uvedeny jednotlivé odlučovací principy, mezi které patří gravitační, setrvačný, odstředivý, elektrický, difuzní, intercepční a síťový a vysvětleny pojmy celková a frakční odlučivost.

Následující část se zabývala jednotlivými typy čističek vzduchu, kde bylo popsáno, že existují mechanické, elektrostatické, ionizátory, PECO a PCO a jaké mají charakteristiky. Uvedeno bylo i jaké mohou mít čističky jednotlivé stupně filtrace, a že obecně platí, čím více filtrů, tím lépe. V „Hodnocení čističek“ pak byla popsána norma ANSI/AHAM AC-1, která používá velmi rozšířený parametr CADR a dále byl uveden konkrétní test čističek vzduchu od org. TestFakta, kde jako nejlepší čistička vyšla Coway AP-1220B.

V experimentální části se posuzovalo použití dvou čističek vzduchu Ionic Care Triton X6 a Daikin MC 707 VM z hlediska snižování koncentrace částic v prostoru. Počet částic byl měřen pomocí analyzátoru Grimm 1.109. Čistička Ionic Care Triton X6 patří k nejlevnějším čističkám na trhu a je vybavena pouze elektrostatickým filtrem částic. Naopak čistička Daikin MC 707 VM (nyní již nevyráběný model) ve své době patřila k nejlepším na trhu a je vybavená sedmistupňovou filtrací, nyní vyráběné modely jsou velmi podobné.

Experiment probíhal v menším pokoji na kolejích Strahov o objemu přibližně 36 m³. Jako zdroj znečištění byl a použita vonná tyčinka, pomocí které se zvýšila koncentrace částic. Měření proběhlo jednak bez použití čističky, aby se ukázalo, jaký je samovolný průběh snižování koncentrace, a poté bylo zopakováno s čističkami Ionic Care X6 při režimu Medium a High a Daikin MC 707 VM při režimu L a Turbo. Režimy (kromě nastavení Turbo) byly vybrány na základě rozměru místnosti.

Nejvyšší účinnost z měřených čističek měla podle očekávání čistička Daikin při nastavení Turbo, naopak nejnižší Ionic Care Triton X6 s režimem Medium. Nicméně se ukazuje, že i jednoduchá čistička Ionic Care Triton X6 dokáže účinně snížit koncentraci prachu uspokojivou rychlostí. Výhodou je u ní tichý provoz. Patrný je i výrazný vliv samotné depozice částic na povrchy a výměna vzduchu infiltrací, kdy bez čističky se v poměrně malém prostoru už za 6 h koncentrace částic v litru snížila pod 20 % z původní hodnoty.

Druhá část experimentu probíhala se zaměřením na vliv polohy čističky v pokoji na průběh snižování koncentrace. Testování bylo prováděno s čističkou Ionic Care Triton X6 při režimu Medium, doporučeném dle objemu místnosti. Čistička byla v pokoji zkoušena celkem na třech stanovištích – na místě dle doporučení návodu od výrobce, tj. zejména dále od předmětů, s výstupem vzduchu po směru přirozené cirkulace vzduchu v místnosti a co nejdále od oken, či jiných zdrojů průvanu a vzdálena hřejícímu otopnému tělesu. Další dvě stanoviště měla simulovat provoz při naprosto nevhodném umístění čističky v místnosti, proto byla čistička umístěna jednak na podlaze v rohu vedle otopného tělesa a jednak na zemi mezi skříní a lednicí. Potvrdilo se, že je nesprávné umísťovat čističku na očividně nevyhovující místo, avšak zároveň může platit,

že podle výrobce optimální místo nemusí mít vždy nejlepší výsledky. Ukázalo se totiž, že při umístění v rohu vedle otopného tělesa čistička fungovala dokonce o trochu lépe než při optimálním doporučeném umístění. Při umístění na zemi mezi nábytkem byly výsledky dle očekávání nejhorší. Rovněž se ale v poměrně malé a nečlenité místnosti ukázalo, že vliv umístění čističky není až tak výrazný a že i čistička umístěná evidentně nevhodně funguje jen o málo hůře než čistička umístěná dle návodu výrobce.

Seznam použitých zdrojů

- [1] ASHRAE. 2001. ASHRAE Handbook: Fundamentals Handbook [online]. Dostupné z: <https://sovathrothsama.files.wordpress.com/2016/03/ashrae-hvac-2001-fundamentals-handbook.pdf>
- [2] HEMERKA, Jiří. 2009. Filtrace atmosférického vzduchu II [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/potrubi-a-jeho-soucasti/5843-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-ii>
- [3] NOVÝ, Richard. Technika prostředí. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02108-4.
- [4] HEMERKA, Jiří a Pavel VYBÍRAL. Ochrana ovzduší. 1. Vyd. V Praze: ČVUT, 2010. 148 s. ISBN 978-80-01-04646-3.
- [5] VYBÍRAL, Pavel. Ochrana ovzduší 2. přednáška [online]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vybirpav/Ochrana%20ovzdusi%20/OO%20.pdf>
- [6] HEMERKA, Jiří. Odlučování tuhých částic. Dot. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-01-01088-0.
- [7] TURČICOVÁ, Marie. 2020. Náhodná veličina a její rozdělení [online]. [cit. 2021-01-02] Dostupné z: https://www2.karlin.mff.cuni.cz/~turcic/nahodna_velicina_a_rozdeleni.pdf
- [8] DANIEL, Vincent. Airborne particulate matter and their health effects [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.encyclopedie-environnement.org/en/health/airborne-particulate-health-effects/>
- [9] DOLEŽÍLKOVÁ, Hana. 2010. Kvalita vnějšího a vnitřního vzduchu [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/6486-kvalita-vnejsiho-a-vnitriho-vzduchu>
- [10] Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby

- [11] VIJAYAN, Vannan Kandi, Haralappa PARAMESH, Sundeep Santosh SALVI a Alpa Anil Kumar DALAL. Enhancing indoor air quality –The air filter advantage. Lung India [online]. 2015, 32(5) [cit. 2021-01-08]. ISSN 0970-2113. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4587002/>
- [12] PRIMA-KLIMA [online]. Dostupné z: https://prima-klima.cz/wp-content/uploads/2015/02/vetrani_vytapeni_prehled_rd_cz_201.pdf
- [13] MATHAUSEROVÁ, Zuzana. 2008. Státní zdravotní ústav Praha. Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí budov – mikroklimatické podmínky a větrání [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: http://www.stpcr.cz/?download=articles/vvi-2008-05_s258.pdf
- [14] BLASINSKI, Petr. 2020. Elektrostatické filtry a jejich hodnocení v souladu s ČSN EN ISO 16890 [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/20451-elektrostaticke-filtry-a-jejich-hodnoceni-v-souladu-s-csn-en-iso-16890>
- [15] Garija Trade. ISO 16890 nový standard pro filtry atmosférického vzduchu [online]. Garija Trade s.r.o. Dostupné z: <http://www.garija.cz/docs/1529483257ISO-16890-standard.pdf>
- [16] Irema. ASHRAE 52.2 [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: https://www.irema.com/wp-content/uploads/2017/12/ASHRAE_52.2.pdf
- [17] ISO 29463 - New test standard for HEPA Filters [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.emw.de/en/filter-campus/iso29463.html>
- [18] Perry J. L., Agui J. H., Vijayakumar R., Submicron and Nanoparticulate Matter Removal by HEPA-Rated Media Filters and Packed Beds of Granular Materials, NASA STI, Alabama, May 2016, NASA/TM—2016–218224
- [19] JAHAGIRDAR, Shrikant. 2013. Air pollution and control [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/jshrikant/l-22-final>

- [20] HEMERKA, Jiří. 2009. Filtrace atmosférického vzduchu I [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/5815-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-i>
- [21] POLÁCH, Petr. 2020. Filtry třídy HEPA a ULPA s ohledem na ochranu před virovým onemocněním [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné na: <https://vetrani.tzb-info.cz/20837-filtry-tridy-hepa-a-ulpa-s-ohledem-na-ochranu-pred-virovym-onemocnenim>
- [22] REYNOLDS, Joseph P., Louis THEODORE a James MARINO. Calculating Collection Efficiencies for Electrostatic Precipitators. *Journal of the Air Pollution Control Association* [online]. 1975, 25(6), 610-616 [cit. 2021-01-08]. ISSN 0002-2470. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00022470.1975.10470116>
- [23] IQAir [online]. Dostupné na: <https://www.iqair.com/about-iqair/our-story>
- [24] Reviewsofairpurifiers. A Brief History of Air Purifiers With Infographic [online]. Dostupné z: <https://reviewsofairpurifiers.com/history-of-air-purifiers/>
- [25] V. On some recent experiments with a fireman's respirator. *Proceedings of the Royal Society of London* [online]. 1874, 22(148-155), 359-361 [cit. 2020-10-31]. ISSN 0370-1662. Dostupné z: doi:10.1098/rspl.1873.0060
- [26] ROBERTSON, Paddy. 2020. What Are HEPA Filters And How Do They Work [online]. Dostupné na: <https://smartairfilters.com/en/blog/what-is-hepa-filter-how-hepa-filter-work/>
- [27] TOYOBO [online]. Dostupné na: <https://www.toyobo-global.com/seihin/ac/filter/elitolon/index.htm>
- [28] TURNHOUT, J. HOENEVELD, W. ADAMSE, Jan-Willem, ROSSEN, Leonard. (1981). Electret Filters for High-Efficiency and High-Flow Air Cleaning. *Industry Applications, IEEE Transactions on*. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/3173764_Electret_Filters_for_High-Efficiency_and_High-Flow_Air_Cleaning

- [29] BECKER, Kurt. ZHU, Weidong, LOPEZ, Jose. (2017). Microplasmas: Environmental and Biological Applications. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Conceptual-diagram-of-an-electrostatic-precipitator-Source-Data-from-Becker-30-C2010_fig3_313428450
- [30] Breathe Quality. What is an Air Ionizer? Are ionizers good for you? [online]. Dostupné z: <https://breathequality.com/ionizer/>
- [31] Molekule [online]. Dostupné z: <https://molekule.com/>
- [32] RAO, Nikhil G., Ambuj KUMAR, Jenny S. WONG, Ravi SHRIDHAR a Dharendra Y. GOSWAMI. Effect of a Novel Photoelectrochemical Oxidation Air Purifier on Nasal and Ocular Allergy Symptoms. *Allergy & Rhinology* [online]. 2018, 9 [cit. 2020-11-01]. ISSN 2152-6567. Dostupné z: doi:10.1177/2152656718781609
- [33] GOSWAMI, D. Yogi. Decontamination of Ventilation Systems Using Photocatalytic Air Cleaning Technology. *Journal of Solar Energy Engineering* [online]. 2003, 125(3), 359-365 [cit. 2020-11-03]. ISSN 0199-6231. Dostupné z: doi:10.1115/1.1592540
- [34] Airoshine [online]. Dostupné z: <https://airoshine.com/products/airoshine-kj-501>
- [35] FIRST, Melvin W. Hepa Filters. *Journal of the American Biological Safety Association* [online]. 1998, 3(1), 33-42 [cit. 2020-11-01]. ISSN 1091-3505. Dostupné z: doi:10.1177/109135059800300111
- [36] KOMALADEWI, A.A.I.A.S., K. KHOIRUDDIN, I.W. SURATA, et al. Recent advances in antimicrobial air filter. *E3S Web of Conferences* [online]. 2018, 67 [cit. 2021-01-08]. ISSN 2267-1242. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/329188177_Recent_advances_in_antimicrobial_air_filter
- [37] Komaladewi, A.A.I.A.s & Khoiruddin, Khoiruddin & Surata, I.W. & Ary Subagia, I.D.G & Wenten, I Gede. (2018). Recent advances in antimicrobial air filter. *E3S Web of Conferences*. 67. 03016. 10.1051/e3sconf/20186703016.

- [38] MYERS, Philip D. 2018. Activated Carbon Air Filter: Everything You Need To Know [online]. Molekule. Dostupné z: <https://molekule.science/activated-carbon-air-filter/>
- [39] Olansi. 2018. Olansi Cold Catalyst Air Purifier Reviews And The Advantages In Olansi Air Purifier? [online]. Olansi Healthcare Co., Ltd. Dostupné z: <https://www.environmental-expert.com/news/olansi-cold-catalyst-air-purifier-reviews-and-the-advantages-in-olansi-air-purifier-737299>
- [40] KERINS, Ian. 2018. How Do UV-Light Air Purifiers Work? [online]. Molekule. Dostupné z: <https://molekule.science/how-do-uv-light-air-purifiers-work/>
- [41] SAAR, Ramona. 2018. Test Method for Rating Performance of Portable Room Air Cleaners [online]. Dostupné z: https://nanopdf.com/download/epa-room-air-cleaner-energy-star-program_pdf
- [42] GINEST, A. Development and evaluation of new test method for portable air cleaners [online]. Dostupné z: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/CR/CR15_New%20test%20method%20for%20portable%20air%20cleaners.pdf
- [43] Testfakta [online]. Testfakta Group Nordic AB. Dostupné z: <http://www.testfakta.com/#lang>
- [44] Manuál Aerosol Dust Monitors and Counters [online]. Dostupné z: <https://www.wmo-gaw-wcc-aerosol-physics.org/files/opc-grimm-model--1.108-and-1.109.pdf>
- [45] Ionic-care [online]. Hogner s.r.o. Dostupné z: https://www.ionic-care.cz/stahuj/navod_ionic-care-triton-x6.pdf
- [46] Pro alergiky [online]. Cyril a Metoděj s.r.o. Dostupné z: https://www.proalergiky.cz/eshop/datove_uloziste/ke_stazeni/navod-DaikinC707.pdf
- [47] Airkon Group, LLC [online]. Dostupné z: <https://prohlada.info/?m=2&gr=6&q=1>
- [48] SÚZ ČVUT [online]. Dostupné z: <https://www.suz.cvut.cz/koleje/koleje-strahov>

Přílohy

Součástí této práce je CD obsahující:

1. Bakalářskou práci ve formátu PDF
2. Naměřená data a vyhodnocení čističek ve formátu XLSX