

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**TŘÍDĚNÍ VZDUCHOVÝCH FILTRŮ
PRO VŠEOBECNÉ VĚTRÁNÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

MATĚJ PECHAN

12 – BS – 2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pechan** Jméno: **Matěj** Osobní číslo: **459978**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
 Studijní program: **Strojirenství**
 Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Třídění vzduchových filtrů pro všeobecné větrání

Název bakalářské práce anglicky:

Classification of Air Filters for General Ventilation

Pokyny pro vypracování:

Popište v současnosti používané systémy a materiály ve filtraci atmosférického vzduchu. Popište a zhodnoťte třídění filtrů v oblasti filtrace pro všeobecné větrání, vývoj třídění, normu ČSN EN 779 a novou normu ČSN EN ISO 16890. Popište doporučení pro použití filtrů podle jednotlivých tříd.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Hemerka J., Vybíral P.: Filtrace atmosférického vzduchu, ČVUT, Praha, 2011.
- 2) ČSN EN 779, Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic pro všeobecné větrání, ÚNMZ, 2012.
- 3) ČSN EN ISO 16890, Vzduchové filtry pro všeobecné větrání, ÚNMZ, 2018.
- 4) 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: **24.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.06.2019**

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 Valásek, DrSc.

podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen 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.

24.4.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotace

Tato bakalářská práce se věnuje teoretickým základům atmosférické a průmyslové filtrace, základním principům odlučování částic, provedení atmosférických i průmyslových filtrů a filtračním materiálům.

Dále se věnuje normám ČSN EN 779 a ČSN EN ISO 16890, které stanovují hodnocení a třídění vzduchových filtrů a zkušební metody. Tato část bakalářské práce obsahuje popis obou norem, rozdíly mezi normami a reakci výrobců vzduchových filtrů na změnu, která přišla se zavedením normy ČSN EN ISO 16890.

Abstract

This bachelor thesis deals with theoretical basics of atmospheric and industrial filtration, basic principles of particle separation, designs of atmospheric and industrial filters and filtration materials.

It also deals with standards ČSN EN 779 and ČSN EN 16890, which determine the evaluation and sorting of air filters and test methods. This part of the thesis contains a description of both standards, differences between standards and reaction of air filter manufactures to the change that came with introduction of ČSN EN ISO 16890.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Třídění vzduchových filtrů pro všeobecné větrání“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Pavla Vybírala, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 24.6.2019

Matěj Pechan

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Pavlu Vybíralovi Ph.D. za všechny poskytnuté materiály, informace a čas, který věnoval této práci.

OBSAH

1	Úvod.....	14
2	Filtrace.....	15
2.1	Filtrace atmosférického vzduchu a průmyslová filtrace	15
2.2	Základní veličiny	15
2.2.1	Frakční odlučivost	15
3	Základní odlučovací principy filtrace	20
3.1	Difúzní odlučovací princip	20
3.2	Intercepční odlučovací princip.....	21
3.3	Setrvačný odlučovací princip.....	21
3.4	Vzájemné působení odlučovacích principů	23
4	Provedení filtrů atmosférického vzduchu	24
4.1	Filtry prachové a aerosolové.....	24
4.2	Sorpční filtry	27
4.3	Dialektrické filtry a elektrofiltry	28
5	Filtrační materiály	29
5.1	Kovové filtry.....	29
5.2	Vláknité filtrační materiály	30
5.3	Porézní materiály	32
6	ČSN EN 779: Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic pro všeobecné větrání – Stanovení filtračních parametrů.....	33
6.1	Třídění.....	34
6.2	Zkušební trať a zařízení	34
6.3	Zkušební materiály	37
6.4	Postup zkoušky	37
6.5	Uvádění výsledků	41
6.6	Přílohy.....	44
7	ČSN EN ISO 16890: Vzduchové filtry pro všeobecné větrání.....	46

7.1	ČSN EN ISO 16890-1: Technické specifikace, požadavky a klasifikační metody založené na účinnosti odlučování částic (ePM).....	47
7.1.1	Třídění filtrů	48
7.2	ČSN EN ISO 16890-2: Měření účinnosti odlučování částic a odporu proti proudění vzduchu	49
7.2.1	Zkušební materiály	50
7.2.2	Zkušební trať	50
7.2.3	Zkušební metody	52
7.2.4	Zpracování údajů a výpočty	52
7.3	ČSN EN ISO 16890-3: Stanovení účinnosti gravimetrické metody a odporu proti proudění vzduchu pomocí hmotnosti zachyceného zkušebního prachu.....	53
7.4	ČSN EN ISO 16890-4: Metoda určující stanovení minimální zkušební účinnosti odlučování částic.....	54
7.5	Uvádění výsledků	54
8	Rozdíly mezi ČSN EN 779 a ČSN EN ISO 16890	58
8.1	Reakce výrobců filtrů.....	61
9	Závěr.....	64
	Seznam použité literatury.....	66

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

Označení	Název	Jednotka
A	čelní plocha vláknité vrstvy	$[m^2]$
A_j	odlučivost během zatěžovací fáze „j“	$[%]$
A_m	střední odlučivost během zkoušky až do dosažení konečné tlakové ztráty	$[%]$
a	velikost částice	$[m]$
c	objemové zaplnění	$[1]$
D_B	součinitel Brownovské difúze	$[m^2/s]$
d	průměr vlákna	$[m]$
d_i	průměr charakterizující rozsah velikostí nebo střední průměr rozsahu velikostí „i“	$[\mu m]$
d_i	dolní mez průměru částice ve velikostním intervalu „i“	$[\mu m]$
\bar{d}_i	geometrický střední průměr velikostního intervalu „i“	$[\mu m]$
$\Delta \ln d_i$	logaritmická šířka velikostního	$[1]$

	intervalu průměru částic „i“	
d_l	dolní hraniční průměr rozsahu velikostí	$[\mu m]$
d_u	horní hraniční průměr rozsahu velikostí	$[\mu m]$
E	účinnost pro daný rozsah částic	$[\%]$
$E_{A,i}$	střední frakční účinnost velikostního intervalu částic i	$[\%]$
$E_{D,i}$	frakční účinnost velikostního intervalu částic „i“ u filtračního prvku po umělé úpravě	$[\%]$
E_{dif}	frakční odlučivost izolovaného vlákna vlivem difúze částic	$[1]$
E_{dod}	korekce frakční odlučivosti izolovaného vlákna	$[1]$
E_f	frakční odlučivost vláknité vrstvy	$[1]$
$E_{f,i}$	frakční odlučivost izolovaného vlákna	$[1]$

$E_{f,\Sigma}$	výsledná frakční odlučivost	[1]
E_{int}	frakční odlučivost izolovaného vlákna vlivem intercepce	[1]
E_i	střední počáteční účinnost v rozsahu velikostí „i“	[%]
$E_{i,j}$	střední účinnost pro rozsah velikostí „i“ po fázi zatížení prachem „j“	[%]
$E_{m,i}$	střední účinnost v rozsahu velikostí „i“ během celé zkoušky až po dosažení konečné tlakové ztráty	[%]
E_{ps}	frakční účinnost pro určitou velikost částic „ps“	[%]
E_{setr}	frakční odlučivost izolovaného vlákna vlivem setrvačnosti částice	[1]
ePM_x	účinnost pro $x = 1 \mu\text{m}$, $2,5 \mu\text{m}$ nebo $10 \mu\text{m}$	[%]
$ePM_{x,min}$	minimální hodnota účinnosti pro $x = 1 \mu\text{m}$, $2,5 \mu\text{m}$ nebo $10 \mu\text{m}$ u	[%]

upraveného filtračního prvku

Kn	Knudsenovo kritérium	[1]
Ku	Kuwabarův parametr	[1]
M_j	hmotnost podaného prachu do filtru během zatěžovací fáze „j“	[g]
m_d	prach v potrubí za filtrem	[g]
Δm_{ff}	nárůst hmotnosti koncového filtru	[g]
m_j	hmotnost prachu pronikajícího filtrem během zatěžovací fáze „j“	[g]
N_i	počet částic v rozsahu velikostí „i“ před filtrem	[1]
n	počet vzorků	[1]
n_i	počet částic v rozsahu velikostí „i“ za filtrem	[1]
Pe	Pecletovo kritérium	[1]
$\overline{P_{o,ps}}$	zaznamenaný průnik pro velikost částic „ps“	[1]

\overline{P}_{ps}	konečná hodnota průniku pro určitou velikost částice „ps“	[1]
Δp	tlaková ztráta	[Pa]
$q_3(d)$	diskrétní rozdělení velikostí částic dle objemu	[1]
$Re_{\check{c}}$	Reynoldsovo číslo částice	[1]
Re_d	Reynoldsovo kritérium	[1]
$R_{i,ps}$	korelační poměr pro vzorek „i“ a pro velikost částice „ps“	[1]
\overline{R}_{ps}	korelační poměr pro určitou velikost částice „ps“	[1]
Stk	Stokesovo kritérium	[1]
s	tloušťka vrstvy	[m]
v_1	rychlost plynu před vláknitou vrstvou	[m/s]
v_{ε}	rychlost plynu před vláknem (ve vrstvě)	[m/s]
α	parametr intercepce	[1]

ε	poréznost vrstvy	[1]
η	dynamická viskozita plynu	[Pa · s]
λ	parametr vrstvy	[1]
τ_{ζ}	doba relaxace částice	[s]
Π	bezrozměrná tlaková ztráta	[1]

1 ÚVOD

Ochrana vnitřního pracovního i obytného prostředí se stala již nedílnou součástí našeho každodenního života. Obsah znečišťujících látek v ovzduší může způsobovat tělesnou nepohodu, případně zdravotní problémy. Z tohoto důvodu se klade velký tlak na vytvoření vyhovujících podmínek pro pobyt ve vnitřním prostředí. Jednou z operací pro vytvoření takovýchto podmínek je i filtrace atmosférického vzduchu, která má za úkol separovat nevyhovující tuhé a kapalné látky (částice), které by mohly vést k znečištění a znehodnocení prostorů, ve kterých denně žijeme. Tímto problémem se zabývá i legislativní stránka, která udává hygienické požadavky pro pobyt na pracovišti.[1]Téma třídění

a použití filtrů pro všeobecné větrání popisovala do nedávna norma ČSN EN 779, která byla nahrazena normou ČSN EN ISO 16890 s účinností od 1. 12.2017.[7]

Cílem této práce je popsat třídění filtrů v oblasti filtrace pro všeobecné větrání, zkušební metody používané při hodnocení filtrů dle obou zmíněných norem, popsat rozdíly mezi normami, uvést reakce výrobců filtrů na změnu normy a zhodnotit přínos nové normy ČSN EN ISO 16890.

2 FILTRACE

Základní důvod filtrace atmosférického vzduchu je vytvoření vyhovujících podmínek pro pobyt ve vnitřním prostředí. Obecně se filtrace dělí na vzduchotechnickou a průmyslovou filtraci. Popis a rozdíly mezi nimi jsou uvedeny níže.

Filtrace částic je specifikována základními parametry, jako jsou frakční odlučivost a tlaková ztráta.

2.1 Filtrace atmosférického vzduchu a průmyslová filtrace

Filtrace atmosférického vzduchu spočívá ve filtraci venkovního vzduchu, tj. prostředí, které nás denně obklopuje. Filtry pro filtraci atmosférického vzduchu jsou určeny především k separaci částic o nižší koncentraci v řádech mg/m^3 . Oproti tomu průmyslová filtrace je zatížena koncentrací v řádech g/m^3 . Filtrované plyny u průmyslové filtrace mohou mít vysoké teploty a mohou obsahovat agresivní příměsi. Vzduchotechnická filtrace je tedy určena pro prostředí představované vzduchem při standardních podmínkách. Vlastní odlučování částic probíhá až ve vláknité vrstvě (hloubková filtrace) a převážně se tyto filtry neregenerují. U průmyslové filtrace dochází k vlastní separaci částic nejprve uvnitř, ale po zaplnění struktury vrstvy dochází k povrchové filtraci a tvorbě filtračního koláče. Tlaková ztráta u filtrace atmosférického vzduchu pak bude řádově nižší, než u průmyslové filtrace.[1]

2.2 Základní veličiny

Proces filtrace je značně závislý na filtrační vrstvě, která je specifikována především pojmy jako frakční odlučivost nebo tlaková ztráta. Základními typy filtračních vrstev jsou vrstvy vláknité, zrnité nebo vrstvy z porézních hmot.

2.2.1 Frakční odlučivost

2.2.1.1 Frakční odlučivost vláknité vrstvy

Odlučování částic ve vláknité vrstvě je základním procesem ve filtraci částic atmosférického vzduchu. Vláknitá vrstva je tvořena jednotlivými filtračními vlákny, na kterých dochází k separaci částic, případně se zachycují na již zachycených částicích.

Vzhledem k tomu, že se částice odlučují uvnitř vláknité vrstvy, se jedná o tzv. hloubkovou filtraci. Tuto vrstvu popisují základní veličiny, jako jsou tloušťka vrstvy s , průměr vlákna d , poréznost ε , případně objemové zaplnění c . Podle druhu a účelu použití tyto veličiny dosahují charakteristických hodnot. Tloušťka vrstvy s se pohybuje v rozmezí od desetin mm až po jednotky cm, průměr vlákna d pak v rozmezí od desetin po stovky μm .

Poréznost ε

a objemové zaplnění c spolu úzce souvisí. Objemové zaplnění c lze také vyjádřit jako poměr objemu vláken k objemu vrstvy. Poréznost obvykle nabývá hodnot $\varepsilon > 0,7$, u vysoce účinných filtračních materiálů pak $\varepsilon > 0,9$. [1]

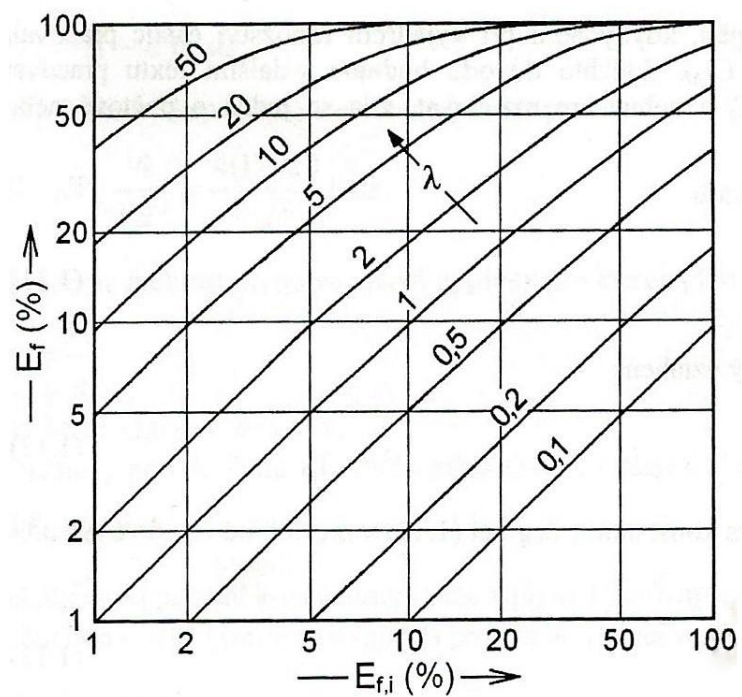
Nejvýznamnější veličinou je frakční odlučivost vláknité vrstvy, která vyjadřuje účinnost odlučování částice určité velikosti a . Vztah pro tuto veličinu lze vyjádřit jako

$$E_f = 1 - \exp(-E_{f,i} \cdot \lambda) \quad (2.1)$$

kde λ je definována jako parametr vrstvy a lze ji zapsat následujícím způsobem:

$$\lambda = \frac{4(1 - \varepsilon)}{\pi \varepsilon} \cdot \frac{s}{d} \quad (2.2)$$

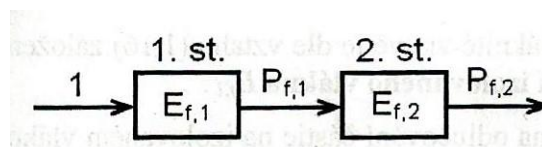
Ze vztahu 2.1, případně z obr. 2.1, je patrná závislost parametru vrstvy na frakční odlučivosti. Čím větší bude součin frakční odlučivosti na izolovaném vlákně $E_{f,i}$ a parametr vrstvy λ , tím větší bude celková frakční odlučivost E_f .



Obrázek 2.1: Vzájemná závislost mezi E_f , $E_{f,i}$ a λ [1]

2.2.1.2 Frakční odlučivost vrstveného filtračního materiálu

Některé filtrační materiály se mohou skládat ze dvou nebo více vrstev. Tyto vrstvy pak mohou mít různé odlučovací schopnosti. [1]



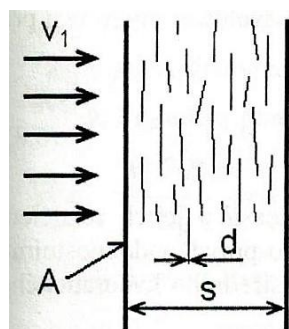
Obrázek 2.2: Závislost $(1-\varepsilon)/\varepsilon$ na ε [1]

Mezi hlavní výhody vícevrstevných filtračních materiálů patří zejména zvýšená životnost těchto filtrů. V 1. stupni totiž dojde k separaci větších částic a v 2. stupni pak k odloučení částic o menších rozměrech. Vztah výsledné frakční odlučivosti pro dvoustupňové uspořádání lze vyjádřit:

$$E_{f,\Sigma} = 1 - (1 - E_{f,1}) \cdot (1 - E_{f,2}) \quad (2.3)$$

2.2.1.3 Tlaková ztráta čisté vláknité vrstvy

Obecně se pracuje s představou ideální vláknité vrstvy o dané čelní ploše A (m^2), tloušťky s (m), poréznosti ε (1), která se skládá z vláken od průměru d (m) (viz obr. 2.3). Teoretický vztah pro tlakovou ztrátu je vyjádřen následovně[1]:



Obrázek 2.3: Schéma vláknité vrstvy [1]

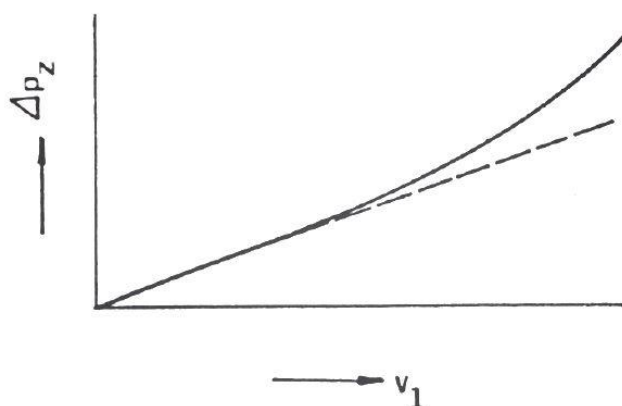
$$\Delta p_z = \frac{2(1 - \varepsilon)\alpha}{\pi\varepsilon} \cdot \frac{v_1 s \eta}{d^2} \quad (2.4)$$

Ze vztahu pro výslednou tlakovou ztrátu vyplývá několik závěrů. Δp_z je úměrné rychlosti plynu před vláknitou vrstvou v_1 . Dále lze říct, že Δp_z je úměrné členu $1/d^2$, z čehož vyplývá, že čím menší jsou vlákna, tím větší bude tlaková ztráta. A nakonec je zde také i úměrnost mezi Δp_z a tloušťkou vrstvy s , kde čím větší je tloušťka, tím větší bude tlaková ztráta. Je však nutno říci, že jde pouze o ideální model. [1]

U tlakové ztráty pro čistou vláknitou vrstvu je třeba respektovat fakt, že vlákna v ideální vrstvě jsou ovlivněna působením sousedních vláken, přestože jsou rovnoměrně rozdělena. Odporová síla na jednotkovou délku vlákna lze určit pouze z proudového pole. Pro vyjádření modelu, který koresponduje se skutečností, se zavádí bezrozměrná tlaková ztráta Π , která je obecně funkcí poréznosti ε , resp. objemového zaplnění c , funkcí modifikovaného Reynoldsova čísla Re_d a funkcí Knudsenova čísla Kn . Vztah pro tlakovou ztrátu čisté vláknité vrstvy lze vyjádřit následovně [1]:

$$\Delta p_z = \frac{v_1 s \eta}{R^2} \cdot \Pi \quad (2.5)$$

Z obrázku 2.4 je patrná odchylka od lineárního průběhu tlakové ztráty čisté vláknité vrstvy v závislosti na filtrační rychlosti. Při nízkých filtračních rychlostech zůstává průběh lineární. Rozhodující veličinou je zde Re_d . Při vyšších filtračních rychlostech lze závislost



Obrázek 2.4: Závislost tlakové ztráty Δp_z na filtrační rychlosti v [2]

tlaková ztráty na filtrační rychlosti vyjádřit jako $\Delta p_z \sim v_1^n$, kde exponent $n > 1$. [2]

3 ZÁKLADNÍ ODLUČOVACÍ PRINCIPY FILTRACE

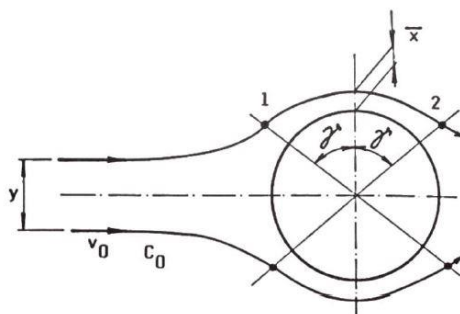
Podstatou veškerých odlučovacích procesů je odloučení tuhých a kapalných znečišťujících látek (částic) z proudu vzduchu na stěnu odlučovače, povrch filtračních vláken, popřípadě na vrstvu již odloučených částic. Jedná se o tzv. odlučovací plochy. Mezi hlavní odlučovací principy u filtrace patří setrvačný, intercepční a difúzní princip. U částic, jejichž rozměr je větší než vzdálenost mezi dvěma sousedícími vlákny, se při průchodu vláknitou vrstvou může hovořit o efektu zaklínění částice, tzv. síťovém efektu. Významnou úlohu při odlučování může hrát i vliv elektrických sil, které se tvoří mezi částicí a vláknem filtračního materiálu. Tyto elektrické síly však mohou mít pouze dočasný efekt.[1]

3.1 Difúzní odlučovací princip

Tento princip vychází z nahodilého pohybu částic v proudu vzduchu způsobeného nárazy molekul plynu. V prostředí s gradientem koncentrace se částice pohybují ve směru nižší koncentrace a odlučují se na vláknech filtrační vrstvy. Odlučivost je tím větší, čím je částice menší, resp. čím má větší hodnotu součinitele Brownovské (tepelné) difúze D_B . [1]

Za předpokladu ideálního stavu se částice přichytí na povrch vlákna vlivem van der Waalsových sil, a to jakýmkoliv způsobem. Tyto částice se pak považují za odloučené. Difúzní princip se využívá ve filtraci při odlučování jemných částic filtrační vláknitou vrstvou.[1]

Pro zjištění frakční odlučivosti částic ve filtraci při obtékání vlákna vláknité vrstvy lze využít zjednodušené metody, založené na řešení pomocí difúzní mezní vrstvy. Znázornění difúzní mezní vrstvy je na obr. 3.1. [2]



Obrázek 3.1: Vyjádření difúzní mezní vrstvy [2]

Pro frakční odlučivost platí:

$$E_{dif} = f(Pe, Re_d, \varepsilon) \quad (3.1)$$

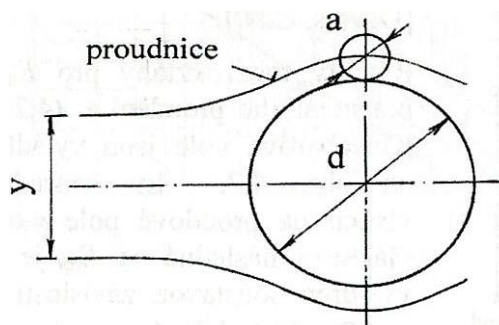
kde Pe je Pecletovo kritérium, Re_d Reynoldsovo číslo a ε je poréznost filtrační vrstvy.

3.2 Intercepční odlučovací princip

U intercepčního principu, neboli u principu přímého zachycení, se vychází z předpokladu velké částice s malou hmotností, která ulpí na povrchu vlákna pouze vlivem svých rozměrů, v závislosti na schopnost reagovat na změnu směru proudění vzduchu. Jednoduše lze pak říci, že čím větší je částice, tím větší bude odlučivost. Pokud se střed částice dostane do vzdálenosti $a/2$ od povrchu obtékaného tělesa, lze tuto částici považovat za odloučenou (viz obr. 3.3).[1]

Pro frakční odlučivost platí:

$$E_{int} = f(\alpha, Re_d, \varepsilon) \quad (3.2)$$

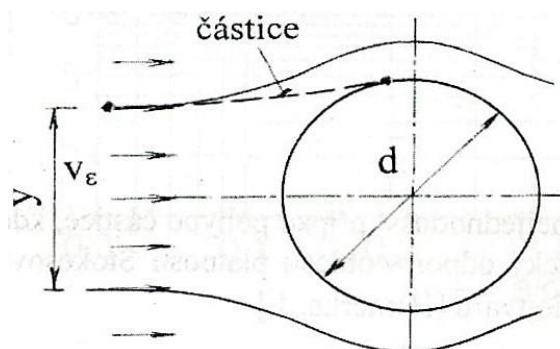


Obrázek 3.2: Intercepční odlučovací princip[1]

kde α je parametr intercepce.

3.3 Setrvačný odlučovací princip

U setrvačného odlučovacího principu se pracuje s opačným předpokladem, než u principu intercepčního, a to s hmotnou částicí o malých rozměrech. Ta pak díky své setrvačnosti nekopíruje dráhu proudnice vzduchu a pokračuje po přímější dráze, kde se zachytí na povrchu vlákna (viz obr 3.4). Analogicky se pak dá říci, že čím větší bude setrvačnost částice, tím větší bude odlučivost.[1]



Obrázek 3.3: Setrvačný odlučovací princip[1]

Výslednou trajektorii částice ovlivňuje především hodnota Stokesova čísla, která rozhoduje o vlivu setrvačných sil na trajektorii. Čím větší bude hodnota Stokesova čísla Stk , tím přímější bude dráha konaná částice. V případě, kdy Stk se bude limitně blížit k nekonečnu, lze předpokládat dráhu částice ve směru rychlosti v_ϵ . Pro Stokesovo číslo platí vztah[1]:

$$Stk = \frac{\tau_\zeta \cdot v_\epsilon}{d/2} \quad (3.3)$$

kde τ_ζ je doba relaxace a v_ϵ je rychlost plynu před vláknem (ve vrstvě).

Pro setrvačnou odlučivost platí:

$$E_{setr} = f(Stk, Re_\zeta, Re_d) \quad (3.4)$$

kde Re_ζ je Reynoldsovo číslo částice.

3.4 Vzájemné působení odlučovacích principů

Obecně při filtraci nedochází pouze k jednomu určitému odlučovacímu principu, nýbrž výše uvedené principy působí společně a vzájemně se ovlivňují. Z tohoto důvodu vztah pro výslednou frakční odlučivost nelze zapsat pomocí prostého součtu všech frakčních odlučivostí jednotlivých principů. K těmto hodnotám se tedy přidává korekční člen E_{dod} (dodatečná hodnota odlučivosti).[1]

Pokud se vezme vzájemné působení setrvačnosti a intercepce, tak tento vliv je minimální, a proto lze korekční člen E_{dod} zanedbat. U kombinace difúze a setrvačnosti záleží na velikosti odlučovaných částic. V případě malých částic nebude převažovat difúzní princip. Naopak u velkých částic bude působit převážně setrvačný princip. U částic středních rozměrů v rozmezí od 0,1 až 1 μm dosahují oba principy malých hodnot frakční odlučivosti. Proto i pro tuto kombinaci principů lze E_{dod} zanedbat. V případě intercepce a difúze už však vliv vzájemného působení není zanedbatelný a musí se přidat dodatečná hodnota odlučivosti, pro kterou platí[1]:

$$E_{dod} = f(Ku, Pe, \alpha) \quad (3.5)$$

kde Ku je Kuwabarův parametr, který je funkcí poréznosti.

Výsledná frakční odlučivost je pak dána vztahem:

$$E_{f,i} = E_{setr} + E_{int} + E_{dif} \quad (3.6) \\ + E_{dod}$$

4 PROVEDENÍ FILTRŮ ATMOSFÉRICKÉHO VZDUCHU

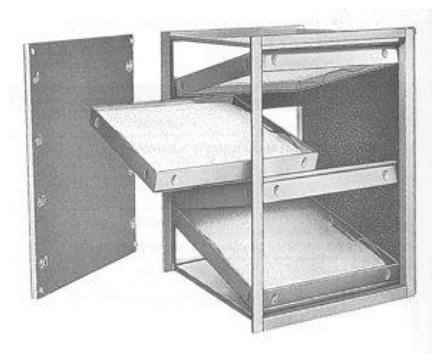
Provedení filtrů atmosférického vzduchu, stejně jako použitý filtrační materiál, je rozhodující pro použití v různých oblastech filtrovaných prostorů, případně pro různé typy filtrovaného vzduchu. Podle provedení filtrů lze skupinu filtrů rozdělit na prachové, aerosolové, sorpční, dielektrické a elektrofiltry. [1]

4.1 Filtry prachové a aerosolové

Podle charakteru odlučovaných částic se filtry atmosférického vzduchu rozdělují do dvou základních skupin: filtry pro všeobecné větrání (filtry prachové) a vysoceúčinné filtry (filtry aerosolové).[1]

Podle provedení se filtry atmosférického vzduchu rozdělují na filtry vložkové a pásové. Aerosolové filtry jsou převážně vložkové.[1]

Vložkové filtry jsou tvořeny z jednotlivých vyměnitelných vložek, které se vkládají a uchycují do skříní, případně rámců. Dále se vložkové filtry dělí na deskové (rámečkové), kapsové a skládané (kompaktní, kazetové a patronové). Deskové filtry obsahují jednotlivé vložky ve tvaru plochých desek, které se zasouvají bočně nebo čelně do skříně (obr. 4.1). U nižších tříd filtrů se používají převážně rohože ze syntetických vláken. U vyšších tříd se pak používají rouna ze skleněných vláken nebo vpichované textilie.[1]



Obrázek 4.1: Deskový filtr v provedení do potrubí[18]

Kapsové filtry mají široké využití v praxi. U těchto filtrů je filtrační materiál ušit do tvaru kapes (obr. 4.2). Kapsové filtry se vyrábí v různém provedení (počet kapes, šířka kapes atp.) a oblast využití závisí na těchto zmíněných parametrech. Třídou filtru určuje použitý filtrační materiál a jeho struktura. U kapsových filtrů se používají především syntetická



Obrázek 4.2: Kapsový filtr[6]

a skleněná vlákna.[1]

Kazetové filtrační vložky svým provedením umožňují montáž do klimatizačních jednotek obdobně jako kapsové vložky (obr. 4.3). Oblast využití je dána třídou filtrace. Tyto filtrační vložky nalézají uplatnění jak ve filtraci pro všeobecné větrání, tak u



Obrázek 4.3: Kazetová filtrační vložka[6]

vysoceúčinné filtrace. [1]

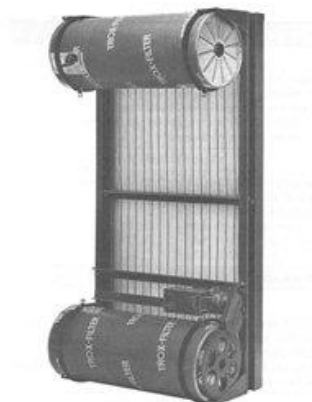
U kompaktních filtračních vložek je materiál naskládán v kovovém nebo dřevotřískovém rámu, který má čtvercový nebo obdélníkový průřez (viz obr. 4.4). Kompaktní vložky lze využít především jako koncový prvek u vysoceúčinných filtračních systémů. V čistých prostorech se kompaktní vložky využívají jako 3. stupeň



Obrázek 4.4: Kompaktní filtrační vložka[6]

filtrace.[1]

Filtrační člen pásových odvinovacích filtrů je tvořen pásem filtračního materiálu. Odvinování materiálu probíhá na základě tlakové ztráty. Jako materiál filtrů se používají především filtrační rohože ze syntetických materiálů nebo rouna ze skleněných vláken. Pásové odvinovací filtry používají zejména pro nižší třídy filtrace.[1]



Obrázek 4.5: Pásový odvinovací filtr[18]

4.2 Sorpční filtry

Tyto filtry pracují na principu adsorpce. Využívají se ve vzduchotechnických systémech pro větrání pracovního i obytného prostředí s oběhem vzduchu. Jako filtrační materiál se používají adsorpční látky s velkým měrným povrchem, které umožňují záchyt plyných znečišťujících látek i pachů. Těmito látkami jsou zejména aktivní uhlí, aktivní koks, saze, silikagel a další látky. Vlastnosti daného filtru závisí především na druhu použitého materiálu. [1]

Tyto filtry se uplatňují zejména v místech se škodlivými organickými látkami (např. toluen, benzín, benzen, styren). Z důvodu citlivosti aktivního uhlí na prach je nutné zařadit do sestavy předfiltr, aby se prodloužila životnost sorpčního filtru a omezila se tlaková ztráta.

Sorpční filtry se většinou skládají z jednotlivých sorpčních filtračních patron (obr.4.6). Ty se pak připevňují na dělicí desku a ovlivňují tak samotnou velikost filtru.

Místo válcových patron lze využít i deskové filtrační vložky. Existují také kazetové



Obrázek 4.6: Sorpční patronové filtry [12]

vložky se skládaným filtračním materiálem.

4.3 Dialektrické filtry a elektrofiltry

Tyto filtry využívají pro odloučení částic elektrické síly, které působí v nevodivé filtrační vrstvě, která je umístěna mezi dvěma a více elektrodami. Uplatňují se především v odlučování jemných částic z atmosférického vzduchu (např. oběhové filtrační jednotky k čištění vzduchu vnitřní místnosti). [1]

Dalším typem jsou elektrofiltry, u kterých dochází k účinnému odloučení jemných částic z atmosférického vzduchu s minimální tlakovou ztrátou. V podstatě se jedná o dvouzónový elektrický odlučovač, který se skládá z ionizační a odlučovací části. Částice se při průchodu ionizační části nabijí na náboj kladné polarity a dále pokračují do odlučovací části se zápornou polaritou.[1]

Výhodou těchto filtrů je jejich nízká tlaková ztráta a nízký elektrický příkon na vlastní elektrické odlučování (20-50 W na 1000 m³/h čištěného vzduchu). Tyto filtry se používají v oblastech s extrémními klimatickými podmínkami, kde klasické filtry selhávají. Jde především o klimatizaci a větrání dopravních prostředků v oblastech s vysokou vlhkostí a teplotou. Dále je lze použítu jednotkových odsávacích zařízení pro čištění vzduchu v obrobkách a svařovnách.[1]

5 FILTRAČNÍ MATERIÁLY

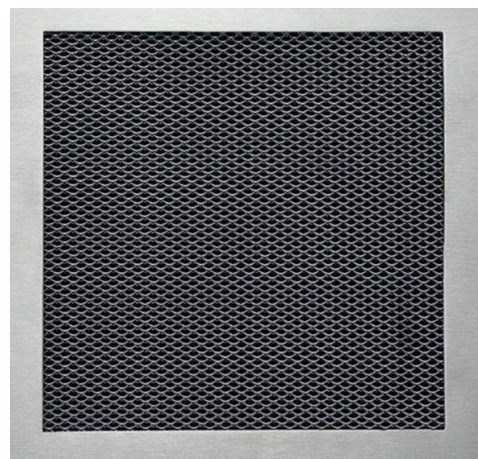
Filtrační materiály lze rozdělit podle dvou základních aspektů. Prvním hlediskem je druh média, podle kterého se filtrační materiály dělí na: kovové filtry, vláknité filtrační materiály a porézní materiály. Druhým hlediskem může být druh použití, podle kterého se materiály dělí na filtrační materiály určené k: zachycování prachových částic, zachycování částic z barev a laků, zachycování tuků a mastnoti nebo k zachycování pachů.[8]

5.1 Kovové filtry

Kovové filtry slouží především k zachycování hrubých částic ve znečištěném vzduchu. Hrubými částicemi mohou být různá vlákna, listí, chmýří, případně mastnota vznikající například provozem kuchyně. Kovové filtry jsou vyrobené z tahokovu, který je povrchově upraven z důvodu ochrany proti případné korozi (většinou je pozinkován). Tahokov je děrovaný plech, který je používán nejen pro filtraci vzduchu, ale například i ve stavebnictví. Lze je skládat do vrstev pro zajištění požadované hloubky filtru nebo lepších odlučovacích schopností.[8]



Obrázek 5.1: Kovový filtr [8]



Obrázek 5.2: Krbová mřížka z tahokovu [17]

5.2 Vláknité filtrační materiály

Vláknité filtrační materiály jsou v praxi nejpoužívanějšími filtračními materiály. Tyto materiály lze rozdělit podle typu média, druhu použití nebo podle technologie výroby. Podle posledního zmíněného hlediska lze vláknité filtrační materiály rozdělit na: vpichované textilie, rouna, rohože a filtrační papíry.

Vpichované textilie jsou převážně tvořeny syntetickými nebo skelnými materiály. Tento materiál je vyráběn pomocí dvou perforovaných desek, mezi které je přivedeno vláknité rouno, které je postupně propichováno vpichovacím strojem. Při průchodu jehlami vláknitým rounem dochází k vzájemnému propojení a tím tedy ke zlepšení soudržnosti



Obrázek 5.3: Polyesterové syntetické filtrační vlákno [6]



Obrázek 5.4: Skelné filtrační vlákno [6]



Obrázek 5.5: Přírodní latexové vlákno [6]

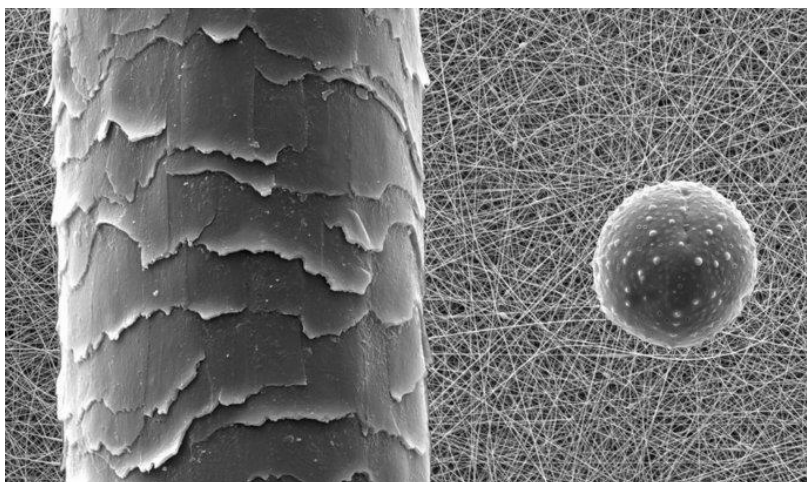
materiálu.[1], [18]

Rouna a rohože se skládají z podkladového materiálu, na který jsou naneseny silnější syntetická vlákna v případě rohoží, nebo jemná vlákna skelných, syntetických nebo organických materiálův případě roun. Soudržnost těchto dvou prvků zajišťuje impregnační vrstva, případně tepelné zpracování (zejména u syntetických vláken). Filtrační schopnosti se odvíjejí od vrstvy materiálu, který bývá nanesena na výstupní straně rohoží a roun. V případě roun může být tato vrstva nanesena i na vstupní straně. [1]

Filtrační papíry jsou vyráběny papírenskou technologií nebo metodou zvláknování. Jsou složeny především ze skelných nebo organických vláken. Filtrační materiály ze skelných vláken mají dobrou chemickou odolnost a nízkou absorpci vody. Filtrační papíry se používají zejména jako materiál do skládaných filtrů. [1], [6]

Dalšími vláknitými filtračními materiály mohou být latexová vlákna nebo nanovlákna. Latexová vlákna mají využití především v potravinářství nebo lékařství.

Nanovlákna používaná ve filtraci se obecně považují vlákna o průměru menší než 1 μm . Běžně to bývají vlákna s průměrem v rozsahu od 100 až 800 nm.[3] Porovnání velikostí lidského vlasu, pylového zrna a nanovláken je patrné z obrázku 5.6. Vlákna těchto velikostí tvoří velkýměrný povrch, který vede k vyšší filtrační účinnosti. [5] Mezi další výhody patří malé rozměry pórů, malá tloušťka vrstvy a nízký růst tlakové ztráty v porovnání s ostatními filtračními materiály. Nanovlákna se uplatňují zejména v atmosférické filtraci. Používají se především jako součást ochranných pomůcek



Obrázek 5.6: Porovnání velikostí lidského vlasu (vlevo), pylového zrna (vpravo) a nanovláken (v pozadí) [16]

(respirátory). [4]

Vláknité filtrační materiály jsou charakteristické svou vyšší tlakovou ztrátou (desítky až stovky Pa) a nižší filtrační rychlostí (jednotky m/s až cm/s). Uplatňuje se zde především intercepční a setrvačný princip. U vyšších tříd filtrace se uplatňuje i difúzní princip. V praxi se používají jak pro první, tak pro finální stupeň filtrace.

5.3 Porézní materiály

Porézní materiály se používají zejména sorpčních filtru. Sorpční filtry pracují na principu adsorpce a jako filtrační médium se používají látky s velkým měrným povrchem (viz kapitola 4.2). Těmito látkami mohou být: aktivní uhlí, aktivní koks, saze, silikagel atp. Porézní materiály jsou určeny zejména k filtraci organických znečišťujících látek a pachů (např. toluen, benzen, styren atd.). [1]



Obrázek 5.7: Sorpční patronový filtr [6]

6 ČSN EN 779: FILTRY ATMOSFÉRICKÉHO VZDUCHU PRO ODLUČOVÁNÍ ČÁSTIC PRO VŠEOBECNÉ VĚTRÁNÍ – STANOVENÍ FILTRAČNÍCH PARAMETRŮ

Tato evropská norma se zabývá filtry vzduchu pro všeobecné větrání. Norma ČSNEN 779 byla vydána 1.10.2012 s účinností od 1.11.2012. Účinnost této normy byla ukončena 1.12.2017. [10] Obsahuje požadavky na odlučovací parametry, které musí filtry splňovat. Dále určuje zkušební metody a zkušební trať, kde se tyto parametry zjišťují. Filtry jsou rozříděny do skupin podle jejich parametrů, zjištěných podle stanoveného zkušebního postupu.

Původně byla ČSN EN 779 v roce 1995 převzata překladem z evropské normy EN779z roku 1993, která vycházela z norem sdružení evropských výrobců vzduchotechnických zařízení EUROVENT 4/5 a americké ASHRAE 52-68. Tato původní norma byla novelizována v roce 2003 a v roce 2012 byla nahrazena novelizovanou normou ČSN EN 779:2012. [12]

Pro získání odlučovacích schopností se používají dva typy médií. Jedním z nich je jemný aerosol v rozsahu velikostí částic od 0,2 μm do 3,0 μm . Tento aerosol se používá z důvodu zjištění účinnosti filtrace. Druhým typem je hrubý aerosol, kterým se zjišťují informace o jímavosti filtru, případně u hrubých filtrů i účinnost filtrace pro hrubý zátěžový prach.[19]

Tato evropská norma se používá pro filtry s počáteční účinností menší než 98% pro částice o velikosti 0,4 μm . Filtry jsou testovány při objemovém průtoku vzduchu mezi 0,24 m^3/s až 1,5 m^3/s . [19]

Filtrační prvek musí být vyroben tak, aby snesl běžné používání a odolal vystavování takovým teplotám, vlhkostem a korozivním prostředí, ve kterých se bude pravděpodobně vyskytovat. Filtrační prvek musí být navržen tak, aby odolal mechanickému namáhání, kterému bude pravděpodobně vystaven při běžném použití. Prach nebo vlákna uvolněná během provozu filtračního prvku nesmí způsobit nebezpečí nebo obtěžování pro osoby vystavené filtrovanému vzduchu. [19]

6.1 Třídění

Filtry se třídí podle střední účinnosti (střední hodnota účinností filtrace pro částice 0,4 μm pro různé úrovně zatížení filtru) nebo střední odlučivosti (poměr celkového množství zátěžového prachu zachyceného filtrem k celkovému množství podaného prachu) při daných zkušebních podmínkách.[19]

Těmito zkušebními podmínkami jsou:

- Průtok vzduchu při zkoušce musí být 0,944 m^3/s , pokud výrobce neurčí jinak
- Maximální konečná tlaková ztráta pro hrubé (G) filtry je 250 Pa
- Maximální konečná tlaková ztráta pro střední (M) a jemné (F) filtry je 400 Pa

Filtry, které byly testovány ve výše uvedených podmínkách, jsou zařazeny podle tabulky 6.1.

Filtry, které byly testovány v jiných než výše uvedených podmínkách, jsou zařazeny podle tabulky 6.1 a do závorek za třídu filtru se doplní podmínky, při kterých byl filtr testován. Např. G4 (0,7 m^3/s , 200 Pa).

Tabulka 6.1: Třídění filtrů vzduchu [19]

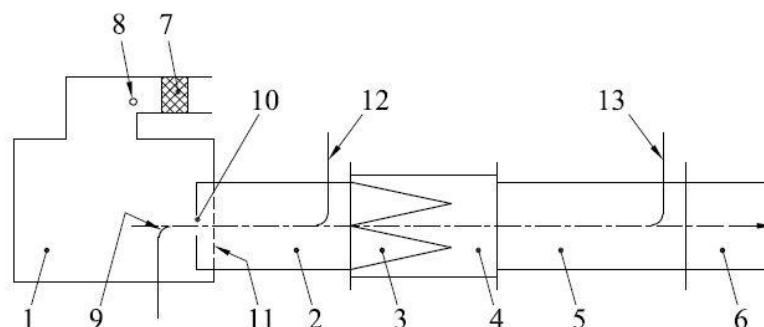
Skupina	Třída	Konečná tlaková ztráta Pa	Střední odlučivost (A_m) syntetického prachu %	Střední účinnost (E_m) pro částice 0,4 μm %	Minimální účinnost ^a pro částice 0,4 μm %
Hrubý	G1	250	$50 \leq A_m < 65$	–	–
	G2	250	$65 \leq A_m < 80$	–	–
	G3	250	$80 \leq A_m < 90$	–	–
	G4	250	$90 \leq A_m$	–	–
Střední	M5	450	–	$40 \leq E_m < 60$	–
	M6	450	–	$60 \leq E_m < 80$	–
Jemný	F7	450	–	$80 \leq E_m < 90$	35
	F8	450	–	$90 \leq E_m < 95$	55
	F9	450	–	$95 \leq E_m$	70

^a Minimální účinnost je nejnižší hodnota účinnosti mezi počáteční účinností, účinností po vybití a nejnižší hodnotou účinnosti během zátěžového postupu zkoušení filtru.

6.2 Zkušební trať a zařízení

Zdrojem zkušebního vzduchu může být vnitřní nebo vnější vzduch. Relativní vlhkost musí být menší než 75%. Zkouška se může provozovat v přetlaku i podtlaku.

Zkušební trať je čtvercového průřezu o vnitřních rozměrech 610 mm x 610 mm. Materiál zkušební tratě musí být elektricky vodivý, musí mít hladký vnitřní povrch a musí být natolik tuhý, aby si zachoval svůj tvar při provozním tlaku. Zkušební trať a její části



Legenda

- | | |
|--|--|
| 1 Potrubní sekce zkušební tratě | 8 Vstupní bod pro podávání DEHS částic |
| 2 Potrubní sekce zkušební tratě | 9 Výstupní tryska podávání prachu |
| 3 Zkoušený filtr | 10 Směšovací clona |
| 4 Potrubní sekce zkušební tratě se zkoušeným filtrem | 11 Perforovaná deska |
| 5 Potrubní sekce zkušební tratě | 12 Hlavice odsávací sondy před filtrem |
| 6 Potrubní sekce zkušební tratě | 13 Hlavice odsávací sondy za filtrem |
| 7 HEPA filtr (přinejmenším H13) | |

Obrázek 6.1: Schéma zkušební trati [19]

jsou znázorněny v obrázku 6.1.[19]

V sekci 1 dochází k rozprašení zkušební aerosolu DEHS s přetlakem asi 17 kPa s objemovým průtokem 0,39 dm³/s. K produkci tohoto aerosolu se může použít jakýkoliv generátor aerosolu, který je schopen produkovat kapičky v rozmezí velikostí od 0,2 μm do 3,0 μm. Jedním z takových generátorů aerosolu může být Laskinův generátor. Dále dochází ke smíšení aerosolu s přívodním vzduchem. Před rozprašovačem zkušební aerosolu může být vložen HEPA filtr (7) z důvodu vytvoření rovnoměrné koncentrace před zkoušeným filtrem.

V sekci 2 se na vstupu nachází směšovací clona (10), v jehož středu je zabudována výstupní tryska podávání prachu (9). Za tímto místem je umístěna perforovaná deska (11), jejíž účelem je rovnoměrné rozptýlení zkušební prachu. V poslední části této sekce je instalována hlavice odsávací sondy (12), která má za úkol zjištění stavu aerosolu před filtrem.

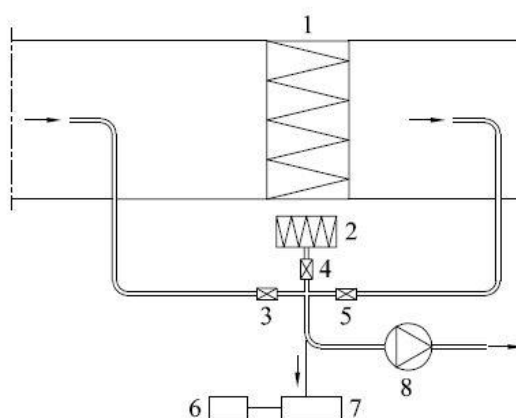
Z důvodu zamezení vzniku turbulence by se měly části (10) a (11) při zkouškách účinnosti ze zkušební trati odstranit. Toto opatření je doporučeno i při měření tlakové ztráty filtru.

V sekci 5 dochází k měření účinnosti i odlučivosti. V této sekci je instalován koncový filtr a hlavice odsávací sondy (13) pro zjištění stavu aerosolu za filtrem. Koncový filtr má za úkol zachytit zátěžový prach, který nebyl zachycen zkoušeným filtrem. Požaduje se zachycení nejméně 98 % zátěžového prachu. Aby bylo dosaženo požadované odlučivosti na zátěžový prach $> 98 \%$, musí mít daný filtr počáteční účinnost filtrace $< 75 \%$ pro částice DEHSo velikosti $0,4 \mu\text{m}$. [19]

Tlaková ztráta zkoušeného filtru se zjišťuje pomocí měření statických tlaků. Měření statických tlaků je provedeno pomocí nátrubků, které se nacházejí ve čtyřech bodech po obvodu potrubí a jsou propojeny hadičkami.

Sekce 6 je připojena na normalizované zařízení sloužící k měření průtoku vzduchu.

Hlavice odsávacích sond před a za filtrem musí být propojeny s počítačem částic pomocí dvou stejných odběrových sond. Osa odsávací sondy musí být rovnoběžná



Legenda

- 1 Zkoušený filtr
- 2 HEPA filtr (čistý vzduch)
- 3 Ventil pro odběr vzorku před filtrem
- 4 Ventil pro odběr vzorku čistého vzduchu
- 5 Ventil pro odběr vzorku za filtrem
- 6 PC
- 7 Počítač částic
- 8 Pomocná pumpa

Obrázek 6.2: Schéma uspořádání odběru vzorku aerosolu [19]

s proudem vzduchu. Schéma uspořádání odběru vzorku aerosolu je na obr. 6.2.[19]

Průtok odsávaného vzorku zajišťuje buď přímo pumpa počítače částic nebo pomocná pumpa.

K této metodě je potřeba použití optického počítače částic (OPC) s rozsahem velikostí částic nejméně od 0,2 μm do 3,0 μm . Účinnost počítání částic OPC musí být $\geq 50\%$ pro částice o rozměrech 0,2 μm . Rozsah rozměrů částic by měl být rozdělen minimálně na pět velikostních tříd.[19]

6.3 Zkušební materiály

Jako zkušební aerosol se při zkouškách používá zkušební aerosol DEHS neboli DiEthylHexylSebacate. Chemický vzorec tohoto aerosolu je $\text{C}_{26}\text{H}_{50}\text{O}_4$ a jeho hustota je 912 kg/m^3 . [19]

Při zkouškách se dále používá zátěžový prach, který je podrobněji popsán v ANSI/ASHRAE 52.2. Složení zátěžového prachu je následující:

- 72 % hmotnosti tvoří zkušební prach „jemný“ ISO 12103-A2
- 23 % hmotností tvoří saze
- 5% hmotnosti tvoří bavlněná vlákna

6.4 Postup zkoušky

Filtr musí být do zkušební trati instalován podle pokynů výrobce. Zjišťuje se počáteční tlaková ztráta, počáteční a střední účinnost, odlučivost a jímavost filtru.

Tlaková ztráta filtru se zjišťuje při průtocích shodných s 50 %, 75 %, 100 % a 125 % jmenovitého objemového průtoku vzduchu filtrem. Naměřené hodnoty jsou upraveny pro hustotu vzduchu $1,20 \text{ kg/m}^3$ a vyneseny pomocí křivky závislosti počáteční tlakové ztráty filtry na objemovém průtoku.[19]

Účinnost E se pro daný rozsah velikostí částic vypočte podle vztahu:

$$E = \left(1 - \frac{n_i}{N_i}\right) \cdot 100 \quad (6.1)$$

kde n_i je počet částic v rozsahu velikostí „i“ za filtrem a N_i počet částic v rozsahu velikostí „i“ před filtrem.

Závislost počáteční účinnosti filtrace na velikosti částice se pak znázorní do grafu. Velikost částice d_i u daného rozsahu velikostí „i“ je vyjádřena jako geometrická střední hodnota z údajů spodního a horního hraničního průměru částice. Platí pro ni vztah:

$$d_i = \sqrt{d_l \times d_u} \quad (6.2)$$

kde d_l je spodní hraniční průměr rozsahu velikostí a d_u horní hraniční průměr rozsahu velikostí.

Měření účinnosti je uskutečněno pomocí 13 počítání částic po dobu nejméně 20 sekund. Cyklus počítání částic střídavě probíhá počítáním před a za zkoušeným filtrem (viz tabulka 6.2)[19]

Tabulka 6.2 Cyklus počítání částic pro rozsah velikostí částic „i“ [19]

Počítání č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Před filtrem	$N_{1,i}$		$N_{2,i}$		$N_{3,i}$		$N_{4,i}$		$N_{5,i}$		$N_{6,i}$		$N_{7,i}$
Za filtrem		$n_{1,i}$		$n_{2,i}$		$n_{3,i}$		$n_{4,i}$		$n_{5,i}$		$n_{6,i}$	

První jednotlivá účinnost filtrace pro rozsah velikostí částic „i“ se spočítá podle vztahu:

$$E_{1,i} = \left(1 - \frac{n_{1,i}}{N_{1,i} + N_{2,i}}\right) \cdot 100 \quad (6.3)$$

Ze 13 měření pak vznikne 6 výsledků jednotlivých účinností filtrace ($E_{1,i}, \dots, E_{6,i}$). Počáteční účinnost filtrace E_i pro rozsah velikostí částic „i“ je dána vztahem:

$$E_i = \frac{E_{1,i} + \dots + E_{6,i}}{6} \quad (6.4)$$

Zkoušený filtr je zatěžován zkušebním prachem a zkoumají se změny tlakové ztráty a účinnosti. Dávky normalizované zkušebního prachu jsou nasypány v zásobníku

podavače. Do zkušební tratě je zkušební prach dávkován koncentrací 70 mg/m^3 do té doby, dokud se nedosáhne požadované tlakové ztráty. Po každé dávce je zjišťována odlučivost a účinnost. Pro filtry, jejichž střední účinnost je $< 40 \%$, se zjišťuje jen odlučivost.[19]

Po zastavení zkoušky se zváží koncový filtr a určí se hmotnost zachyceného prachu a vypočítá se odlučivost. Prach, který zůstal v prostoru mezi zkoušeným a koncovým filtrem se smete, zváží se a je připočten k hodnotě hmotnosti koncového filtru.

Před zatěžování prachem se zjišťuje počáteční účinnost a počáteční tlaková ztráta. Poté je zkoušený filtr zatěžován zkušebním prachem po dávce 30 g a po nejméně 4 přibližně stejně velkých dávkách až do dosažení konečné tlakové ztráty. První 30 g dávkou je zjištěna počáteční odlučivost. Zbylé dávky udávají hodnoty, ze kterých se určuje křivka účinnosti

a odlučivosti. V tabulce 6.3 jsou uvedeny veškeré parametry, které se zjišťují v průběhu

Tabulka 6.3: Parametry, které mají být změřeny nebo vypočteny po každém stupni zatěžování prachem [19]

Etapa zkoušky	Parametr, který má být stanoven			
	Účinnost filtrace	Odlučivost prachu	Jímavost filtru	Tlaková ztráta
Počáteční, před zatěžováním prachem	ANO	NE	NE	ANO
Po dávce prachu 30 g (první zatížení ke stanovení počáteční odlučivosti)	ANO	ANO	NE	ANO
Na konci každé další (nikoliv poslední) dávky	ANO	ANO	NE	ANO
Po poslední dávce prachu (konečná tlaková ztráta)	ANO	ANO	ANO	ANO

zkoušky zatěžování prachem.[19]

Z důvodu dosažení hladké křivky nárůstu tlakové ztráty, se doporučuje použít takové dávky prachu, které odpovídají nárůstu tlaku přibližně na 100 Pa, 150 Pa, 250 Pa a 450 Pa.

Odlučivost filtru se určuje po každém kroku zatěžování filtru prachem. Po dosažení nejbližší hodnoty tlakové ztráty se ze zkušební trati vyjme koncový filtr, který byl zvážen před zkouškou a převáží se. Nárůst hmotnosti filtru odpovídá hmotnosti prachu, který prošel zkoušeným filtrem. Odlučivost A_j se pro krok zatěžování prachem „j“ stanoví následovně:

$$A_j = \left(\frac{1 - m_j}{M_j} \right) \cdot 100 \quad (6.5)$$

kde m_j je hmotnost prachu pronikajícího filtrem (přírůstek hmotnost koncového filtru Δm_{ff} a hmotnost prachu v kanále za filtrem m_d) při fázi zatěžování prachem „j“ a M_j je hmotnost podaného prachu během zatěžovací fáze „j“.[19]

Zkouška je ukončena, když je odlučivost menší než 75 % maximální hodnoty odlučivosti, nebo když jsou dvě hodnoty nižší než 85 % maximální hodnoty.

Střední odlučivost se vypočítá z nejméně pěti hodnot odlučivosti. Střední odlučivost A_m je dána vztahem:

$$A_m = \left(\frac{1}{M} \right) \times [M_1 \times A_1 + M_2 \times A_2 + \dots + M_n \times A_n] \quad (6.6)$$

kde $M = M_1 + M_2 + \dots + M_n$ je celková hmotnost podaného prachu a M_1, M_2, \dots, M_n jsou hmotnosti prachu postupně podané do trati do dosažení konečné tlakové ztráty $\Delta p_1, \Delta p_2, \dots, \Delta p_n$.

Hodnoty odlučivosti, které přesahují 99 %, jsou označeny jako > 99%.

Účinnost se stanovuje na začátku zkoušky a poté, pokud je to možné po každém stupni zatěžování filtru prachem. Po každém stupni zatěžování prachem musí být zkoušený filtr očištěn. Částice, které při procesu čištění pronikají, zpětně se strhávají nebo se uvolňují z filtru, se zahrnují do měření a ovlivňují tak účinnost filtrace.[19]

Měření je provedeno stejně jako při určení počáteční účinnosti (viz 6.4). Proveďte se 13 počítání částic před a za filtrem po dobu minimálně 20 sekund, ze kterých vzejde 6 výsledků jednotlivých účinností. Střední účinnost po každém stupni po každém stupni zatěžování prachem se pro rozsah velikostí částic „i“ určí podle vzorce:

$$E_{i,j} = \frac{E_{1,i} + \dots + E_{6,i}}{6} \quad (6.7)$$

kde $E_{i,j}$ je střední účinnost filtrace pro rozsah velikostí „i“ po stupni zatížení prachem „j“ a $E_{1,i}, \dots, E_{6,i}$ jsou jednotlivé účinnosti filtrace pro rozsah velikostí částic „i“ po stupni zatížení prachem.

Střední účinnost je zprůměrovaná účinnost, která bere v úvahu účinek postupného zatěžování filtru prachem. Pro sérii „n“ stupňů zatěžování prachem se střední účinnost určí podle vztahu:

$$E_{m,i} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^n \left(\frac{E_{i,(j-1)} + E_{i,j}}{2} \times M_j \right) \quad (6.8)$$

kde $E_{m,i}$ je střední účinnost pro částice s rozsahem velikostí „i“ pro všechny stupně zatěžování prachem, $E_{i,j}$ je střední účinnost pro rozsah velikostí „i“ po stupni zatížení prachem „j“, M_j je množství podaného prachu během zatěžovacího stupně „j“, M je $\sum_{j=1}^n M_j$ a n je počet stupňů zatěžování prachem.

Jímavost zkoušeného filtru se pro danou konečnou tlakovou ztrátu stanoví násobením celkové hmotnosti podaného prachu do trati s odpovídající hodnotou střední účinnosti.[19]

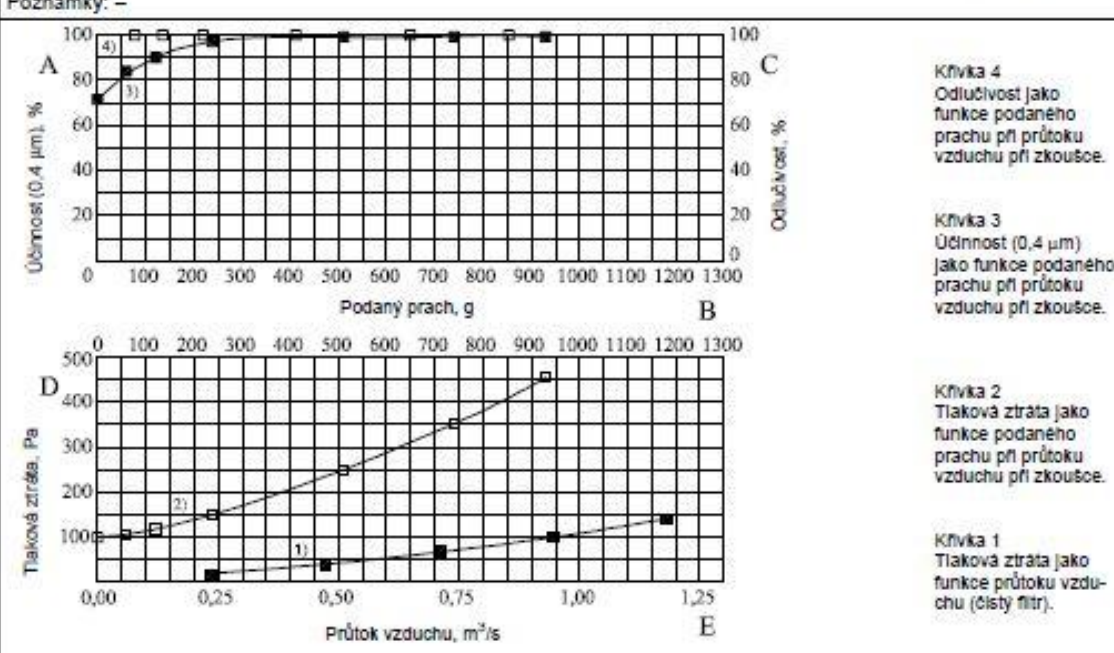
Nejistota výsledku určení střední účinnosti filtrace odpovídá oboustrannému intervalu spolehlivosti střední hodnoty. Vzorek částic před filtrem s více než 500 částicemi se počítá v rozsahu velikostí částic až do 1 μm podle ISO 2854:1976.[19]

6.5 Uvádění výsledků

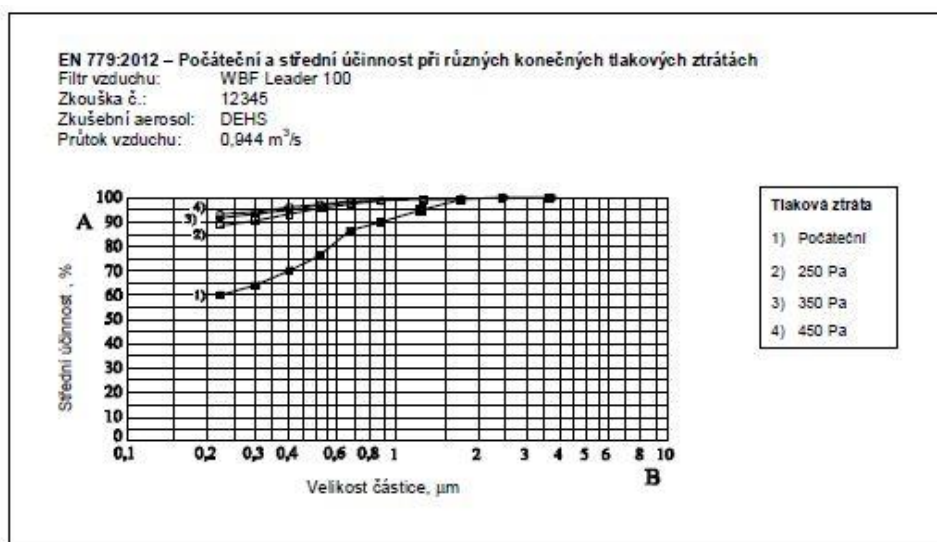
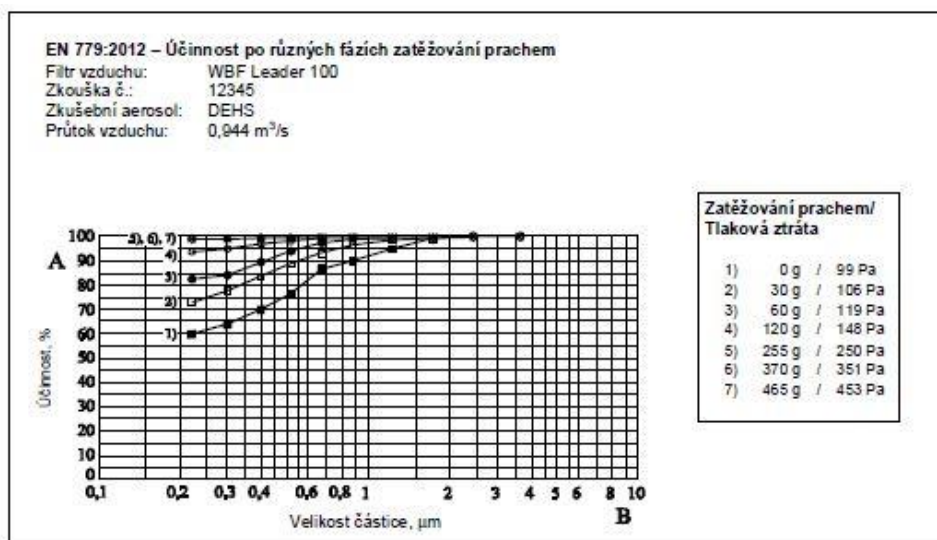
Souhrnný protokol o výsledcích zkoušky filtru vzduchu obsahuje obecné informace o zkoušce (datum zkoušky, zkušební technik atp.), informace o zkoušeném filtru (model filtru, typ filtračního materiálu, rozměry, konstrukce), informace o zkoušce (průtok, teplotu a relativní vlhkost vzduchu, zkušební aerosol a zátěžový prach) a výsledky zkoušky, které zahrnují informace o počáteční a konečné tlakové ztrátě, počáteční a střední odlučivosti, počáteční a střední účinnosti, jínavost filtru a zařazení do třídy filtru. Souhrnný protokol dále obsahuje dva grafy. Na prvním je znázorněna závislost odlučivosti, resp. účinnosti

na množství podaného prachu. Na druhém grafu je pak znázorněna závislost tlakové ztráty na množství podaného prachu, resp. na průtoku vzduchu. Příklad souhrnného protokolu o výsledcích zkoušky se nachází v tabulce 6.4.

Tabulka 6.4 Příklad souhrnného protokolu o výsledcích zkoušky filtru vzduchu [19]

EN 779:2012 – VÝSLEDKY ZKOUŠKY FILTRU VZDUCHU				
Zkušební organizace: Superlab Inc.			Zpráva č.: 007-20XX	
OBECNĚ				
Zkouška č.: 12345	Datum zkoušky: 20XX-02-01		Zkušební technik: T. Master	
Zkouška vyžádána kým: World Best Filter Inc.			Datum převzetí zařízení: 26-01-20XX	
Zařízení dodáno kým: World Best Filter Inc.				
ZKOUŠENÉ ZAŘÍZENÍ				
Model: WBF Leader 100	Výrobce: World Best Filter Inc.		Konstrukce: Kompaktní filtr 4 kapsy V-tvaru	
Typ filtračního materiálu: Glass & plastic fibre WBF Mix G & F	Čistá účinná plocha filtru: 19 m ²		Rozměry filtru (šířka × výška × hloubka): 592 mm × 592 mm × 592 mm	
INFORMACE O ZKOUŠCE				
Průtok vzduchu při zkoušce: 0,944 m ³ /s	Teplota vzduchu při zkoušce: 20 až 24 °C	Rel. vlhkost vzduchu při zkoušce: 26 až 61 %	Zkušební aerosol: DEHS	Zátěžový prach: ASHRAE
VÝSLEDKY ZKOUŠKY				
Počáteční tlaková ztráta: 99 Pa	Počáteční odlučivost: 98 %	Počáteční účinnost (0,4 μm): 70 %	Jímavost filtru: 254 g / 369 g / 461 g	Účinnost neupraveného / vybitého filtračního materiálu (0,4 μm, dodatek A): 70,6 % / 69,6 %
Konečná tlaková ztráta: 250 Pa / 350 Pa / 450 Pa	Střední odlučivost: 99 %	Střední účinnost (0,4 μm): 93 % / 95 % / 96 %	Třída filtru (450 Pa): F9	
Poznámky: –				
				
POZNÁMKA Výsledky parametrů filtru platí pouze pro zkoušený filtr a nemohou být jako takové použity pro předpověď parametrů filtru v provozu.				

Další formuláře obsahují zjištěné hodnoty z průběhu zkoušky, např. tlaková ztráta, resp. střední účinnost, resp. účinnost v závislosti na rozsahu velikostí částic. Dále obsahují i grafické vyjádření závislosti účinnost, resp. střední účinnosti na velikosti částice (graf 6.1 a 6.2).



Graf 6.2: Závislost počáteční a střední účinnosti při různých konečných tlakových ztrátách na velikosti částice [19]

6.6 Přílohy

Norma ČSN EN obsahuje 4 informativní přílohy s označením A, B, C, D. Příloha A obsahuje informace o uvolňování z filtrů (odskok částic, uvolňování vláken nebo částic z filtračního materiálu, zpětné strhávání částic). Příloha B zahrnuje komentářek třídění filtrů, zkoušky (zkušební aerosol, zátěžový prach, rozptýlení a odebrání vzorků, charakteristika počítací částic a zkoušky plochého filtru) a filtračním charakteristikám. Příloha C se zabývá postupem výpočtu tlakové ztráty. Příloha D obsahuje příklady úplné zprávy o výsledku zkoušek (viz tabulka 6.4 a grafy 6.1 a 6.2).

7 ČSN EN ISO 16890: VZDUCHOVÉ FILTRY PRO VŠEOBECNÉ VĚTRÁNÍ

Norma ČSN EN ISO 16890 je český překlad evropské normy ISO 16890, která je platná od 1.1.2017. Tato evropská norma nahrazuje předchozí normu EN 779 z roku 2012. Český překlad evropské normy ISO 16890 je účinný od 1.12.2017, nicméně po dobu 18 měsíců je možné se řídit oběma normami. Tato norma by měla zajistit sjednocení pravidela zlepšit podmínky pro výběr filtru na základě přesnějších informací zjištěných touto normou. [7]

Podle studií, které se zabývají účinky aerosolových částic (PM) na lidské zdraví bylo zjištěno, že jemný prach může způsobovat dýchací i kardiovaskulární problémy. Nejdůležitějšími frakcemi jsou PM_{10} , $PM_{2,5}$, a PM_1 . Tyto frakce jsou rozděleny podle rozsahu velikostí. Frakci PM_{10} lze definovat jako aerosolové částice, které projdou třídičem s účinností odloučení 50 % pro částici aerodynamického průměru 10 μm . Analogicky je to i u ostatních frakcí. Symbol ePM_x označuje účinnost zařízení na čištění vzduchu pro

Tabulka 7.1: Rozsah opticky stanovených velikostí částic pro definici účinnosti ePM_x [20]

Účinnost	Rozsah velikostí, μm
ePM_{10}	$0,3 \leq x \leq 10$
$ePM_{2,5}$	$0,3 \leq x \leq 2,5$
ePM_1	$0,3 \leq x \leq 1$

částice se stanoveným průměrem mezi 0,3 μm a x μm (viz tabulka 7.1).[20]

Na základě poznatku z výše zmíněných studií bylo navrženo jiné třídění filtrů, které by mělo lépe popisovat vlastnosti filtrů pro všeobecné větrání. Norma ČSN EN ISO 16890 popisuje zejména třídění filtrů a zkušební metody. Tato norma je rozdělena na 4 části.

7.1 ČSN EN ISO 16890-1: Technické specifikace, požadavky a klasifikační metody založené na účinnosti odlučování částic (ePM)

Tato část se věnuje technickým specifikacím a požadavkům, zkušebními metodám a postupem a zejména je tato část zaměřena na třídění filtrů. Na konci této části jsou tři přílohy. Příloha A se věnuje uvolňování z filtrů (zpětné strhávání částic, odskok částic, uvolňování vláken nebo částíček z filtračního materiálu a zkoušení účinků uvolňování). Příloha B obsahuje ukázky výsledků měření, výpočty a metody klasifikace. Příloha C se věnuje odhadu koncentrace jemného prachu za filtrem.

Filtrační prvek musí být vyroben tak, aby snesl běžné používání a odolal vystavování takovým teplotám, vlhkostem a korozivním prostředí, ve kterých se bude pravděpodobně vyskytovat. Filtrační prvek musí být navržen tak, aby odolal mechanickému namáhání, kterému bude pravděpodobně vystaven při běžném použití. Prach nebo vlákna uvolněná během provozu filtračního prvku nesmí způsobit nebezpečí nebo obtěžování pro osoby vystavené filtrovanému vzduchu.

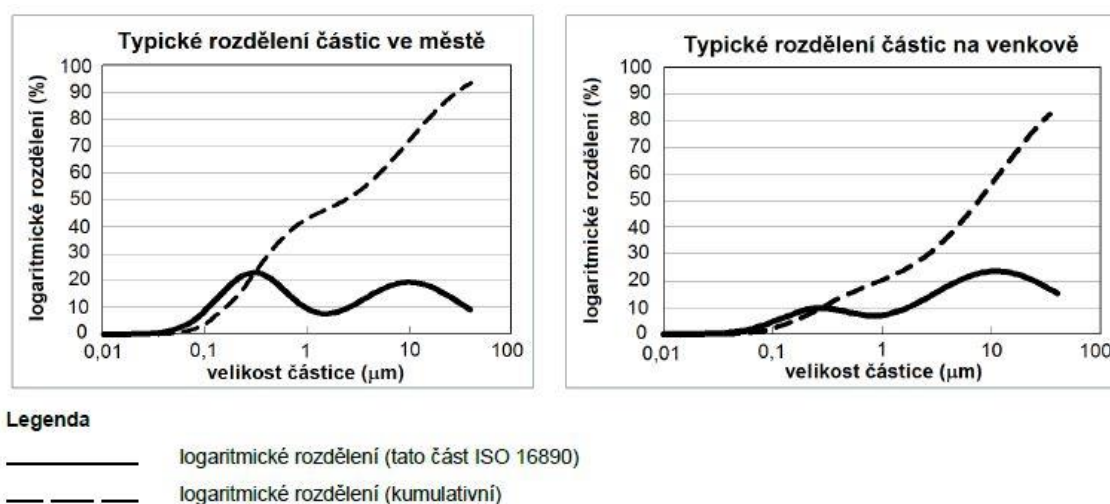
Filtry jsou zkoušeny při objemovém průtoku vzduchu $0,944 \text{ m}^3/\text{s}$. Čtvercový průřez zkušební trati má rozměry $610 \text{ mm} \times 610 \text{ mm}$, což znamená rychlost vzduchu při zkoušce $2,54 \text{ m/s}$. [20]

Zkušební postup se skládá z níže uvedených kroků, které musí být v průběhu zkoušky dodrženy:

- a) Měření odporu proudu vzduchu jako funkce průtoku vzduchu
- b) Měření křivky počáteční frakční účinnosti E_I nezatíženého a neupraveného filtru jako funkce velikosti částic
- c) Umělá úprava filtru
- d) Měření křivky frakční účinnosti $E_{D,i}$ upraveného filtru jako funkce velikosti částic
- e) Výpočet účinností ePM
- f) Zatěžování filtru zkušebním prachem L2 za účelem stanovení počáteční odlučivosti, odporu proudu vzduchu v závislosti na hmotnosti zachyceného zkušebního prachu a jímavosti filtru

7.1.1 Třídění filtrů

Jemné filtry určené pro filtraci částic PM_1 a $PM_{2,5}$ se hodnotí pomocí rozdělení velikostí částic, které se vyskytují v městském prostředí. Jemné filtry určené pro filtraci částic PM_{10} se hodnotí pomocí rozdělení velikostí, které se vyskytují ve venkovské oblasti (viz obr. 7.1).[20]



Obrázek 7.1: Diskrétní a kumulativní funkce logaritmickeho rozdeleni velikostí částic, jak bylo typicky zjištěno v městských a venkovských oblastech [20]

Pro klasifikaci filtrů jsou použity tři hodnoty účinností (ePM_1 , $ePM_{2,5}$ a ePM_{10}) a hodnoty minimálních účinností $ePM_{1,min}$, $ePM_{2,5,min}$. Hodnoty minimálních účinností jsou zjišťovány u elektrostaticky vybitých filtrů. Podle těchto charakteristik jsou filtry klasifikovány do jedné ze 4 skupin (viz tabulka 7.2).[20]

Vztah pro výpočet účinnosti odlučování aerosolových částic ePM_1 je definován následovně:

$$ePM_1 = \frac{\sum_{i=1}^n E_{A,i} \cdot q_{3u}(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i}{\sum_{i=1}^n q_{3u}(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i} \quad (7.1)$$

kde $E_{A,i}$ je střední frakční účinnost velikostního intervalu částic „i“, q_{3u} je diskrétní rozdělení velikostí částic dle objemu, \bar{d}_i je geometrický střední průměr velikostního intervalu průměru částic „i“ a $\Delta \ln d_i$ je logaritmická šířka velikostního intervalu průměru

Tabulka 7.2: Skupiny filtrů [20]

Označení skupiny	Požadavek			Uváděná hodnota u třídy
	$ePM_{1, \min}$	$ePM_{2,5, \min}$	ePM_{10}	
ISO hrubý	–	–	< 50 %	Počáteční gravimetrická odlučivost
ISO ePM_{10}	–	–	≥ 50 %	ePM_{10}
ISO $ePM_{2,5}$	–	≥ 50 %	–	$ePM_{2,5}$
ISO ePM_1	≥ 50 %	–	–	ePM_1

částic „i“.

Pro účinnosti odlučování aerosolových částic ePM_1 a $ePM_{2,5}$ jsou použity hodnoty rozdělení velikostí částic pro městské oblasti. Pro účinnosti odlučování aerosolových částic ePM_{10} jsou použity hodnoty rozdělení velikostí částic pro venkovské oblasti. [20]

Obdobně je definován vztah pro minimální hodnotu účinnosti $ePM_{1, \min}$ a $ePM_{2,5, \min}$:

$ePM_{1, \min}$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n E_{D,i} \cdot q_{3u}(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i}{\sum_{i=1}^n q_{3u}(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i} \quad (7.2)$$

kde $E_{D,i}$ je frakční účinnosti velikostního intervalu „i“, u filtračního prvku po umělé úpravě.

Při uvádění ePM tříd se zjištěné hodnoty u třídy zaokrouhlují dolů na nejbližší násobek 5 % bodů. Pro uvedení příkladu to mohou být filtry ISO hrubý 60 %, ISO ePM_{10} 60 %, ISO $ePM_{2,5}$ 60%, ISO ePM_1 85 %, ISO $ePM_1 > 95$ %. [20]

7.2 ČSN EN ISO 16890-2: Měření účinnosti odlučování částic a odporu proti proudění vzduchu

Druhá část normy ČSN EN ISO 16890 se věnuje obecným požadavkům na zkoušku, zkušební materiálům, zkušebním zařízením a zkušebními metodám. Tato část obsahuje

2 informativní přílohy. Příloha A obsahuje příklad vyplnění protokolů o výsledcích zkoušky provedených podle této části normy. Příloha B se věnuje výpočtům odporu při průtoku vzduchu.

7.2.1 Zkušební materiály

Ke zkoušce se používají dva základní typů aerosolů – kapalný a tuhý aerosol.

Kapalný aerosol DEHS, který je vyráběn zařízením s Laskinovou tryskou, má chemický vzorec $C_{26}H_{50}O_4$ a hustotu 912 kg/m^3 . Do zkušební trati je vpouštěn při tlaku 17 kPa a průtoku vzduchu cca $0,39 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Tuhý aerosol KCl musí být tuhé suché částice chloridu draselného, které jsou tvořeny z vodného roztoku. Hustota aerosolu je 1984 kg/m^3 . Tento aerosol je přiváděn do zkušební trati při průtoku $1,2 \text{ ml/min}$. Zkušební aerosol obsahuje částice v rozmezí velikostí $0,3 \text{ }\mu\text{m}$ až $10 \text{ }\mu\text{m}$.

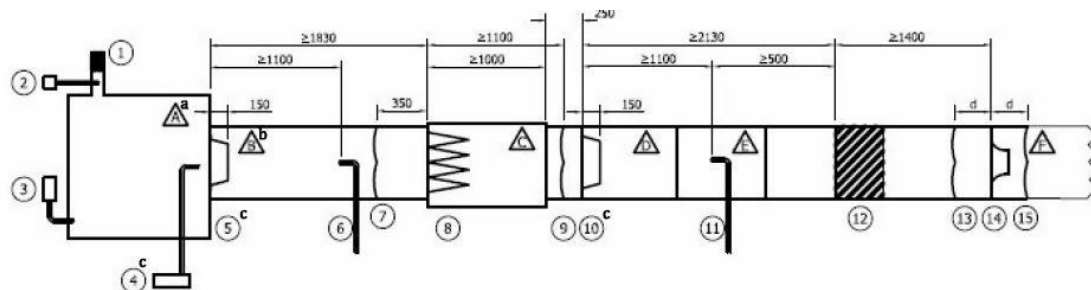
Tuhý aerosol KCl je vyráběn generátorem. Rozprašovací vzduchová tryska je umístěna v horní části rozprašovací věže, která umožňuje příslušné zdržení 40 sekund a vysušení kapiček KCl. Do rozprašovací trysky je přiveden vodný roztok KCl a rozprašovací vzduch.[21]

Pro zjištění filtračních vlastností v rozsahu velikostí $0,3 \text{ }\mu\text{m}$ až $1 \text{ }\mu\text{m}$ se používá kapalný aerosol DEHS. Pro zjištění filtračních vlastností v rozsahu velikostí $0,3 \text{ }\mu\text{m}$ až $10 \text{ }\mu\text{m}$ se používá tuhý aerosol KCl.[21]

7.2.2 Zkušební trať

Zkušební trať podle ČSN EN ISO 16890-2 (obr. 7.2) se dělí na 6 částí.

V části A se nachází nátoková komora, která zahrnuje vstřikování kapalného (2) a tuhého (3) aerosolu a trysku pro přívod zkušební prachu (4). Před vstřikováním kapalného aerosolu je do trati instalován HEPA filtr (1).



Legenda

- | | |
|--|---|
| A ZT sekce – nátoková komora | 9 Nátrubek ke snímání tlaku na výtoku zkoušeného zařízení |
| B ZT sekce – vzorkování v nátoku | 10 Směšovací clona na výtoku při zkoušce účinnosti |
| C ZT sekce – zkoušené zařízení | Koncový filtr na výtoku v době zatěžování filtru prachem |
| D ZT sekce – směšování na výstupu/koncový filtr | 11 Hlavice sondy pro odběr vzorku na výtoku |
| E ZT sekce – vzorkování na výtoku | 12 HEPA filtrace na výtoku (jestliže je použita) |
| F ZT sekce – měření průtoku | 13 Příklad horního tlakového nátrubku pro měření průtoku tryskou (jestliže je použita) |
| 1 HEPA filtrace v nátoku | 14 Příklad umístění zařízení na měření průtoku |
| 2 Vstřikování kapalného aerosolu | 15 Příklad dolního tlakového nátrubku pro měření průtoku tryskou (jestliže je použita) |
| 3 Vstřikování tuhého aerosolu | a Vztahuje se obecně na nátokovou stranu jakéhokoliv prvku zkušební tratě |
| 4 Tryska pro přívod prachu | b Vztahuje se obecně na výtokovou stranu jakéhokoliv prvku zkušební tratě |
| 5 Směšovací clona v nátoku | c Zařízení použitá pouze při zkoušení zatěžování prachem |
| 6 Hlavice sondy pro odběr vzorku v nátoku | d Nátrubky ke snímání tlaku při měření průtoku tryskou musí být umístěny podle požadavků výrobce zařízení |
| 7 Nátrubek ke snímání tlaku v nátoku zkoušeného zařízení | |
| 8 Zkoušené zařízení (zkoušený filtrační prvek) | |

Obrázek 7.2: Schéma zkušební trati [21]

V části B se nachází úsek trati určený ke vzorkování v nátoku. Tento úsek zahrnuje směšovací clonu v nátoku (5), hlavici sondy pro odběr vzorku v nátoku (6) a nátrubek ke snímání tlaku v nátoku (7).

V části C se nachází samotné zkoušené zařízení (zkoušený filtrační prvek) (8).

V části D se nachází úsek určený ke směšování na výstupu, resp. je zde umístěn koncový filtr. Tento úsek zahrnuje nátrubek ke snímání tlaku na výtoku (9), směšovací clonu na výtoku při zkoušce účinnosti nebo koncový filtr na výtoku v době zatěžování prachem (10).

V části E se nachází úsek určený ke vzorkování na výtoku. Tento úsek zahrnuje hlavici sondy pro odběr vzorku na výtoku (11).

V části F se nachází úsek určený k měření průtoku.

Odběr vzorku aerosolů je tvořen dvěma stejnými tratěmi, které jsou umístěny ve zkušební trati a jsou připojeny na optický počítač částic OPC, který musí mít nejméně osm logaritmičky rozdělených velikostních kanálů částic u minimálního souboru zkoušených dat (rozsah velikostí částic od 0,3 μm do 3,0 μm) nebo 12 logaritmičky rozdělených kanálů částic u úplného souboru zkoušených dat (rozsah velikostí částic od 0,3 μm do 10,0 μm).[21]

7.2.3 Zkušební metody

Postup měření frakční účinnosti filtru je založen na počítání částic před a za filtrem. Časový interval pro počítání částic je 30 sekund a počítání částic je provedeno pomocí 11 měření, přičemž je umožněno provést více měření při větším časovém intervalu pro získání lepší statistické variability. Mezi každým měřením dochází k čištění zkušební trati v nátoku a výtoku. Před samotným počítáním částic dochází k odběrům vzorků čistoty pozadí v nátoku a výtoku. Po samotném počítání částic dochází k odběrům vzorků čistoty pozadí v nátoku a výtoku. Tento postup je znázorněn v tabulce 7.3.[21]

Tabulka 7.3: Cyklus počítání částic u daného velikostního intervalu „ps“ [21]

		Čistota pozadí, začátek											Čistota pozadí, konec									
Výtok	Nátok	B _{0,1ps}		B _{0,2ps}		Zap. generátoru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Vyp. generátoru	B _{t1,ps}		B _{t2,ps}	
	Čištění		Čištění		Čištění		Čištění	Čištění	Čištění	Čištění	Čištění	Čištění	Čištění	Čištění	Čištění	Čištění	Čištění	Čištění		Čištění		Čištění
Výtok	Nátok																					
	Čištění																					

7.2.4 Zpracování údajů a výpočty

Frakční účinnost je definována jako velikost zlomku částic, které filtr odlučuje a které filtrem prochází. Pro výpočet frakční účinnosti se použije obecný vzorec:

$$E_{ps} = (1 - \overline{P_{ps}}) \times 100 \quad (7.3)$$

kde E_{ps} je frakční účinnost částic dané velikosti „ps“ a $\overline{P_{ps}}$ je průnik částic dané velikosti „ps“.

Průnik částic dané velikosti „ps“ je funkcí sledovaného průniku pro velikost částice „ps“ $\overline{P_{0,ps}}$ a korelačního poměru $\overline{R_{ps}}$. Konečná hodnota průniku pro velikost částice „ps“ se stanoví ze vztahu

$$\overline{P}_{ps} = \frac{\overline{P_{o,ps}}}{\overline{R_{ps}}} \quad (7.4)$$

Korelační poměr je použit k zamezení zkreslení mezi vzorkovacími systémy v nátoku a výtoku. Obecně je definován jako poměr počtu částic na výtoku a v nátoku při chodu generátoru částic, ale bez instalovaného filtru ve zkušební trati. [21] Vztah pro konečný korelační poměr pro velikost částice „ps“ lze vyjádřit:

$$\overline{R}_{ps} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{i,ps}}{n} \quad (7.5)$$

kde $R_{i,ps}$ je korelační poměr „i“ pro vzorek „i“ a pro velikost částice „ps“ a n je počet vzorků.

7.3 ČSN EN ISO 16890-3: Stanovení účinnosti gravimetrické metody a odporu proti proudění vzduchu pomocí hmotnosti zachyceného zkušebního prachu

Tato část se převážně věnuje zatěžováním filtru prachem. Dále obsahuje přílohu A, která se věnuje výpočtům odporu při průtoku vzduchu.

Proces zatěžování prachem spočívá v podávání prachu do zkušební trati. Zkušební prach je do trati podáván při koncentraci 140 mg/m³. Ke zkoušce zatěžování prachem se používá prach s označením L2, který je blíže specifikován normou ISO 15957. Zkušební prach je do trati podáván pomocí podavače prachu. Do korýtkového zásobníku podavače prachu je nasypán předem zvážený prach, který je poté pomocí ozubeného válce podáván do zkušební trati. Zkouška je zahájena první 30 g dávkou, která poskytuje informace o počáteční odlučivosti. Další dávky by pak měly tvořit hladkou křivku závislosti odlučivosti na množství prachu. Po každém podání prachu do zkušební trati je koncový filtr zvážen a vypočítána odlučivost. Postup a výpočet odlučivosti a jímavosti filtru pak zůstává nepozměněn oproti normě ČSN EN 779 (viz kapitola 6.4).[22]

7.4 ČSN EN ISO 16890-4: Metoda určující stanovení minimální zkušební účinnosti odlučování částic

4. část normy ČSN EN ISO 16890 se věnuje materiálům pro úpravu filtračního materiálu ve smyslu vybití a vyrovnání elektrostatického povrchového náboje a následně i zkušební metodě pro upravený filtrační materiál. Tato část normy obsahuje přílohu A, která obsahuje návody s ohledem na ochranu zdraví a bezpečnosti při používání IPA (možná opatření k řešení zdravotních a bezpečnostních rizik IPA).

Jako materiál pro úpravu vybití filtračního materiálu a vyrovnání elektrostatického povrchového náboje se používá kapalina Isopropanol (IPA). Chemický vzorec této látky je C_3H_8O a hustota je $0,7855 \text{ kg/m}^3$. [23]

Zkouška je provedena pomocí měření frakční účinnosti neupraveného filtru. Poté je filtr upraven pomocí par IPA a měření je opakováno stejně jako v ČSN ISO EN 16890-2. Toto měření udává informace o vlivu elektrostatiky na frakční účinnosti filtru.

7.5 Uvádění výsledků


Výsledky zkoušky filtru atmosférického vzduchu podle ČSN EN ISO 16890-1 obsahují základní informace o filtru (typ, výrobce, rozměry) a souhrnné výsledky zkoušky, které zahrnují počáteční a konečnou tlakovou ztrátu, počáteční odlučivost, jímavost filtru a hodnoty účinností (ePM_1 , $ePM_{2,5}$, ePM_{10} , $ePM_{1,min}$ a $ePM_{2,5,min}$). Podle těchto parametrů je filtr zařazen na základě ISO ohodnocení (např. ISO ePM_{2,5} 75 %). Protokol dále obsahuje graf znázorňující závislost frakční účinnosti (%) na velikosti částice (μm) a graf znázorňující závislost tlakové ztráty (Pa) na průtoku vzduchu (m^3/s) (viz tabulka 7.4).

Tabulka 7.4: Protokol o výsledcích zkoušky filtru atmosférického vzduchu dle ISO 16890-1 [20]

ISO 16890 – Výsledky zkoušky filtru atmosférického vzduchu		Zkušební organizace: Jméno Adresa Telefon			
OBEZNĚ					
Číslo zprávy:		Datum vydání zprávy: rrr-mm-dd			
Vedoucí:		Zařízení získáno (kdy a jak):			
Zkouška vyžádána (kým):					
ZKOUŠENÉ ZAŘÍZENÍ					
Model:	Výrobce:	Konstrukce:			
Typ materiálu:	Čistá účinná filtrační plocha:	Rozměry filtru (šířka x výška x hloubka) mm x mm x mm			
INFORMACE O ZKOUŠCE A PŘILOŽENÉ ZPRÁVY O ZKOUŠCE					
Průtok vzduchu při zkoušce m ³ /s	Číslo zprávy o zkoušce podle ISO 16890-2		Číslo zprávy		
	Číslo zprávy o zkoušce podle ISO 16890-3 (nepovinné)		Číslo zprávy		
	Číslo zprávy o zkoušce podle ISO 16890-4		Číslo zprávy		
VÝSLEDKY ZKOUŠKY					
Počáteční tlaková ztráta: Pa	Počáteční odlučivost: %	ePM _{1, min} %	ePM _{2,5, min} %	ISO ohodnocení	
Konečná tlaková ztráta: Pa	Jímavost filtru g g / g	ePM ₁ %	ePM _{2,5} %	ePM ₁₀ %	ISO ePM __ %
Poznámky:					
		<p>Křivka 1 Počáteční frakční účinnost E_i (ISO 16890-2)</p> <p>Křivka 2 Frakční účinnost po úpravě filtru E_{0j} (ISO 16890-4)</p> <p>Křivka 3 Střední frakční účinnost E_{s,j} (ISO 16890-1)</p>			
		<p>Křivka 4 Tlaková ztráta jako funkce průtoku vzduchu (čistý filtr) (ISO 16890-2)</p> <p>Křivka 5 Tlaková ztráta jako funkce hmotnosti zachyceného zkušebního prachu (nepovinné) (ISO 16890-3)</p> <p>Křivka 6 Odlučivost jako funkce hmotnosti zachyceného zkušebního prachu (nepovinné) (ISO 16890-3)</p>			
<p>POZNÁMKA Výsledky zkoušky se vztahují pouze na zkušební zařízení při zde uvedených podmínkách. Výsledky provozních parametrů nemohou být samy o sobě použity k odhadu provozních parametrů při všech možných reálných podmínkách prostředí.</p>					

Souhrn výsledků ze zkoušky vzduchového filtru podle ČSN EN ISO 16890-2 obsahuje informace o počítací částic (výrobce, model, hodnota koincidence), informace o zkoušeném filtru (model, typ filtračního materiálu, účinná plocha filtru, rozměry nebo konstrukce), údaje o zkoušce (průtok vzduchu, teplota, relativní vlhkost a zkušební aerosol). Dále popisuje zejména frakční účinnost, resp. koncentraci v nátoku v závislosti

Tabulka 7.5: Protokol o výsledcích zkoušky vzduchového filtru dle ISO 16890-2 [21]

ISO 16890-2:2016 – SOUHRN VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY VZDUCHOVÉHO FILTRU				Zkušební organizace: Jméno <i>Any Filter Test Lab</i> Adresa <i>1234 High st, Anywhere</i> Telefon <i>(123) 456-7890</i>	
OBCENĚ					
Číslo zkoušky: <i>unikátní číslo zkoušky</i>		Datum zkoušky: <i>4.6.201x</i>		Zkušební technik: <i>Bill Filtergeek</i>	
Informace o počítací částic				Měření průtoku: <i>XYX 23</i>	Zkušební vzorek získán: <i>volný trh</i>
Výrobce: <i>ABC</i>	Model: <i>1234</i>	Hodnota koincidence (1/m ³): <i>71M</i>			
ZKOUŠENÉ ZAŘÍZENÍ					
Model: <i>Bagenstein</i>		Výrobce: <i>Acme Filter</i>		Rozměry filtru (Š × V × D) (mm): <i>610 × 610 × 610</i>	
Typ filtračního materiálu: <i>materiál</i>		Čistá účinná plocha filtru (m ²): <i>5,9</i>		Konstrukce: (počet skládů, kapes apod.) <i>8 kapes</i>	
Elektrostatický náboj filtračního materiálu: <i>žádný</i>		Barva filtračního materiálu: <i>žlutá</i>		Lepicí materiál: <i>žádný</i>	
Stav zkoušeného zařízení: (<i>čistý/počáteční, použitý, upravený podle ISO 10890-4, zatížený podle ISO 10890-3 apod.</i>) (<i>Jestliže je zatížený prachem, uveďte druh prachu</i>) <i>čistý/počáteční zkušební</i>					
Další popisné informace:					
SOUHRNNÉ ÚDAJE O ZKOUŠCE					
Průtok vzduchu při zkoušce (m ³ /s): <i>0,944</i>	Teplota vzduchu při zkoušce (°C): <i>23</i>	Rel. vlhkost vzd. při zkoušce (%): <i>47</i>	Zkušební aerosol: <i>KCl</i>	Zatěžovací prach nebo metoda úpravy: <i>N/A</i>	
VÝSLEDKY					
Odpor při průtoku vzduchu (Pa)			Frakční účinnost (%)		
Změřeno: <i>122</i>	<i>Počáteční hmotnost filtru: 476 g</i>		Rozsah (μm)	Změřená účinnost	Koncentrace v nátoku (1/m ³)
			0,30–0,40	<i>66</i>	<i>57 400</i>
Fotografie zkoušeného zařízení			0,40–0,55	<i>72</i>	<i>45 189</i>
			0,55–0,70	<i>78</i>	<i>37 231</i>
			0,70–1,00	<i>86</i>	<i>25 314</i>
			1,00–1,30	<i>92</i>	<i>17 511</i>
			1,30–1,60	<i>95</i>	<i>13 748</i>
			1,60–2,20	<i>97</i>	<i>7 203,200</i>
			2,20–3,00	<i>98</i>	<i>2 168,000</i>
			3,00–4,00	<i>100</i>	<i>1 667,200</i>
			4,00–5,50	<i>100</i>	<i>1 394,800</i>
			5,50–7,00	<i>100</i>	<i>873,200</i>
			7,00–10,0	<i>100</i>	<i>458,800</i>
Poznámky:					
POZNÁMKA Výsledky této zkoušky se týkají pouze zkoušeného zařízení ve zde uvedeném stavu. Výkonnostní parametry filtrů nemohou být samy o sobě kvantitativně aplikovány k předpovědi parametrů filtru při všech „reálných“ podmínkách.					

na rozsahu velikostí částic (viz tabulka 7.5).

Souhrn výsledků ze zkoušky vzduchového filtru podle ČSN EN ISO 16890-3 obsahuje opět informace o zkoušeném filtru a údaje o zkoušce. Hlavní částí tohoto protokolu jsou výsledky zkoušky zatěžování prachem (počáteční odlučivost, průměrná odlučivost

a jímavost filtru) a výsledku odporu při průtoku vzduchu. Protokol také obsahuje graf, ve kterém je vyjádřen odpor při průtoku vzduchu (Pa) v závislosti na průtoku vzduchu (m^3/s). V dalších grafech je vyjádřen odpor (Pa), resp. odlučivost (%) v závislosti na

Tabulka 7.6: Protokol o podrobnostech zprávy zkoušky vzduchového filtru dle ISO 16890-3 [22]

ISO 16890-3:2016 – PODROBNOSTI ZPRÁVY ZKOUŠKY VZDUCHOVÉHO FILTRU			Zkušební organizace: Jméno Adresa Telefon	
Číslo zkoušky:		Datum zkoušky:		Zkušební technik:
PODROBNOSTI O VÝSLEDKÁCH ZKOUŠKY				
Odpor při průtoku vzduchu				
% jmen. průtoku vzduchu	Průtok vzduchu (m^3/s)	Odpor při průtoku vzduchu (Pa)		
50 %				
75 %				
100 %				
125 %				
POZNÁMKA Výsledky této zkoušky se týkají pouze zkoušeného zařízení ve zde uvedeném stavu. Výkonnostní parametry filtrů nemohou být samy o sobě kvantitativně aplikovány k předpovědi parametrů filtru při všech „reálných“ podmínkách. Jednotky jsou uvedeny v SI, ale mohou být převedeny do imperiálních jednotek IP.				

zatížení prachem (g) (viz tabulka 7.6).

8 ROZDÍLY MEZI ČSN EN 779 A ČSN EN ISO 16890

Se zavedením nové normy ČSN EN ISO 16890 přišla řada změn v posuzování filtrů pro všeobecné větrání.

Oproti ČSN EN 779 se norma zabývá obsahem jemných částic ve vzduchu. Ty přitom podle studií, které se věnovaly účinkům jemných částic na lidské zdraví, mohou přispívat ke vzniku dýchacích a kardiovaskulárních onemocnění. Účinnost filtru se podle ČSN EN 779 posuzovala pro částice o velikosti 0,4 μm . To však neodpovídá skutečným požadavkům. Naproti tomu norma ČSN EN ISO 16890 rozlišuje tři oblasti velikostí částic (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, PM_1), které lépe popisují skutečnost a zkoušky filtrů na základě tohoto rozdělení velikostí částic by měly lépe popisovat vlastnosti daného filtru.[15], [24]

Největší změnou je asi třídění filtrů. Norma ČSN EN 779 třídila skupiny filtrů na hrubé (třídy G1-4), střední (třídy M5-6) a jemné (třídy F7-F9). Zatřídění do skupin a tříd se posuzovalo podle střední účinnosti pro kapalně částice o velikost 0,4 μm pro střední a jemné filtry a podle střední odlučivosti syntetický zkušební prach pro hrubé filtry. Oproti tomu norma ČSN EN ISO 16890 třídí filtry pomocí účinností $e\text{PM}_1$, $e\text{PM}_{2,5}$ a $e\text{PM}_{10}$ a pomocí minimálních účinností $e\text{PM}_{1,\text{min}}$ a $e\text{PM}_{2,5,\text{min}}$, které se stanovují pro elektrostaticky vybitý filtr. Podle těchto parametrů jsou filtry zařazeny do jedné ze čtyř skupin filtrů (ISO hrubý, ISO ePM10, ISO ePM2,5 a ISO ePM1). Za třídu filtrů se pak přidává hodnota účinnosti zaokrouhlená na celé 5 % kroky. Přímé porovnání z hlediska třídění filtrů dle ČSN EN 779 a dle ČSN EN ISO 16890 není možné. Nicméně přibližné srovnání třídění filtrů vzduchu je znázorněno v tabulce 8.1.

Z přibližného srovnání je patrný větší počet tříd dle ČSN EN ISO 16890, než je počet tříd dle ČSN EN 779, což by mělo vést zkvalitnění podkladů pro výběr filtračního prvku pro předpokládanou oblast využití. Místo původních 9 tříd filtrace nová norma ČSN EN ISO 16890 zavádí 49 tříd filtrace. Přesné přiřazení jedné třídy filtru podle původní normy ČSN EN 779 k jedné třídě filtru podle ČSN EN ISO 16890 není možné z důvodů jiného

posuzování o třídění filtrů. Například filtrační prvek třídy F7 může být zařazen do třídy

Tabulka rozřídění							
PM1		PM2,5		PM10		Coarse	
ISO ePM1 95%	F9	ISO ePM2,5 95%	F7	ISO ePM10 95%	M6	ISO Coarse 95%	G4
ISO ePM1 90%		ISO ePM2,5 90%		ISO ePM10 90%		ISO Coarse 90%	
ISO ePM1 85%		ISO ePM2,5 85%		ISO ePM10 85%		ISO Coarse 85%	
ISO ePM1 80%		ISO ePM2,5 80%		ISO ePM10 80%		ISO Coarse 80%	
ISO ePM1 75%	F8	ISO ePM2,5 75%	M6	ISO ePM10 75%	M5	ISO Coarse 75%	G3
ISO ePM1 70%		ISO ePM2,5 70%		ISO ePM10 70%		ISO Coarse 70%	
ISO ePM1 65%	F7	ISO ePM2,5 65%	M6	ISO ePM10 65%	M5	ISO Coarse 65%	G2
ISO ePM1 60%		ISO ePM2,5 60%		ISO ePM10 60%		ISO Coarse 60%	
ISO ePM1 55%		ISO ePM2,5 55%		ISO ePM10 55%		ISO Coarse 55%	
ISO ePM1 50%		ISO ePM2,5 50%		ISO ePM10 50%		ISO Coarse 50%	
						ISO Coarse 45%	
						ISO Coarse 40%	
						ISO Coarse 35%	
						ISO Coarse 30%	
Nejméně 50% účinnost odloučení v neošetřeném i elektrostaticky vybitém stavu.		Nejméně 50% účinnost odloučení v neošetřeném i elektrostaticky vybitém stavu.		Nejméně 50% účinnost odloučení v neošetřeném stavu. Žádné požadavky pro stav elektrostatického vybití.		Žádné požadavky pro stav elektrostatického vybití.	
Jemný filtr		Střední filtr				Hrubý filtr	

Tabulka 8.1: Porovnání rozřídění vzduchových filtrů dle ČSN EN 779 a dle ČSN EN ISO 16890 [15]

ISO ePM1 50 % - 65 % nebo do třídy ISO ePM2,5 65 % - 95 %.[15]

Další z podstatných změn mezi normami jsou zkušební materiály. Norma ČSN EN 779 používala při zkouškách pouze kapalný aerosol DEHS. Kapičky tohoto aerosolu byly v rozmezí velikostí 0,2 μm až 3,0 μm . Do zkušební trati byly vpouštěny při tlaku 17 kPa a průtoku vzduchu cca 0,39 dm^3/s . V normě ČSN EN ISO 16890 k tomuto aerosolu přibyl ještě tuhý aerosol KCl, který obsahuje částice v rozmezí velikostí 0,3 μm až 10 μm . Do zkušební trati je vpouštěn při průtoku 1,2 ml/min. Pro zjištění filtračních vlastností v rozsahu velikostí 0,3 μm až 1,0 μm se používá kapalný aerosol DEHS a pro zjištění filtračních vlastností v rozsahu velikostí 0,3 μm až 10 μm se používá tuhý aerosol KCl. Další změnou ve zkušebních materiálech je druh a koncentrace podávaného zátěžového prachu. Norma ČSN EN 779 využívala při zkouškách zatěžování prachem prach popsany

ANSI/ASHRAE 52.2. Naproti tomu norma ČSN EN ISO 16890 používá při zkouškách zatěžování prachem prach s označením L2 popsany normou ISO 15957. Oproti normě ČSN EN 779 se koncentrace podávání prachu zdvojnásobila, tedy ze 70 mg/m^3 na 140 mg/m^3 . Dle normy ČSN EN 779 byl zkušební prach do trati přírůstkově podáván, což neplatí pro postup zatěžování prachem dle normy ČSN EN ISO 16890, kde je filtr hodnocen bez přísunu prachu.[15], [24]

Jednou z dalších změn je i konečný odpor při průtoku vzduchu při zkoušce zatěžování prachem. Pro G-filtry dle normy ČSN EN 779 byl konečný odpor při průtoku vzduchu

250 Pa a pro M-filtry a F-filtry byl konečný odpor při průtoku vzduchu 450 Pa. Oproti tomu filtry dle normy ČSN EN ISO 16890 s účinností odlučování $< 50 \%$ v rozsahu velikostí částic PM_{10} je konečný odpor při průtoku vzduchu 200 Pa a pro filtry s účinností odlučování

$\geq 50 \%$ v rozsahu velikostí částic PM_{10} je konečný odpor při průtoku vzduchu 300 Pa.[24]

Změnou prošel i časový interval a množství počítání částic. Dle ČSN EN 779 bylo měření účinnosti provedeno pomocí nejméně 13 počítání částic po dobu minimálně 20 s. Naproti tomu dle normy ČSN EN ISO 16890 byl časový interval zvýšen na 30 s a množství počítání částic bylo sníženo na nejméně 11.

Při testování elektrostaticky vybitého filtru pomocí Isopropanolu byl dle normy ČSN EN 779 filtrační prvek plně ponořen do Isopropanolu a účinnost elektrostaticky vybitého filtru byla porovnána s neupraveným filtračním prvkem. Oproti tomu při testování elektrostaticky vybitého filtru pomocí Isopropanolu je dle normy ČSN EN ISO 16890 filtrační prvek vystaven parám Isopropanolu a účinnost upraveného a neupraveného filtračního prvku se vyhodnocuje zvlášť.[24]

Drobnou změnou prošla také zkušební trať. V normě ČSN EN ISO 16890 došlo pouze k přidání vstřikování tuhého zkušebního aerosolu KCl.

Celkově by změny v ČSN EN ISO 16890 oproti ČSN EN 779 měly napomoci ke globálnímu sjednocení pravidel pro hodnocení vzduchových filtrů a zkvalitnit výběr filtru podle použití a požadavků na filtrační vlastnosti. V neposlední řadě norma ČSN EN ISO 16890 více přihlíží na filtraci jemných částic, které mohou způsobovat zdravotní problémy.

8.1 Reakce výrobců filtrů

KS Klima-Service, a.s. je přední výrobce vzduchových filtrů a filtračních zařízení na českém trhu se sídlem v Příbrami. Firma byla založena roku 1993. Při pohledu na technické údaje různých filtrů dostupné z jejich webových stránek je patrné, že tyto údaje jsou posuzovány dle předchozí normy ČSN EN 779 (příklad na obr. 8.1).[6]

KS PAK 45 a KS PAK 55

Kapsové filtry



Třída filtrace dle EN 779:2012
M5

Možnosti dodávek
standardní řada EURO, nestandardní rozměry dle požadavků zákazníka

Možnost regenerace
ne

Farmacie Čisté prostory Servis Plus HVAC Vysoká účinnost Nízká energetická náročnost Hygienicky nezávadný Průmysl

Obrázek 8.1: Kapsové filtry KS PAK 45 a KS PAK 55 od KS Klima Service, a.s. [6]

TROX je světovým lídrem ve vývoji, výrobě a prodeji komponentů pro větrání a klimatizace. Své obsazení má ve více než 70 zemích s centrální pobočkou v Německu. Firma byla založena v roce 1951. I přesto, že firma informovala na svých webových stránkách o změnách, které přišly společně s novou normou ČSN EN ISO 16890, jsou technické údaje filtrů posuzovány stále podle ČSN EN 779 (příklad na obrázku 8.2).[24]

TYPE PFN

PŘEDFILTRY NEBO KONCOVÉ FILTRY VE VZDUCHOTECHNICE

Kapsové filtry pro zachycování jemného prachu

- Filtrační třídy M6, F7, F9
- Údaje o vlastnostech zkoušeny podle EN 779
- Certifikace Eurovent pro filtry jemného prachu
- Vyhovuje hygienickým požadavkům VDI 6022
- Nejvyšší energetická efektivnost podle dokumentu Eurovent 4/11
- Médium NanoWave®, síť
- Větší filtrační plocha díky kapsovým filtrům různý počet kapes a různá hloubka kapes
- Médium NanoWave® s extrémně nízkým počátečním rozdílem tlaku a nejvyšší možnou jímavostí prachu, ideální průtokové podmínky díky lichoběžníkovým filtračním kapsám
- Rychlá montáž a výměna filtru díky snadné a bezpečné manipulaci
- Upevnění do standardních rámců elementů pro filtrační stěny (typ SIF) nebo do univerzálních skříní (typ UCA) pro montáž do potrubí

Volitelné vybavení a příslušenství

- Přední rám z plastu nebo pozinkovaného plechu



Obrázek 8.2: Kapsový filtr typu PFN od firmy TROX [24]



KPF Filtry třídy G3 – F9

Předfiltrační pouzdra do vzduchotechnického potrubí jsou navržena jako první stupeň filtrace ve vzduchotechnickém potrubí. Prodloužená životnost filtrů s vysokou účinností filtrace.

- flexibilní aplikace díky modulové konstrukci
- použitelné pro kapsové i kazetové typy filtrů
- speciální volitelná varianta: filtry s aktivním uhlím (pro zachytávání pachů nebo radioaktivních částic)

Obrázek 8.3: Filtrační pouzdro do vzduchotechnického potrubí typu KPF od firmy Lindab [13]

Lindab je mezinárodní skupina, která vyvíjí, vyrábí a distribuuje produkty pro zlepšení vnitřního prostředí. Firma byla založena v roce 1956 ve Švédsku, kde má dodnes hlavní sídlo. Své další pobočky má i v Německu, Francii nebo České republice. Z technických údajů dostupných z jejich webových stránek je patrné, že firma stále hodnotí filtry dle normy ČSN EN 779 (příklad na obrázku 8.3).[13]

Filtration Group s.r.o. je světový výrobce filtrů a filtračních zařízení pro filtraci kapalin i plynů. Firma byla založena ve 30. letech 20. století v Nizozemsku pod názvem AmafilterAlkmaar. Své výrobní závody má na pěti kontinentech a pobočky po celém světě. Tato firma na svých webových stránkách uvádí informace o přechodu z normy ČSN EN 779 na ČSN EN ISO 16890. Dále firma reagovala na změnu normy nainstalováním dvou zkušebních zařízení odpovídající postupům dle nové normy. V produktových listech dostupných na jejich webových stránkách však nejsou žádné údaje o třídě filtrů s poznámkou o kontaktování specialistů firmy při výběru filtrů. [14]

Firma **Robatherm** je jedna z předních výrobců vzduchotechnických jednotek. Své zastoupení má v České republice, Belgii, Nizozemsku, Polsku atd. Ačkoliv Robatherm není přímo výrobce filtrů, tak na svých webových stránkách uvádí informace o změnách, které nastaly s příchodem normy ČSN EN ISO 16890. Přestože firma poskytla informace o přechodu z ČSN EN 779 na ČSN EN ISO 16890, ve svých produktových listech vzduchotechnických jednotek uvádějí třídy použitých filtrů dle již neplatné normy ČSN

Vybavení jednotky	<p>Provedení: Vnitřní provedení s 2-mi vrstvami práškového lakování</p> <p>Pružné připojení: Zvukově izolované a lakované</p> <p>Klapky: Vnější vzduch: zinkovaná ocel, třída těsnosti 2 Oběh. vzduch: hliník, třída těsnosti 2 Odpad. vzduch: hliník, třída těsnosti 2</p> <p>Filtry: Vnější vzduch: plochý filtr G4 kapsový filtr F7 Biostat Přív. vzduch: kapsový filtr F7 (možnost)</p>	<p>ZZT: Deskový výměník s křížovým prouděním včetně bypassu pro regulaci výkonu</p> <p>Ohříváč: $t_E = 22\text{ °C}$, $t_A = 35\text{ °C}$ Kondenzátor: R407c $t_c \approx 45\text{ °C}$ Ohříváč: $t_w = 70/50\text{ °C}$</p> <p>Příslušenství: Kontrola zanesení filtru Frekvenční měnič včetně servisního spínače</p> <p>Možnosti: Individuálně rozšiřitelné např. o: - odlišné připojení jednotky - kondenzátor pro ohřev bazénové vody - přetlakovou klapku, atd.</p>
--------------------------	---	---

Obrázek 8.4: Část produktového listu vzduchotechnické jednotky od firmy Robatherm [15]
EN 779 (příklad na obrázku 8.4). [15]

I další výrobci filtrů stále hodnotí filtry dle již neplatné normy ČSN EN 779, přestože někteří z nich informovali o změně, která byla způsobena příchodem nové normy ČSN EN ISO 16890. Z těchto zjištění je zřejmé, že přechod na novou normu ČSN EN ISO 16890 bude trvat delší časové období.

9 ZÁVĚR

První část této bakalářské práce se zabývala popisem a rozdíly mezi atmosférickou a průmyslovou filtrací. Dále byly uvedeny základní veličiny, které popisují filtry. V této části byly popsány i základní principy odlučování částic, které se používají ve filtraci pro všeobecné větrání. Tuto část zakončil popis provedení filtrů a filtračních materiálu.

Hlavní část této bakalářské práce se věnovala normě ČSN EN 779 a ČSN EN ISO 16890. ČSN EN 779 byla platná od 1. 11. 2012 a účinnost této normy skončila 1. 12. 2017, kdy v platnost vstoupila nová norma ČSN EN ISO 16890. Po dobu 18 měsíčníhopřechodového období bylo možné se řídit oběma normama, nyní by se již měla využívat nová norma ČSN EN ISO 16890. Obě normy obsahují požadavky na odlučovací parametry, které musí filtry splňovat. Dále určují zkušební metody a zkušební trať, kde se tyto parametry zjišťují. Filtry jsou roztrženy do skupin podle jejich parametrů, zjištěných podle stanoveného zkušební postupu. Tato část tedy obsahovala zejména způsob třídění filtrů, popis zkušebních metod a zkušebních materiálů a způsob uvádění výsledků ze zkoušek filtru dle dané normy.

Zavedení nové normy poskytlo řadu výhod v oblasti filtrace všeobecného vzduchu. K největší změně došlo v části třídění filtrů, kde namísto původních 9 tříd filtrace bylo zavedeno 49 tříd filtrace. To by mělo přinést zkvalitnění podkladů pro výběr filtračního prvku do oblasti filtrace všeobecného vzduchu. Dle nové normy ČSN EN ISO 16890 se třídy filtrů stanovují z účinností $ePM_{1,}$, $ePM_{2,5}$ a ePM_{10} a pomocí minimálních účinností $ePM_{1,min}$ a $ePM_{2,5,min}$, které se stanovují pro elektrostaticky vybitý filtr. Stanovení tříd filtrace podle těchto parametrů lépe odpovídá skutečným požadavkům, jelikož respektuje skutečnost možných zdravotních problémů, které mohou vznikat účinky jemných částic v ovzduší. Celkově by zavedení normy ČSN EN ISO 16890 mělo napomoci ke globálnímu sjednocení pravidel pro hodnocení filtrů pro všeobecné větrání a zlepšit výběr filtračních prvků pro danou oblast filtrace na základě přesnějších filtračních vlastností.

V oblasti výrobců filtrů se vztahu k zákazníkům zatím nová norma ČSN EN ISO 16890 příliš neprojevuje. Někteří velcí výrobci filtrů o změně sice informovali, nicméně výrobky v jejich produktových listech jsou stále hodnoceny dle staré normy EN 779, resp. ČSN EN 779. Vzhledem k dlouholeté platnosti předešlé normy a zvyklosti zákazníků,

i vzhledem k odlišnému třídění a složitosti nové normy ČSN EN ISO 16890 bude zřejmě přechod k jejímu používání trvat delší časové období.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HEMERKA, J., VYBÍRAL, P. Filtrace atmosférického vzduchu. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 110 s. ISBN 978-80-01-04902-0.
- [2] HEMERKA, J. Odlučování tuhých částic. Dot. 1. vyd. Praha: Česká vysoká škola technická, 1995, 138 s. ISBN 80-010-1088-0.
- [3] RAMAKRISHNA, S. An introduction to electrospinning and nanofibers. Hackensack, NJ: WorldScientific, c2005. ISBN 981-256-415-2.
- [4] VYBÍRAL, P. Použití nanovláken v průmyslové filtraci v oblasti spalovacích procesů a porovnání s dosavadním stavem. Praha, 2014. Literární rešerše. ČVUT v Praze - Fs ústav 12116.
- [5] HRŮZA, J. Zlepšování filtračních vlastností vláknenných materiálů. Liberec, 2005. Kandidátská disertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [6] KS Klima-Service : Vzduchové filtry a filtrační zařízení. KS Klima-Service : Vzduchové filtry a filtrační zařízení [online]. Copyright © 2002 [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <http://www.ksklimaservice.cz/>
- [7] IB FILTR. IB FILTR [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <https://ibfiltr.cz/>
- [8] KLIMAIR. KLIMAIR [online]. Copyright © [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <http://www.klimair.cz/>
- [9] Filtr Pro - Vzduchové filtry. Filtr Pro - Vzduchové filtry [online]. Copyright © 2019 [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <https://www.filtr-pro.cz/>
- [10] ČSN EN 779: Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic pro všeobecné větrání - Stanovení filtračních parametrů. TZB-info [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-779-2012-10>
- [11] VzduchoTechnik.cz – Výroba průmyslových odsavačů a ventilátorů. VzduchoTechnik.cz – Výroba průmyslových odsavačů a ventilátorů [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <http://www.vzduchotechnik.cz/>

- [12] HEMERKA, J.: Filtrace atmosférického vzduchu II. TZB-info [online] Praha, 2009, [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/potrubi-a-jehosoucasti/5843-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-ii>
- [13] Lindab - We simplify construction. Document Moved [online]. Copyright © Lindab 2019 [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <http://www.lindab.com/global/pro/pages/default.aspx?redirecttomarket=true&i=6126>
- [14] Filtration Group - Specialista průmyslovou filtraci | Produkty a Odvětví. Filtration Group - Specialista průmyslovou filtraci | Produkty a Odvětví [online]. Copyright © 2019 [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <https://filtrationgroup.cz/>
- [15] Robatherm – The air handling company. [online]. Copyright ©2019 robatherm [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <https://www.robatherm.com/cz>
- [16] LXXB – Luxusní krbové mřížky [online]. [cit. 2019-06-17]. Dostupné z: <http://lxkb.cz>
- [17] HEMERKA, J.: Filtrace atmosférického vzduchu III. TZB-info [online] Praha, 2009, [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/potrubi-a-jeho-soucasti/5877-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-iii>
- [18] Vpichování. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vpichov%C3%A1n%C3%AD>
- [19] ČSN EN 779: Filtrý atmosférického vzduchu pro odlučování částic pro všeobecné větrání - Stanovení filtračních parametrů. © Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [20] ČSN EN ISO 16890-1: Vzduchové filtry pro všeobecné větrání – Část 1: Technické specifikace, požadavky a klasifikační metody založené na účinnosti odlučování částic (ePM). © Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [21] ČSN EN ISO 16890-2: Vzduchové filtry pro všeobecné větrání – Část 2: Měření účinnosti odlučování částic a odporu proti proudění vzduchu. © Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

[22] ČSN EN ISO 16890-3: Vzduchové filtry pro všeobecné větrání – Část 3: Stanovení účinnosti gravimetrické metody a odporu proti proudění vzduchu pomocí hmotnosti zachyceného zkušebního prachu. © Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

[23] ČSN EN ISO 16890-3: Vzduchové filtry pro všeobecné větrání – Část 4: Metoda určující stanovení minimální zkušební účinnosti odlučování částic. © Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

[24] TROX Austria GmbH organizační složka. Homepage | TROX Austria GmbH organizační složka [online]. Copyright © TROX Austria GmbH [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <https://www.trox.cz/>