

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

# NÁVRH VZDUCHOTECHNIKY WELLNESS SPORTOVNÍHO CENTRA

DESIGN OF AIR CONDITIONING IN WELLNESS CENTER

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Valcha

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR BLASINSKI, Ph.D.

BRNO 2019





# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Tomáš Valcha
<b>Název</b>	Návrh vzduchotechniky wellness sportovního centra
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Petr Blasinski, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2018
<b>Datum odevzdání</b>	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

---

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

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

## **PODKLADY A LITERATURA**

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální právní předpisy ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

- A. Popis stávajícího stavu, analýza tématu a podkladů stavby, stanovení konkrétních cílů a metod řešení.
- B. Minimálně 2 varianty optimalizace stávajícího stavu, doplněné o experimentální měření. Experimentální řešení bude obsahovat popis metody a přístrojové techniky. Jednočarové schémata rozvodů VZT systému a chlazení. Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.
- C. Minimálně 1 varianta v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení (půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva).
- Práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony a vyhláškami, normami) pro navrhování zařízení techniky staveb.

## **STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

---

Ing. Petr Blasinski, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá návrhem klimatizační jednotky wellness sportovního centra v Brně a zahrnuje experimentální měření HEPA filtrů. Práce je rozdělena do tří hlavních částí, kterými jsou: teoretická část, experimentální část a návrh jednotky. Teoretická část práce obsahuje základní seznámení se vzduchovými filtry. Cílem experimentální části je vyhodnocení tlakové ztráty a účinnosti HEPA filtrů. Poslední část diplomové práce je prakticky zaměřena na návrh tří vzduchotechnických zařízení wellness sportovního centra.

## **Preface**

This diploma thesis deals with the design of the air-conditioning unit of the wellness center in Brno and includes experimental measurement of HEPA filters. The thesis is divided into three main parts: the theoretical part, the experimental part and the air-conditioning unit design. The theoretical part of the thesis contains basic introduction to air filters. The experimental part aims to evaluate the pressure loss and the effectiveness of HEPA filters. The last part of the diploma thesis is practically focused on the comparison of three air-conditioning unit of the wellness center.

## **Klíčová slova**

Vzduchotechnika, mikroklima, měření, vzduchotechnická jednotka, filtrace vzduchu, nanofiltry, účinnost, odvlhčení.

## **Key Words**

Ventilation, microclimate, measurement, air-conditioning unit, air filtration, nanofilters, efficiency, dehumidification



### **Bibliografická citace**

Tomáš Valcha *Vzduchotechnika wellness sportovního centra*. Brno, 2019. 93s., 20s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Petr Blasinski, Ph.D.





**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Blasinskému, Ph.D. za poskytnutí cenných rad, zkušeností a času. Také za ochotu a příkladné vedení celého procesu tvorby této práce. Velké poděkování patří i mé rodině za podporu při studiu a při zpracování diplomové práce.



## OBSAH

1	úvod.....	15
2	teoretická část.....	16
2.1	Nanotechnologie.....	17
2.2	Materiály a typy výroby nanovláknenných materiálů.....	17
2.3	Třídění filtrů.....	19
2.3.1	Třídění filtrů podle konstrukčního provedení.....	19
2.3.2	Třídění filtrů dle ČSN EN 779 a ČSN EN 1822.....	20
2.3.3	Třídění podle nové normy ČSN EN 16890.....	20
2.4	Principy odlučování částic.....	22
2.5	Účinnost filtrace.....	25
2.5.1	Výpočet účinnosti odlučivosti dle ČSN EN 16890.....	26
2.6	Zkušební trať.....	27
2.6.1	Zkušební podmínky.....	27
2.6.2	Složení zkušební trati.....	27
2.6.3	Zkušební aerosol.....	29
2.6.4	Tvorba aerosolu.....	30
2.6.5	Počítač částic aerosolu.....	30
2.7	Filtry a jejich konstrukce.....	31
2.7.1	Kartušové HEPA filtry.....	31
2.7.2	Kapsové filtry.....	32
2.7.3	Filtrační média filtrů.....	33
3	EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ.....	35
	PROTOKOL Z MĚŘENÍ.....	35
3.1	CÍL MĚŘENÍ.....	36
3.2	PŘÍSTROJE A VZORKY.....	37
3.3	POSTUP MĚŘENÍ.....	40
3.4	SCHÉMA OKRUHU A MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ.....	41
3.5	Fotodokumentace:.....	42
3.6	NAMĚŘENÉ HODNOTY.....	44
3.7	GRAFY.....	44
3.7.1	Naměřené tlakové ztráty všech HEPA filtrů:.....	45
3.7.2	Odlučivost HEPA filtru.....	48

3.7.3	Zatřídění kapsových nano filtrů:.....	51
3.7.4	Porovnání všech filtrů:.....	52
3.8	Zhodnocení.....	56
3.8.1	TLAKOVÁ ZTRÁTA FILTRŮ .....	56
3.8.2	ODLUČIVOST FILTRŮ.....	57
4	Odvlhčení bazénové haly.....	58
4.1	Úvod .....	59
4.2	Popis bazénové haly .....	59
4.3	Tepelná zátěž.....	60
4.4	Vlhkostní zátěž.....	62
4.5	Klimatické a mikroklimatické podmínky.....	63
4.6	Varianta 1 – Bazénová jednotka.....	65
4.7	Varianta 2 – VZT jednotka s řízeným odvlhčováním .....	66
4.8	Varianta 3 - Nucené větrání s odvlhčovačem.....	66
4.9	Vyhodnocení.....	68
4.9.1	Roční bilance .....	68
4.9.2	Cena provozu jednotek .....	72
4.9.3	Shrnutí .....	74
5	Technická zpráva .....	78
5.1	Úvod .....	78
5.2	Podklady pro zpracování .....	78
5.3	Klimatické podmínky stavby.....	79
5.4	Mikroklimatické podmínky.....	79
5.4.1	Množství přiváděného vzduchu .....	79
5.4.2	Množství odváděného vzduchu.....	79
5.4.3	Vstupní data pro úhradu tepelných ztrát.....	79
5.4.4	Vstupní data pro výpočet tepelných zisků .....	80
5.4.5	Návrh ohřevu.....	80
5.4.6	Stavy vnitřního mikroklima.....	80
5.4.7	Hluk.....	80
5.4.8	Provozování VZT zařízení.....	80
5.5	Popis VZT jednotky .....	81
5.5.1	Popis zařízení a jeho provozních stavů.....	81

5.5.2	Popis společných prvků .....	82
5.6	Požadavky na navazující profese .....	83
5.6.1	Požadavky na stavbu .....	83
5.6.2	Požadavky na tepelnou energii .....	83
5.6.3	Požadavky na ZTI .....	83
5.6.4	Požadavky na elektrickou energii .....	83
5.6.5	Požadavky na MaR.....	83
5.7	Pokyny pro obsluhu, údržbu, bezpečnost práce, zkoušky.....	84
5.8	Vliv na životní prostředí.....	84
5.9	Závěr .....	84
6	Závěr .....	85
7	Použité zdroje .....	86
8	Seznam použitých zkratk a označení .....	88
9	Seznam obrázků, tabulek a grafů .....	89
	Přílohy.....	92

# 1 ÚVOD

Důvodem tvorby diplomové práce je zapojení se do procesu monitorování vývoje a výzkumu chování nanomateriálů pro filtraci vzduchu. Tato práce znamená seznámení se s novou technologií a tím i rozšíření obzoru vědomostí a myšlení. Výstupem práce je osvětlení problematiky nanotechnologie pro filtraci ve vzduchotechnice a možnosti její využití v rámci tohoto oboru.

Diplomová práce je rozdělená do tři částí a to na teoretickou část experimentální, a praktickou.

První část se zabývá nanotechnologiemi a vzduchovými filtry, dále je zaměřena na rozdělení vzduchových filtrů.

V experimentální části popisují proces a výstupy měření vzduchových filtrů, které jsem provedl ve školní laboratoři. Filtry poskytla firma ASIO spol. s.r.o. Cím bylo změřeno tlakové ztráty a odlučivosti následně porovnání s daty z minulého měření kapsových filtrů.

Obsahem třetí části diplomové práce je porovnání třech možných variant odvlhčení bazénové haly. Tyto varianty jsem porovnal z pohledu funkčního a ekonomického. Závěrem jsem zhodnotil, která je pro daný provoz vhodná.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

HEPA NANO FILTRY



## 2.1 Nanotechnologie

Pro účely této práce je nezbytné teoreticky vymezit pojem nanotechnologie vzhledem k rozličným definicím tohoto pojmu. Nanotechnologie je technickým oborem zabývajícím se výrobou, vývojem a využitím materiálů o rozměrech ve velikosti nanometrů 1–100 nm. Tento technický obor zachází do hloubky atomu a molekul, což pro běžné, lidské vnímání může být matoucí. Pro představu velikosti nanovlákn, zde uvádím známý příklad, že nanovlákn je přibližně 1000x tenčí než lidský vlas.

Jako jeden ze zakladatelů nanotechnologie je označován Richard Feynman, který představil ve své přednášce (*There's Plenty of Room at the Bottom*) základní myšlenky nanotechnologie.

Využití nanotechnologie je již v dnešní době velice populární, a to i přesto, že tento obor existuje krátkou dobu. Tato technologie nachází využití v oborech jako jsou například elektronika, medicína či textil.

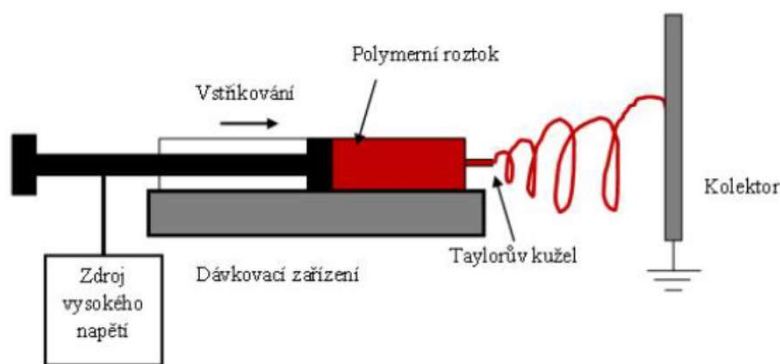
Jak i jiné obory i nanotechnologie má svá rizika. Vědecké práce poukazují na možné zdravotní a ekologická rizika. Příkladem může být snadné pronikání částic do lidského těla, kde jsou biologicky aktivnější. To znamená, že látky normálně neškodné se stávají nebezpečné

## 2.2 Materiály a typy výroby nanovláknenných materiálů

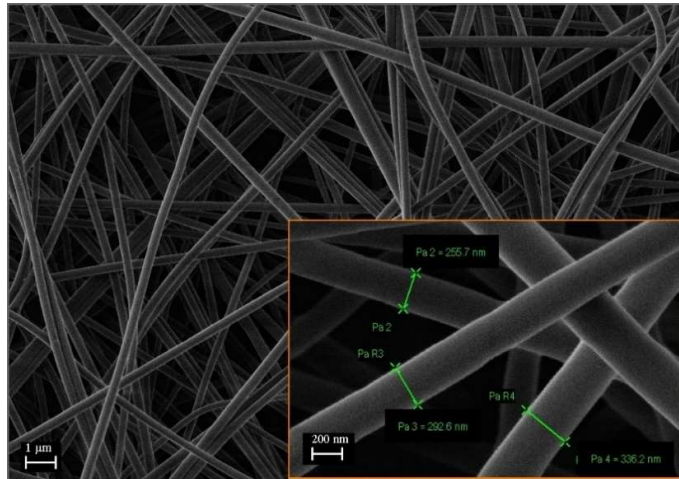
Nejčastěji využívaný materiál lze považovat roztoky polymerů PP a PE, následně vlákna uhlíková, skelná a kovová.

Možnosti výroby nanovláknenných materiálů je více. Jeden z nejpoužívanějších metod výroby je však electrospinning neboli elektrostatické zvlákňování. Díky této metodě můžeme zpracovávat téměř všechny druhy polymerů, a to většinou v roztoku. K vytvoření vláken je potřeba, aby měl polymer dostatečně nízkou viskozitu.

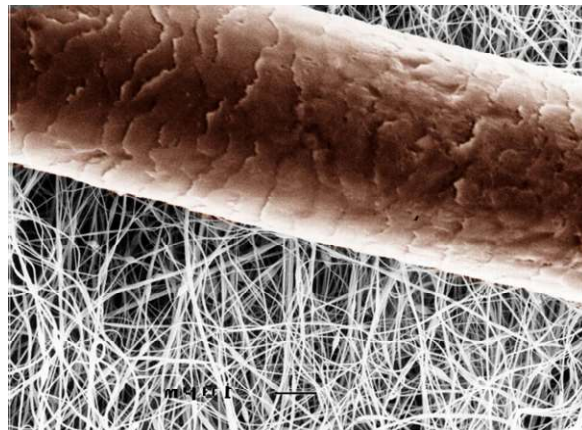
Při electrospinningu je využíváno vodivosti polymerních roztoků, kdy vlákna vznikají mezi dvěma elektrodami. Polymerní roztok prochází skrz kapiláru, na niž je připevněna elektroda. Vlákno polymeru je pak taženo směrem k druhé elektrodě, tzv. zemnici. K tomuto ději dochází vlivem porušení povrchového napětí napětím mezi elektrodami. Tažením vzniká nanovlákn.



Obrázek 1 - Schéma principu elektrostatického zvlákňování [14]



Obrázek 2 - Snímek ze skenovacího mikroskopu [14]



Obrázek 3 - Porovnání vlasu a nanovlákná [14]

## 2.3 Třídění filtrů

Filtr je zařízení, ve kterém dochází k odlučování nežádoucích látek a příměsí z venkovního a cirkulačního vzduchu. Filtry atmosférického vzduchu slouží především k ochraně vnitřního ovzduší před znečištěním, protože narůstající znečištění atmosféry představuje ohrožení zdraví lidí a taky působí poruchy ve vzduchotechnických jednotkách. Ve zvláštních případech se důkladně filtruje i odpadní vzduch, aby nedocházelo k šíření nemocí a škodlivých látek.

Filtrová odlučivost roste se snížením pórovitosti, tj. zmenšením průměru vláken, zmenšením zrnitosti a zvyšování tloušťky filtrační vrstvy. Jednak z narůstající účinnosti filtru taky narůstá tlakový odpor filtru.

### 2.3.1 Třídění filtrů podle konstrukčního provedení

Konstrukční řešení:

- Kapsové filtry
- Rámečkové filtry
- Kompaktní

Rozdělení dle média:

- Syntetické vlákno
- Filtry s aktivním uhlím
- Skelné vlákno
- Přírodní latexové vlákno
- Recyklovaný papír
- Kovové

#### Kapsové filtry

Filtrační vložka je sešita nebo svařována do tvaru kapes. Je vyrobena z tkaniny (syntetické nebo přírodní). Kapsy se vyrábějí o určité hloubce a šířce podle požadovaného průtoku. Filtry se vyrábějí pro třídy G3-F9.

#### Deskové filtry

Jednotlivé části filtru jsou tvořeny z rohoží organických, anorganických, syntetických nebo skelných vláken, které jsou ve tvaru desek. Filtrační vložky jsou podloženy mřížkou tak aby se udržely v rámu.

Deskové filtry se vyrábějí do třídy M5.

#### Filtry ve tvaru V

Jsou sestaveny z kapes, které drží pevná konstrukce. V kapsách se nachází filtrační pakety ze skleného rouna. Využívají se hlavně v provozu s proměnlivým a turbulentním proděním vzduchu.

#### Sorpční filtry

Používají se ve speciálních provozech, kde je potřeba odloučit nečistoty ve formě plynů a par. Vzduch bývá toxický a může zatěžovat životní prostředí, může být škodlivý a ohrožovat lidské ale i zvířecí zdraví. Jeho filtrační vložkou je aktivní uhlí, které díky sorpční schopnosti odloučí nežádoucí příměsí od filtrovaného vzduchu.

### 2.3.2 Třídění filtrů dle ČSN EN 779 a ČSN EN 1822

Rozdělení dle normalizace v ČSN 779 již není platná, ale pro názornost a porovnání uvádím.

Jsou to dvě skupiny:

- **G** – filtry pro hrubý prach (**G1, G2, G3, G4**)
- **F** – filtry pro jemný prach (**F5, F6, F7, F8, F9**)

Filtry s vysokou účinností se třídí podle ČSN EN 1822

Jsou to tyto tři skupiny:

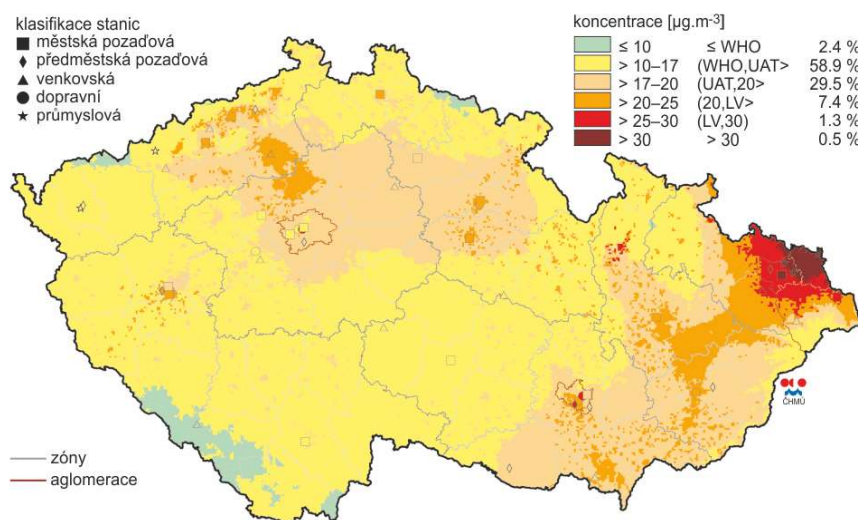
- **E** – **EPA** filtry pro mikročástice (**E10, E11, E12**)
- **H** – **HEPA** filtry pro mikročástice (**H10, H11, H12, H13, H14**)
- **U** – **ULPA** filtry pro mikročástice (**U15, U16, U17**)

### 2.3.3 Třídění podle nové normy ČSN EN 16890

V prosinci 2016 nabyla platnosti norma ČSN EN 16890, která sjednocuje různé standardy jako ČSN EN 779 nebo ASHRAE 52.2. Týká se skupin filtrů G, M a F pro filtraci hrubého a jemného prachu.

Znečištění vzduchu, a zvláště malé částice mají nepříznivé účinky na zdraví. Tyto částice jsou zařazeny do různých PM tříd.

- **PM 1** (aerodynamický průměr  $\leq 1 \mu\text{m}$ ) – Viry, částice ze spalování, nanočástice dostanou se do plicních sklípků a do krevního oběhu.
- **PM 2,5** ( $\leq 2,5 \mu\text{m}$ ) – Bakterie, houby dostanou se do spodních dýchacích cest.
- **PM 10** ( $\leq 10 \mu\text{m}$ ) – Pyl, prach dostanou se do horních dýchacích cest.



Obr. IV.1.4 Pole roční průměrné koncentrace  $\text{PM}_{2,5}$ , 2014

Obrázek 4 - Roční průměrné koncentrace  $\text{PM}_{2,5}$  [11]

Norma ČSN EN 779 nebrala ohled na obsah jemných částic ve vzduchu, ale posuzovala účinnost filtru pouze při částicích o velikosti 0,4 µm. Toto neodpovídalo skutečným požadavkům na daný filtr. Proto norma ČSN EN 16890 rozšiřuje tři oblasti podle velikosti částic. Tudiž výsledky zkoušek lépe odráží skutečný výkon filtru v provozu.

Nová klasifikace:

Tabulka 1 - Klasifikace ČSN 16890

Skupina filtru	Požadovaná minimální výkonnost filtru			Referenční hodnota pro stanovení výkonnosti filtru
	ePM1, min	ePM2,5, min	ePM10	
ISO ePM1	≥ 50 %			ePM1
ISO ePM2,5		≥ 50 %		ePM2,5
ISO ePM10			≥ 50 %	ePM10
ISO Coarse			< 50 %	Počáteční účinnost filtrace

Následující tabulka obsahuje přehled nových tříd filtrace. Dosazení tříd filtrace F7, F8 atd. slouží pouze k porovnání a hrubé orientaci.

Tabulka 2 - Tabulka roztrídění [6]

Tabulka roztrídění										
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%		ISO ePM10 75%		ISO Coarse 75%				
ISO ePM1 70%		ISO ePM2,5 70%		ISO ePM10 70%		ISO Coarse 70%				
ISO ePM1 65%	F7	ISO ePM2,5 65%		ISO ePM10 65%		ISO Coarse 65%				
ISO ePM1 60%		ISO ePM2,5 60%		M6		ISO ePM10 60%		M5	ISO Coarse 60%	
ISO ePM1 55%		ISO ePM2,5 55%				ISO ePM10 55%			ISO Coarse 55%	G3
ISO ePM1 50%		ISO ePM2,5 50%				ISO ePM10 50%			ISO Coarse 50%	
										ISO Coarse 45%
						ISO Coarse 40%	G2			
						ISO Coarse 35%				
						ISO Coarse 30%				
<b>Jemný filtr</b>		<b>Střední filtr</b>				<b>Hrubý filtr</b>				

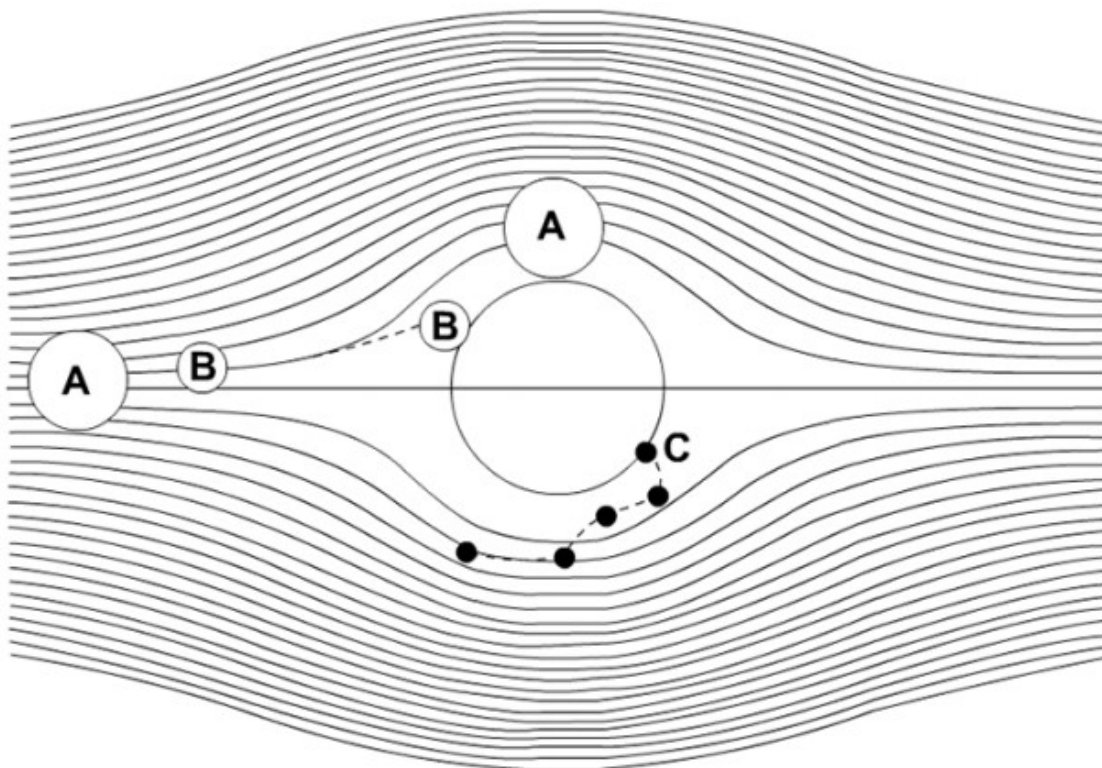
## 2.4 Principy odlučování částic

Důležitými fyzikálními ději objevujícími se v průběhu filtrace, jsou děje vyskytující se mezi zachytávanými částicemi a filtračním materiálem. Zde dochází k oddělení nežádoucích částic a charakterizujeme podle následujících procesů:

A – zachycení

B – inerciální zaklínění

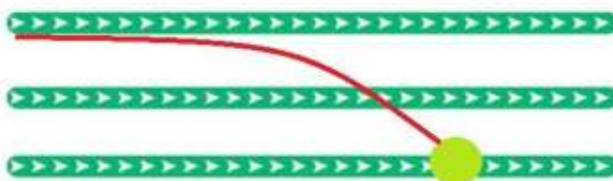
C – molekulární difuze



Obrázek 5 - Principy filtrace [13]

### Mechanismus gravitačního usazování (sedimentace)

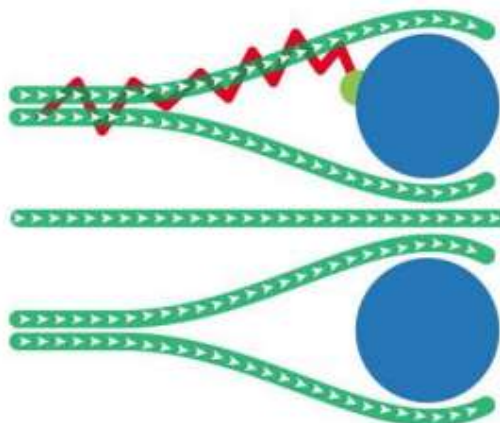
Částice se působením tíže odchýlí z proudnic nosného prostředí a dostanou se tak do styku s povrchem filtrační vrstvy. Princip se využívá u mechanických odlučovačů. Jejich nevýhodou je jejich nízká odlučivost pro jemné frakce částic.



Obrázek 6 - Mechanismus gravitačního usazování [12]

### Mechanismus molekulární difúze

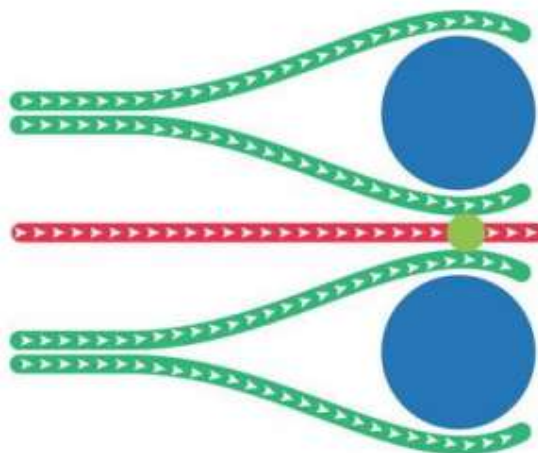
Proces, při kterém pomocí difúze částice menší než  $1\ \mu\text{m}$  v blízkosti překážky narazí do filtračního vlákna v důsledku Brownova pohybu. Brownův pohyb definuje, že molekuly v kapalině, či plynu jsou v neustálém pohybu vlivem teplotních změn. Při změně teplot dochází ke srážení molekul, velikost a síla těchto srážek jsou náhodné. Vlivem těchto pohybů dochází k rozkmitání vláken filtračního materiálu a tím i větší pravděpodobnosti zachycení částice.



Obrázek 7 - Mechanismus molekulární difúze [12]

### Mechanismus síta

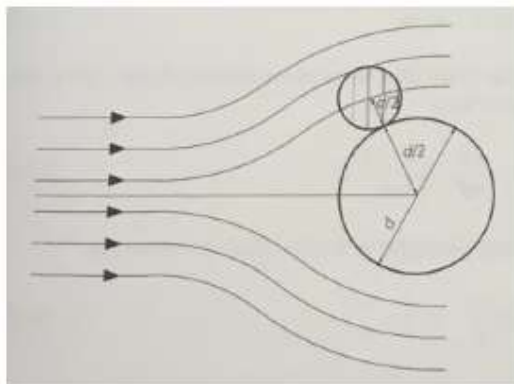
využívá, už podle názvu, síť pro zadržení částic unášených proudem vzduchu skrz filtrační materiál. Síť je obvykle tvořena vlákny, které mezi sebou vytváří otvory. Částice prachu mají větší rozměr než volný průřez mezi filtračními vlákny. Částice jsou tak bezpečně zachycovány na filtračním materiálu.



Obrázek 8 - Mechanismus síta [12]

### Mechanismus zachycení (intecepce)

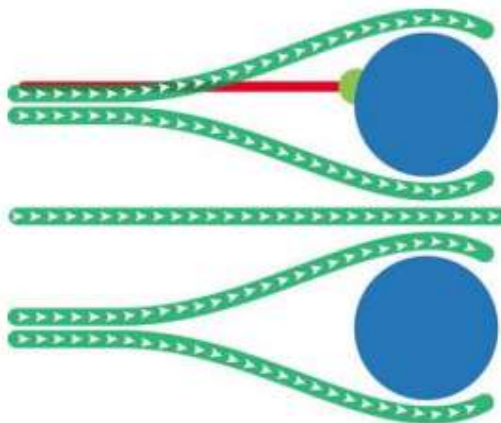
Je to jev, který lze vysvětlit jako zachytávání lehkých částic proudících ve vzdálenosti rovnou polovině jejich rozměru (průměru). Účinnost mechanismu zachycení roste se zvětšením rozměrů zachycujících částic.



Obrázek 9 - Mechanismus zachycení (intecepce) [6]

### Mechanismus setrvačného nárazu (impakce)

Částice prachu opouštějí dráhu proudu vzduchu, kde se srazí s filtračním vláknem.



Obrázek 10 - Mechanismus setrvačného nárazu (impakce) [12]

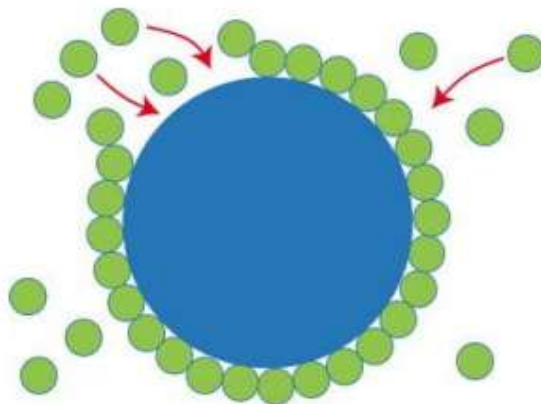
### Mechanismus elektrostatického působení

Principem je, že filtrační materiál nabitý elektrostatickými silami, které jsou vyvolány přirozenými vlastnostmi materiálu nebo umělým vyvoláním elektrické energie, zachytává částice pohybující se v těsné blízkosti filtračního materiálu.



### Mechanismus chemické sorpce

Sorpční působení neboli pohlcování jedné látky druhou je způsobené disperzí sil. Vlákna vytvářejí kapiláry o různých směrech, na které narážejí částice nečistot. Pomocí Brownova pohybu se částice zachycují na sorpční látce.



Obrázek 11 - Mechanismus chemické sorpce [12]

## 2.5 Účinnost filtrace

Uživatelé a producenti filtrů vzduchu nejvíce zajímá výsledný účinek odlučovacích schopností filtru na odloučení nečistot ze vzduchu. Ta záleží na frakční odlučivosti vláknitého média, ale také na charakteru znečištění atmosférického vzduchu.

### 2.5.1 Výpočet účinnosti odlučivosti dle ČSN EN 16890

Účinnosti odlučování aerosolových částic ePM<sub>1</sub>, ePM<sub>2,5</sub> a ePM<sub>10</sub> se vypočítají z hodnot frakčních účinností a standardizovaného rozdělení velikosti částic okolního vzduchu pomocí vztahů:

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

(rozdělení v městské oblasti)

$$ePM_{2,5} = \sum_{i=1}^n E_{A,i} \cdot q_{3u}(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i / \sum_{i=1}^n q_{3u}(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i$$

(rozdělení v městské oblasti)

$$ePM_{10} = \sum_{i=1}^n E_{A,i} \cdot q_{3r}(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i / \sum_{i=1}^n q_{3r}(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i$$

$$\bar{d}_i = \sqrt{d_i \cdot d_{i+1}}$$

Kde:

$E_{A,i}$  – Střední frakční účinnost velikostního intervalu částic  $i$

$q_{3u}(\bar{d}_i)$  – Diskrétní rozdělení částic dle objemu

$\Delta \ln d_i$  – Logaritická šířka velikostního intervalu průměru částic  $i$

$d_i$  – Dolní mez průměru částice ve velikosti intervalu  $i$

$d_{i+1}$  – Horní mez průměru částice ve velikosti intervalu  $i$

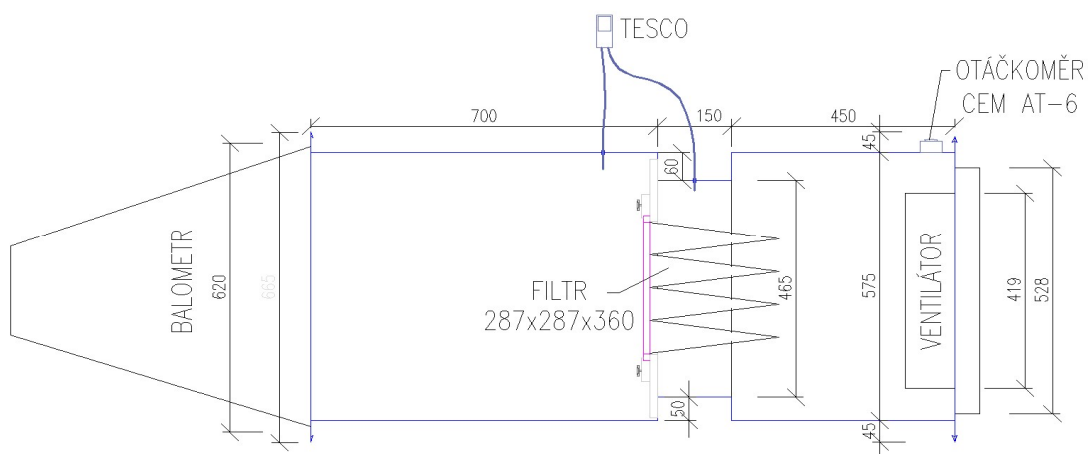
## 2.6 Zkušební trať

### 2.6.1 Zkušební podmínky

- Zdroj zkušebního vzduchu
- Výstupní vzduch může vést do atmosféry, vnitřního prostředí nebo může být cirkulován
- Relativní vlhkost musí být menší než 75 %

### 2.6.2 Složení zkušební trati

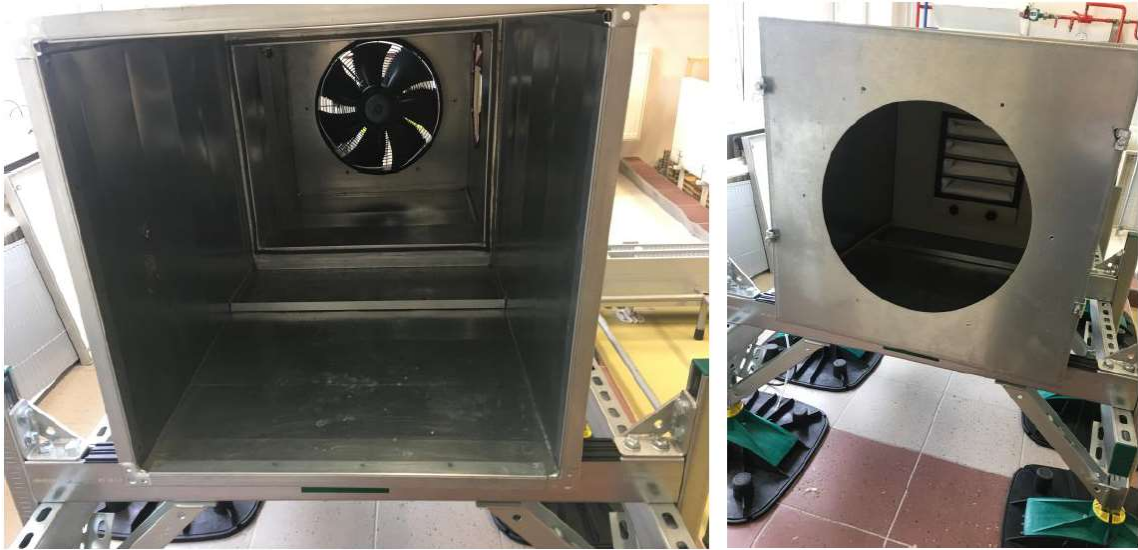
Zkušební trať se skládá z několika sekcí VZT potrubí čtvercového průřezu. Vnitřní rozměry potrubí 610 mm x 610 mm a sekce, kde je umístěn filtr, by měla mít rozměry v rozmezí 616 mm a 622 mm. Materiál potrubí musí být elektricky vodivý, dostatečně tuhý, elektricky uzemněný a mít hladký vnitřní povrch. Tlaková ztráta zkoušeného filtru se měří snímáním statických tlaků před a za filtrem.



Obrázek 12 - 2.6.2 Složení zkušební trati



Obrázek 13 - Zkušební trati v laboratoři [6]



Obrázek 14 - Vstup zkušební trati [6]

### 2.6.3 Zkušební aerosol

Zkušební aerosol DEHS (DiEthylHexylSebacate), vytvářený Laskinovou tryskou, je široce používaný při zkoušení filtrů.

Kromě Laskinova generátoru může být použit jakýkoliv generátor aerosolu, schopný produkovat kapičky v dostatečné koncentraci v rozsahu velikostí částic na 0,2  $\mu\text{m}$  do 3,0  $\mu\text{m}$ . Používá se nezředěný a neupravený DEHS.

VZOREC DEHS:	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{CHOOC}(\text{CH}_2)_8\text{COOH}_2\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$
Molární hmotnost:	426,69 g/mol
Hustota	912 kg/m <sup>3</sup>
Bod tání	225 K
Bod varu	505 K až 522 K
Bod vzplanutí	> 473 K
Tlak par	< 1 Pa při 293 K
CAS číslo	122-62-3

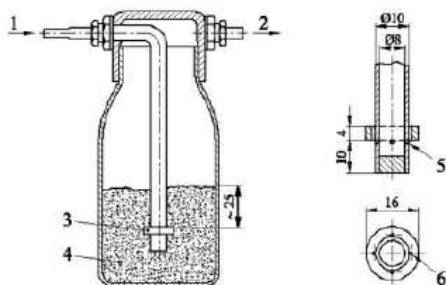


Obrázek 15 - Zkušební aerosol DEHS [6]

## 2.6.4 Tvorba aerosolu

Testovací aerosol se skládá z neošetřeného a nenaředěného DEHS nebo jiných kapalných aerosolů v souladu s normou ČSN EN 16890. Na obrázku je příklad systému pro tvorbu aerosolu. Je složena z malé nádoby s kapalinou DEHS a Laskinovy trysky. Aerosol se vytváří přiváděním stlačeného vzduchu zbaveného částic. Rozptýlené kapičky se přímo aplikují do zkušební trati.

Rozměry v milimetrech



### Legenda

- 1 Vzduch zbavený částic (tlak přibližně 17 kPa) (2,5 lb/in<sup>2</sup>)
- 2 Přívod aerosolu do zkušebního zařízení
- 3 Laskinova tryska
- 4 Kapalný zkušební aerosol
- 5 Čtyři otvory Ø 1,0 mm v rozestupu 90 ° a horní hranou otvoru právě přiléhající ke spodní hraně kroužku
- 6 Čtyři otvory Ø 2,0 mm v kroužku přiléhající k trubce a v rovině s otvory Ø 1,0 mm (legenda 5)

Obrázek 16 - Systém pro tvorbu aerosolu

## 2.6.5 Počítač částic aerosolu

Pro počítání částic se používá optický počítač částic, který je založen na optickém stanovení velikosti částice a jejich počtu. Tyto přístroje musí pracovat v rozsahu od 0,3 µm do 3 µm u minimálního souboru zkoušených dat nebo v rozsahu 0,3 µm do 10 µm u úplného souboru zkoušených dat. Účinnost počítání pro částice velikosti 0,3 µm musí být ≥50 %. Z důvodu chyb aerodynamických, optických a elektronických systémů různých typů OPC, musí být měření před i za zkoušeným filtrem provedeno stejným přístrojem.



Obrázek 17 - Měřič počtu částic [6]

## 2.7 Filtry a jejich konstrukce

V této části představím kartušové a kapsové filtry použité při měření.

### 2.7.1 Kartušové HEPA filtry

Kartušové filtry se vyrábějí skládáním filtrační vložky do kartuše. Vyrábí se v různých třídách filtrace. Kartuše je složena z pozinkované mřížky a plastových úchytu pro filtrační medium. Pro filtraci je možno použít více kartuší.



Obrázek 18 - Kartušový HEPA filtr



Obrázek 19 - Upevnění kartušového filtru

### 2.7.2 Kapsové filtry

Kapsové filtry se vyrábí ve třídách filtrace G3 až F9 s různým filtračním médiem. Rámeček filtru může být dle požadavku plastový nebo z pozinkovaného plechu. Jednotlivé kapsy jsou svařované ultrazvukem.





Obrázek 20 - Kapsové nanofiltry [6]

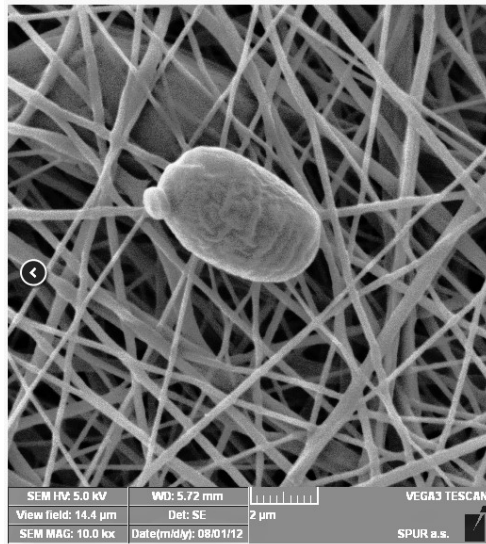
### 2.7.3 Filtrační média filtrů

#### Filtrační vložka ze syntetického vlákna

Skládá se z neuspořádaně poskládaných netkaných zkroucených syntetických vláken rozdílné tloušťky, která jsou zpevněna umělým pojivem nebo termicky do pevného a stabilního filtračního rouna. Používají se jako předfiltr nebo 1. stupeň filtrace. Třída filtrace, pro tento druh materiálu, je i závislá na tloušťce vrstvy materiálu a řadí se do třídy hrubých až jemných filtrů.

#### SPURTEX MF

mikrofiltrační materiál tvořený kompositem nanovláknenných a submikronových vláken pro rychlé jednorázové filtrace. Materiál je vyztužen zpevňující mřížkou pro vyšší mechanickou odolnost. Střední velikost póru se pohybuje od 0,25 do 0,8  $\mu\text{m}$ .



Obrázek 21 - mikroskopický snímek povrchu nanovlákněného filtru po filtraci vzduchu na farmě [9]



Obrázek 22 - SPURTEX MF mikrofiltrační materiál [6]

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

HEPA NANO FILTRY

#### PROTOKOL Z MĚŘENÍ

**NÁZEV:** TLAKOVÁ ZTRÁTA FILTRŮ

**DATUM MĚŘENÍ:** 22. 10. 2018

**MÍSTO MĚŘENÍ:** E520 - TZB laboratoř

**ZPRACOVALA:** Bc. Tomáš Valcha

**KONTROLOVAL:** Ing. Petr Blasinski, Ph.D.

### **3.1 CÍL MĚŘENÍ**

Cílem měření bylo:

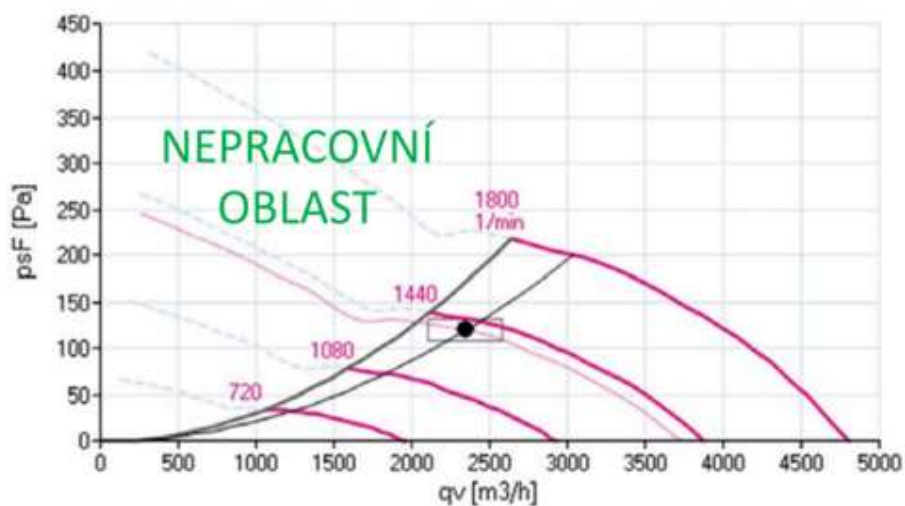
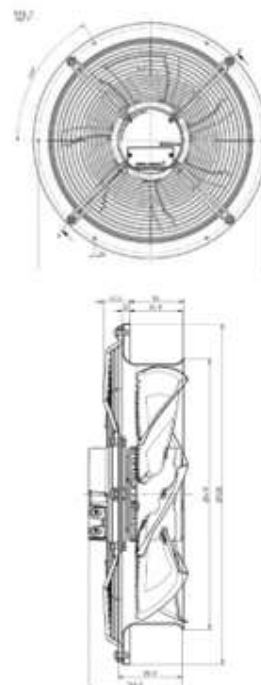
- A) Sestavit a připravit měřicí dráhu pro měření daných filtrů.
- B) Dle příslušných pomůcek a přístrojů změřit průtok a tlakovou ztrátu všech filtrů při různých otáčkách, respektive průtocích vzduchu.
- C) Vyhodnocení naměřených dat a následné porovnání z měření filtrů F9 – tabulka, grafy, zatřídění podle nové normy

## 3.2 PŘÍSTROJE A VZORKY

### Stejnosměrný EC ventilátor ZIEHL-ABEGG FN040-6IH.BD.V7P1

#### Data of operating point

type	FN040-6IH.BD.V7P1
article no.	162132
size [mm]	400
airflow volume (qV)	2350
pressure, stat. (psF)	120
pressure, tot. (pF)	136
SFP-value (PSFP)	304
fan speed (n)	1384
acoustics, suction side (LW(A).5)	68
acoustics, pressure side (LW(A).6)	69
frequency (fBP)	50
voltage (UDP)	230
current (IDP)	0.86
mains supply	1~ 230V 50Hz
	3042
	201
guard grille	no



Obrázek 23 - Stejnoseměrný EC ventilátor

### Digitální otáčkoměr CEM AT-6 s přesností $\pm 0,05\%$



Měřicí rozsah	5 - 3680 W
Přístroj lze napojit pouze do sítě o	230 V AC 50/60 Hz
Dop. provozní teplota	0,1 m <sup>3</sup> /m (2,8 l/min)
Max. zatěžovací proud	16 A
Rozsah spotřeby el. energie	0 kWh - 999 kWh
Max. zaznamenaný čas	999,9 hodin
použ. Do normálního suchého prostředí s rozsahem vlhkosti	20 % - 90 %

Obrázek 24 - Digitální otáčkoměr CEM AT-6

### Snímač interního tlakového senzoru Testo 435-4



Technická data	
Provozní teplota	-20 ... +50 °C
Skladovací teplota	-30 ... +70 °C
Typ baterie	alkalické, mikrotužkové, typ AA
Výdrž baterie	200 h (typické měření pomocí vrtulky)
Rozměry	220 x 74 x 46 mm
Materiál pláště	ABS/TPE/kov
Typ sondy/senzoru	Typ T (Cu-CuNi), Sonda absolutního tlaku, NTC, Vlhkostní senzor, CO <sub>2</sub> , Osvětlení (LUX), Typ K, Žhavený drátek, Lopatkový, Sonda diferenčního tlaku
Absolutní tlak	
Měřicí rozsah	0 ... +2000 hPa
Rozlišení	0.1 hPa

Obrázek 25 - Snímač interního tlakového senzoru Testo 435-4

### Balometr Prohood PH 721 s přesností ±3%



Měř. Rozsahy	-3735...0...+3735 Pa (statický a diferenční tlak)
	356...1016 mm Hg (absolutní tlak)
	42...4250 m <sup>3</sup> /hod (ProHood)
Přesnost	Tlak: ±2% z měřené hodnoty ±(0,25 Pa)
	Tlak (absolutní): ±2% z měřené hodnoty
	Průtok: ±3% z měřené hodnoty ±(12 m <sup>3</sup> platí pro hodnoty vyšší než 85 m <sup>3</sup> /h)
Rozlišení	Rychlost: 0,01 m/s
	Tlak: 0,001 Pa
	Tlak (absolutní): 1 mm Hg Průtok: 1 m <sup>3</sup> /h

Obrázek 26 - Balometr Prohood PH 721

### Měřič počtu částic FLUKE 985



Technická data	
Kanály	0,3 μm, 0,5 μm, 1,0 μm, 2,0 μm, 5,0 μm, 10,0 μm
Rychlost	0,1 m <sup>3</sup> /m (2,8 l/min)
Zdroj světla	775 nm až 795 nm, 90mW laser třídy 3B
Režim čítání	Hrubá čítání, #/m3, #/ft3, #/litr v kumulativním nebo diferenčním režimu
Účinnost čítání	50 % při 0,3 μm; 100 % pro částice >0,45 μm (dle ISO 21501)
Vstup vzorků	Isokinetická sonda
Rozměry(DxŠxV)	27,2 x 9,9 x 5,3 cm
Kalibrace	částice PSL ve vzduchu (navázaný certifikát NIST)
Provozní prostředí	10 °C až 40 °C) / <95 % relativní vlhkost bez kondenzace
Prostředí pro skladování	-10 °C až 50 °C / až 98 % relativní vlhkost bez kondenzace

Obrázek 27 - Měřič počtu částic FLUKE 985

Tabulka s označením jednotlivých vzorků:

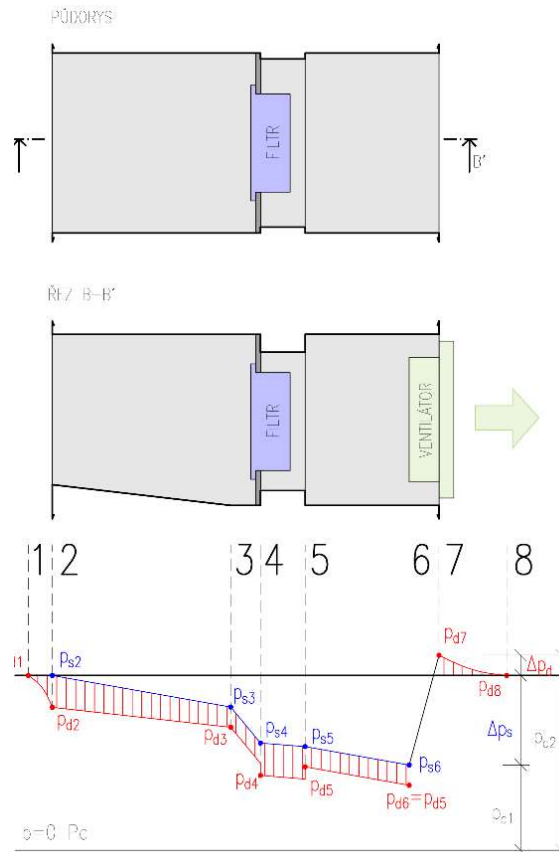
Tabulka 3 - Tabulka vzorků

Označení filtru	popis filtru	zjednodušené označení vzorků
Kartušový HEPA filtr (3ks)	Materiál SpurTex	HEPA filtr

### 3.3 POSTUP MĚŘENÍ

Měření probíhalo na experimentální trati ze čtyřhranného pozinkovaného plechu.

Schéma trati viz obrázek níže:



Obrázek 28 - Chéma trati

#### 1) Měření tlakové ztráty filtrů:

Do nástavce na filtr byl osazen filtrační rámeček a upevněn pomocí utahovacích šroubů, které jsou součástí desky. Součástí tratě je axiální ventilátor, který je osazen na konci tratě a digitální otáčkoměr CEM AT-6. Pro měření tlakové ztráty filtru byl použit snímač Tesco 435-4, který byl napojen pomocí hadiček na měřicí trať před a za filtr. Pro měření průtoku vzduchu v potrubí sloužil balometr Prohood PH 721.

Byly provedeny tři měření s ovládacím napětím ventilátoru 3,5; 6 a 9,8 V. Měření pro toto nastavení bylo realizováno vždy s filtrem a bez filtru. Pro každé toto napětí byl odečten objemový průtok vzduchu  $V$  [ $m^3/h$ ] a tlaková ztráta filtru  $\Delta p$  [Pa], (mezi body  $p_{s4}$  a  $p_{s5}$ ).

#### 2) Měření odlučivosti filtrů:

Do nádoby rozstřikovače se nalil zkušební aerosol DEHS (DiEthylHexylSebacate).

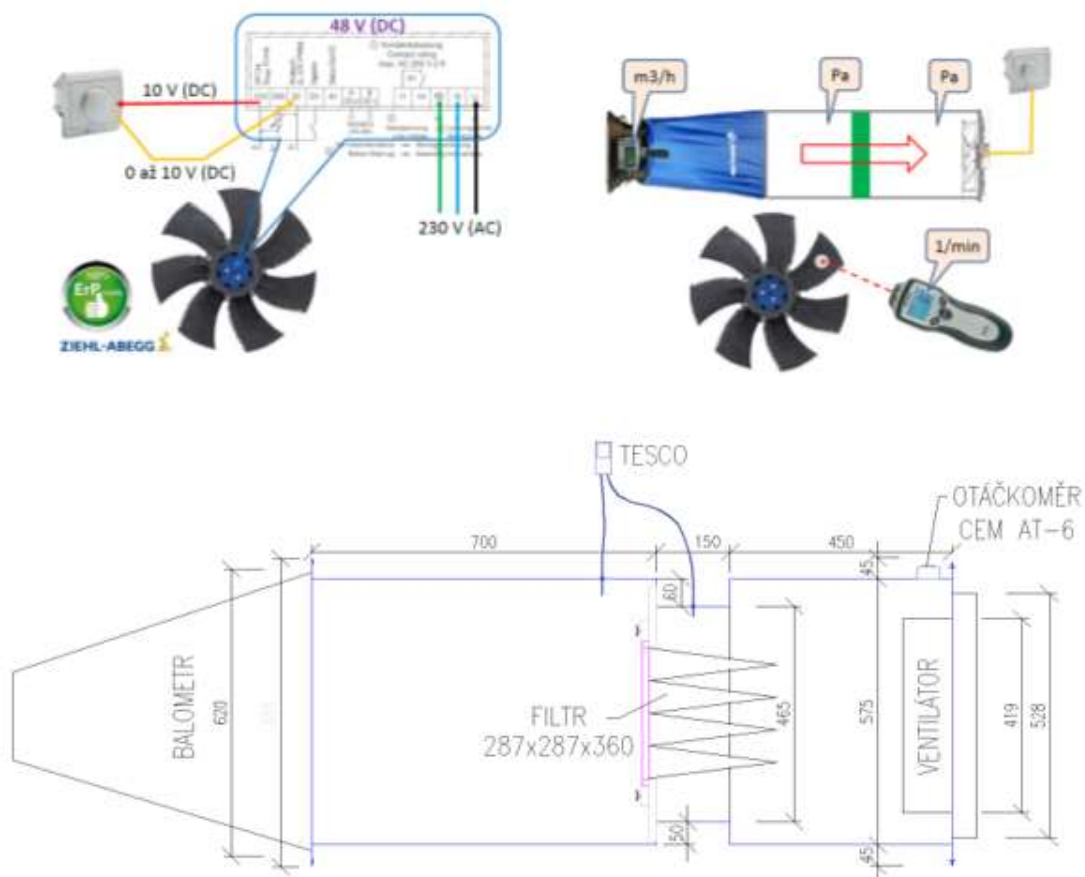
Měření bylo provedeno pro provozní stav, s nastavením řídicího napětí 6 V. Pro toto napětí se odečetla tlaková ztráta filtru  $\Delta p$  [Pa] mezi body  $p_{s4}$  a  $p_{s5}$  před a po nanesení aerosolu na filtr. Na filtr se vstříkával zkušební aerosol o zvoleném počtu vstříků (20) za určitý čas (2 min). Za axiálním



ventilátorem se pomocí měřiče počtu částic měřily částice (0,3  $\mu\text{m}$ ; 0,5  $\mu\text{m}$ ; 1,0  $\mu\text{m}$ ; 2,0  $\mu\text{m}$ ; 5,0  $\mu\text{m}$ ; 10,0  $\mu\text{m}$ ), které prošly přes filtrační vložku. Z naměřených hodnot se vypočítala účinnost zkoušeného filtru. Následně se naměřené hodnoty porovnávaly s předchozím měřením.

### 3.4 SCHÉMA OKRUHU A MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ

- Zapojení měřícího okruhu:



Obrázek 29 - Zapojení měřícího okruhu

### 3.5 Fotodokumentace:



Obrázek 30 - Měření průtoku vzduchu Balometrem



Obrázek 31 - Upevnění filtru do měřicí trati



Obrázek 32 - HEPA filtr s nástavcem

### 3.6 NAMĚŘENÉ HODNOTY

#### Měření SpurTex filtrů – nanofiltr HEPA

Tabulka 4 - Naměřené hodnoty

název filtru	č. měření	ovl. napětí	průtok	průtok 0	tl ztráta 0	tl ztráta 1	tl ztráta 2	tl ztráta 3
Kartušový HEPA filtr - materiál SpurTex	1	3,5	157	943	22	38	37	35
	2	6	246	1744	57	124	117	129
	3	9,8	453	3100	16	355	369	364

název filtru	č. měření	ovl. napětí	průtok	průtok 0	tl ztráta 0	tl ztráta 1	tl ztráta 2	tl ztráta 3
Kartušový HEPA filtr 1 - materiál SpurTex	1	3,5	118	943	22	33	34	32
	2	6	242	1744	57	104	103	105
	3	9,8	420	3100	16	319	315	323

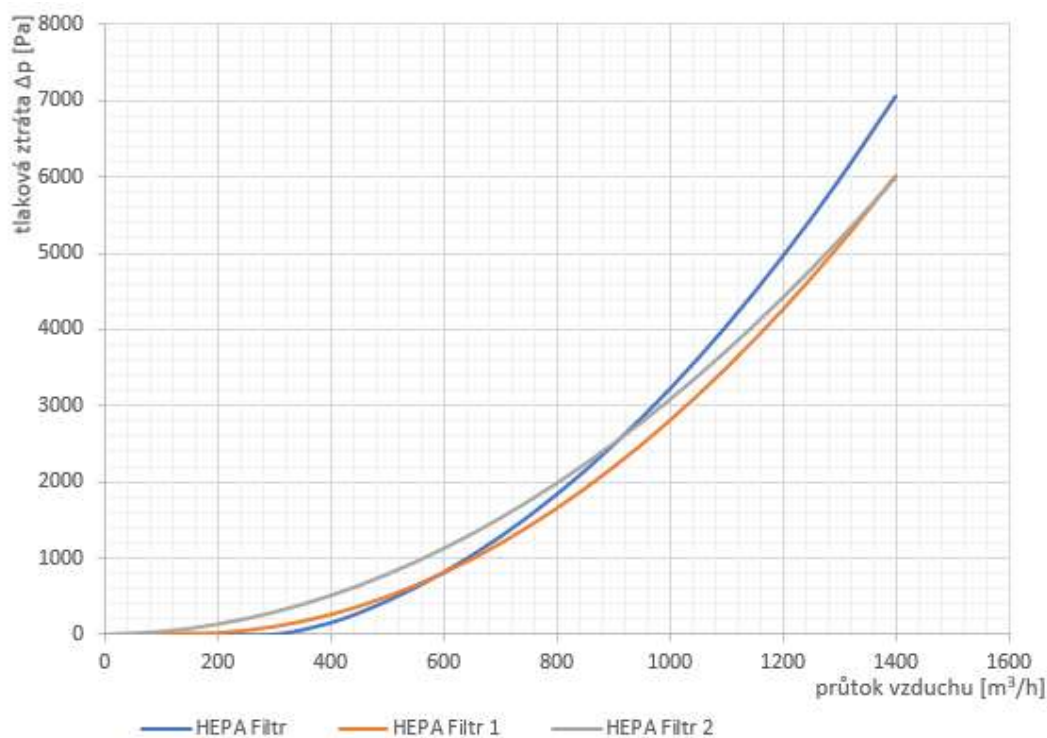
název filtru	č. měření	ovl. napětí	průtok	průtok 0	tl ztráta 0	tl ztráta 1	tl ztráta 2	tl ztráta 3
Kartušový HEPA filtr 2 - materiál SpurTex	1	3,5	110	943	22	32	29	35
	2	6	246	1744	57	110	102	118
	3	9,8	420	3100	16	325	332	318

### 3.7 GRAFY

Naměřené tlakové ztráty filtru všech měřených filtrů:

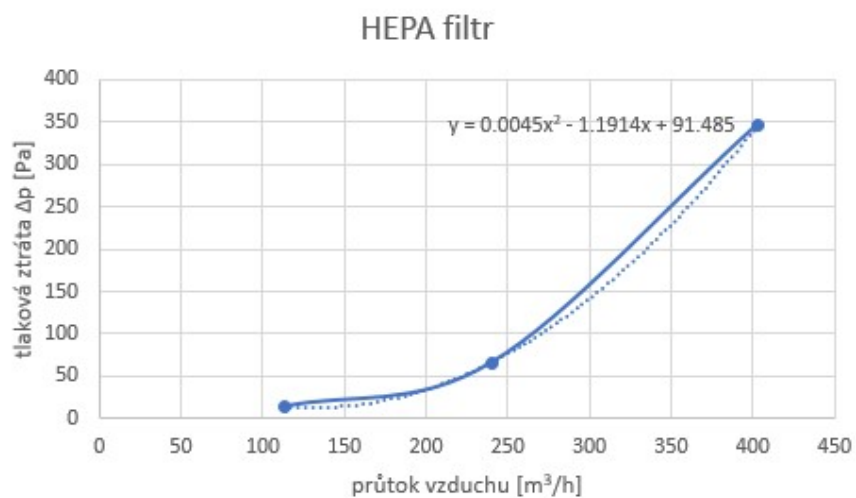
Pozn.: Pro průtoky nad maximální hodnoty uvedené v tabulkách výše byla použita polynomičká regrese 2. stupně.

### 3.7.1 Naměřené tlakové ztráty všech HEPA filtrů:



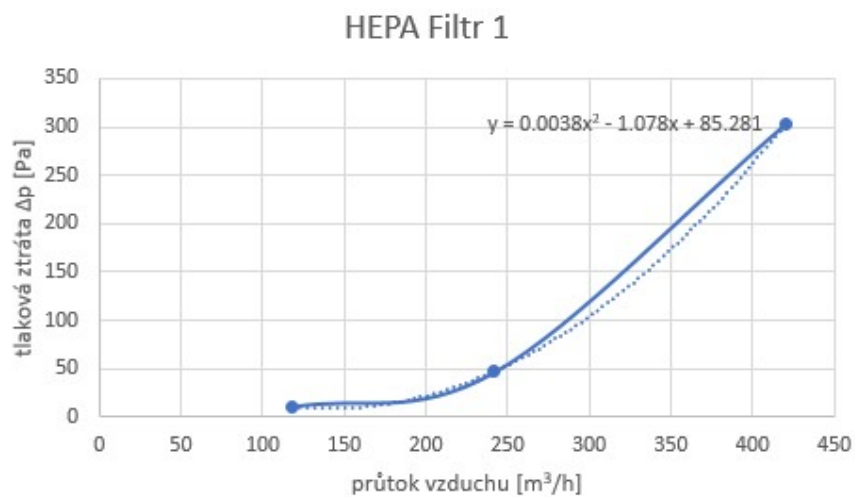
Obrázek 33 - Naměřené hodnoty tlakové ztráty všech zkoušených filtrů

### Naměřené tlakové ztráty všech HEPA filtrů:



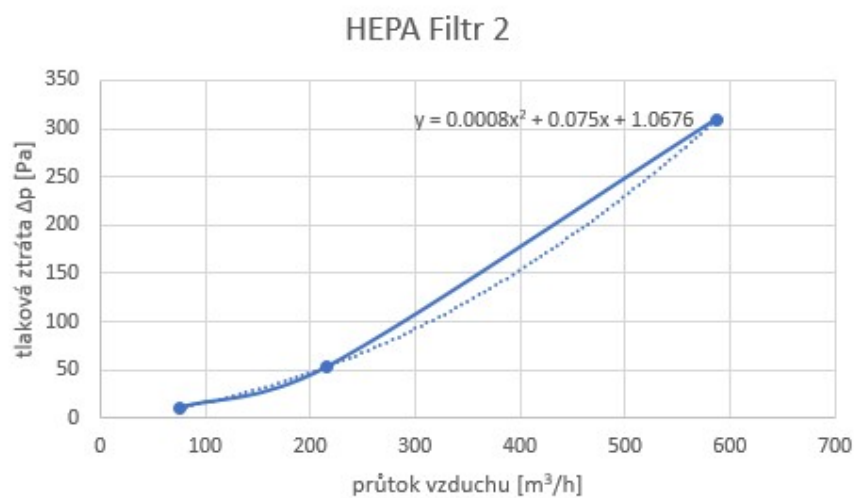
Obrázek 34 - Tlaková ztráta HEPA filtru 1

**Naměřené tlakové ztráty všech HEPA filtru 1:**



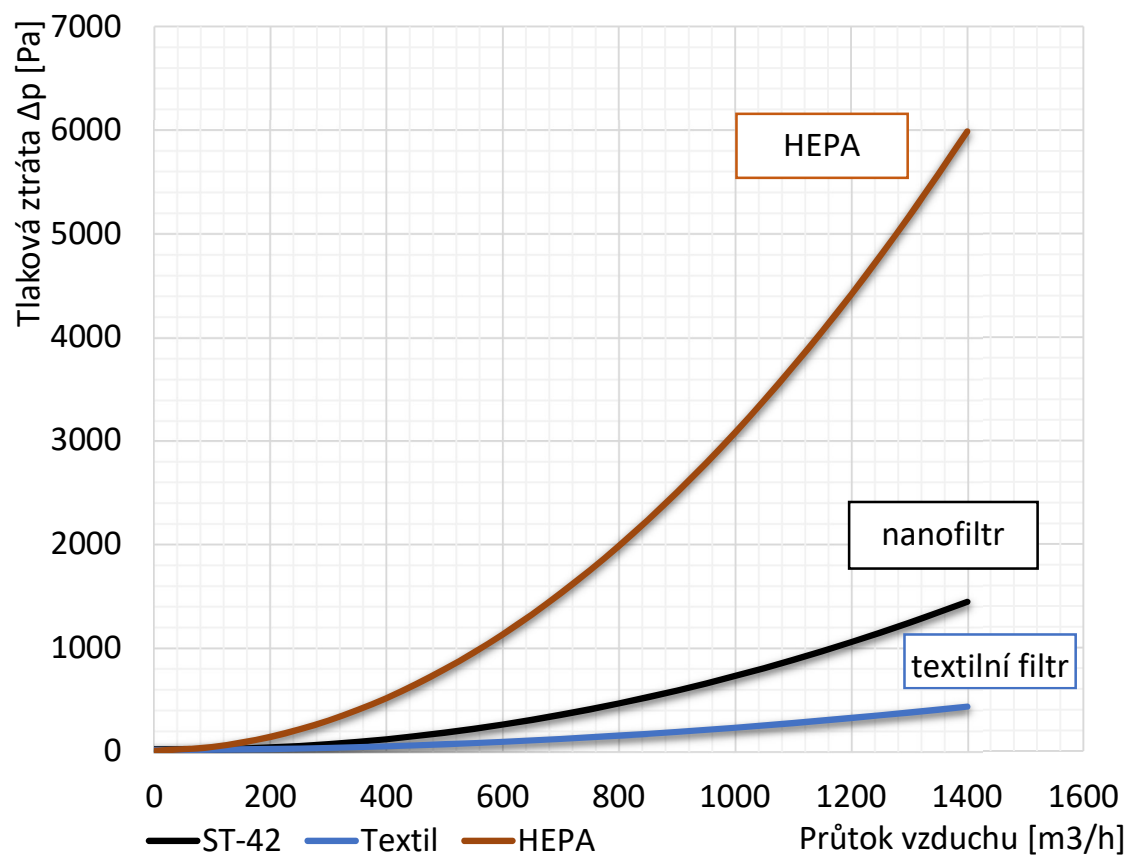
Obrázek 35 - Tlaková ztráta HEPA filtru 2

**Naměřené tlakové ztráty všech HEPA filtru 2:**



Obrázek 36 - Tlaková ztráta HEPA filtru 3

### Porovnání HEPA filtru Nano filtru a běžného filtru jemné filtrace F9

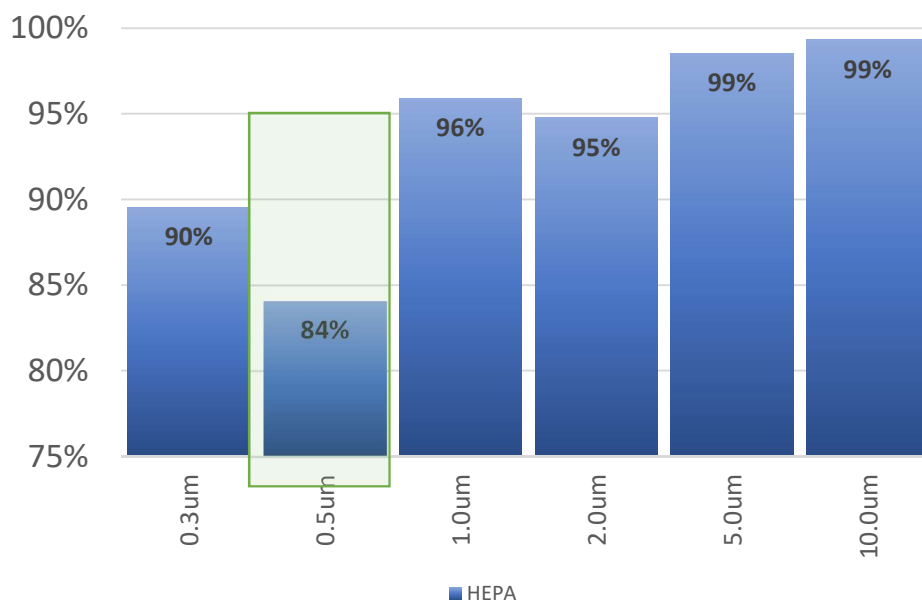


Obrázek 37 - Porovnání HEPA filtru Nano filtru a běžného filtru jemné filtrace F9

### 3.7.2 Odlučivost HEPA filtru

Porovnání účinností odlučivostí filtrů s naměřenou hodnotou částic podle staré normy ČSN EN 779 pro třídy jemné filtrace. Požadavek 95% účinnosti pro velikost částic 0,5 μm.

**Filtr HEPA:**



Obrázek 38 - Odlučivost HEPA filtru

Porovnání účinností odlučivosti filtrů s naměřenou hodnotou částic podle nové normy ČSN EN 16890 pro třídy jemné filtrace.

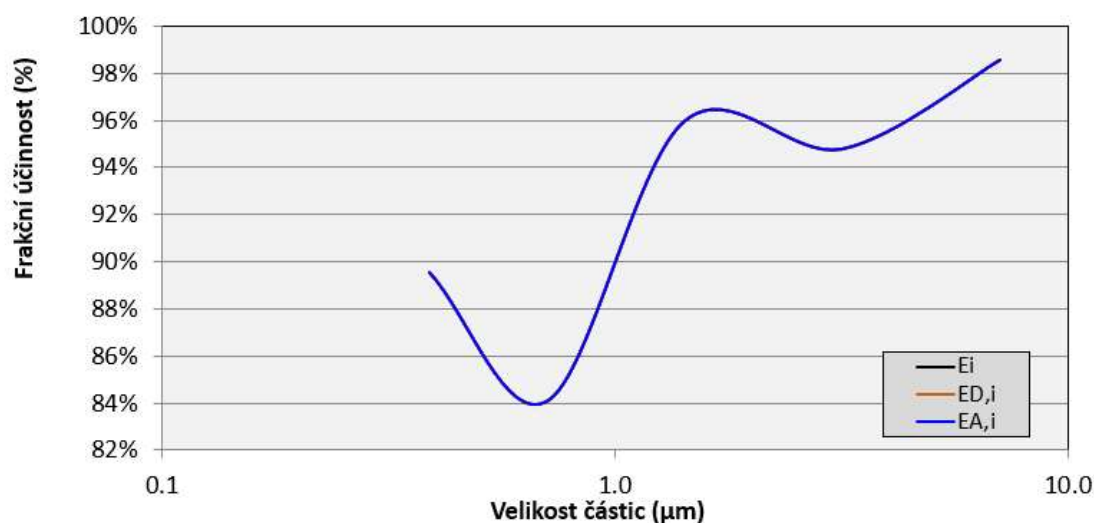
- Požadavek pro filtry jemné filtrace je ISO ePM1 min  $\geq 50\%$



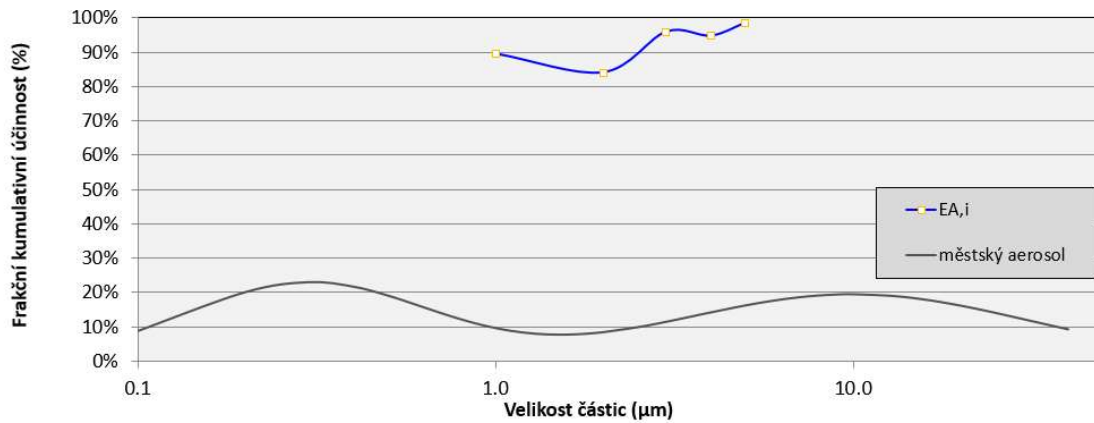
**Filtr HEPA:**

Tabulka 5 - Frakční odlučivost HEPA filtru

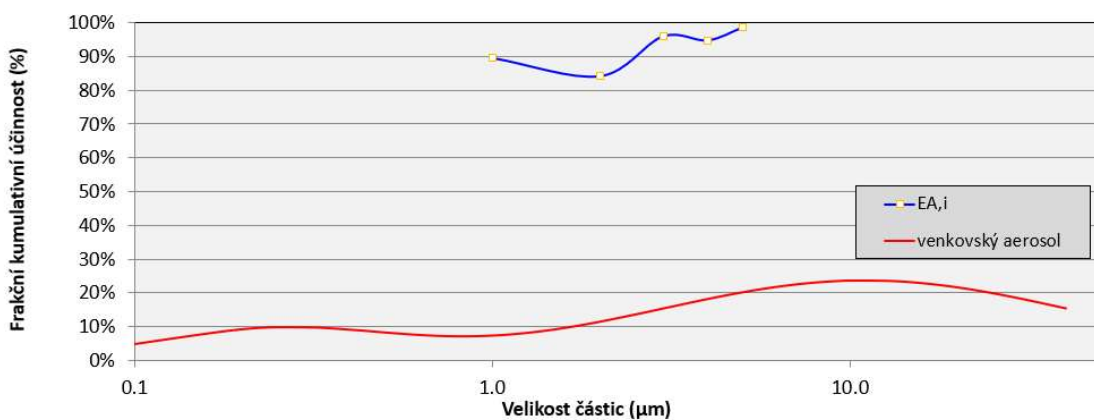
Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+2}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda,i}$	$q_{3\sigma}$	$q_{3\sigma} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{10,i} \cdot q_{3\sigma} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda,i} \cdot q_{3\sigma} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	89.5%	21.917%	0.111960	0.100239	0.100239	<b>87%</b>	<b>87%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	84.1%	13.856%	0.096044	0.080753	0.080753		
Sums:						0.208004	0.180992	0.180992		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+2}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda,i}$	$q_{3\sigma}$	$q_{3\sigma} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{10,i} \cdot q_{3\sigma} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda,i} \cdot q_{3\sigma} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	89.5%	21.917%	0.111960	0.100239	0.100239	<b>91%</b>	<b>91%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	84.1%	13.856%	0.096044	0.080753	0.080753		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	95.9%	7.644%	0.052985	0.050820	0.050820		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	94.8%	11.819%	0.108295	0.102616	0.102616		
Sums:						0.369284	0.334428	0.334428		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+2}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda,i}$	$q_{3\sigma}$	$q_{3\sigma} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{10,i} \cdot q_{3\sigma} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda,i} \cdot q_{3\sigma} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_{10})$	$E(PM_{10})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	89.5%	9.088%	0.046422		0.041562	<b>95%</b>	<b>95%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	84.1%	7.143%	0.049511		0.041628		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	95.9%	8.710%	0.060372		0.057905		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	94.8%	15.801%	0.144785		0.137193		
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	98.5%	22.430%	0.155472		0.153195		
Sums:						0.456563		0.431484		



Obrázek 39 - Graf frakční odlučivosti HEPA filtru



Obrázek 40 - Odlučivost HEPA filtru v městském rozložení aerosolu



Obrázek 41 - Odlučivost HEPA filtru v venkovském rozložení aerosolu

### Zatřídění HEPA filtru:

HEPA filtr vyhovuje pouze třídě ISO ePM1 85 %.

Pozn.:

Hodnota naměřené odlučivosti nemusí souhlasit s měřením v profesionální čisté laboratoři. Měřící trat' nebyla v průběhu měření zcela těsná. Na výstupu jsem měřil pouze v jednom místě a toto mělo taky vliv na výsledky. Dále jsem porovnal výsledky z předešlého měření kapsových nano filtrů a ty zařadil podle nové normy.

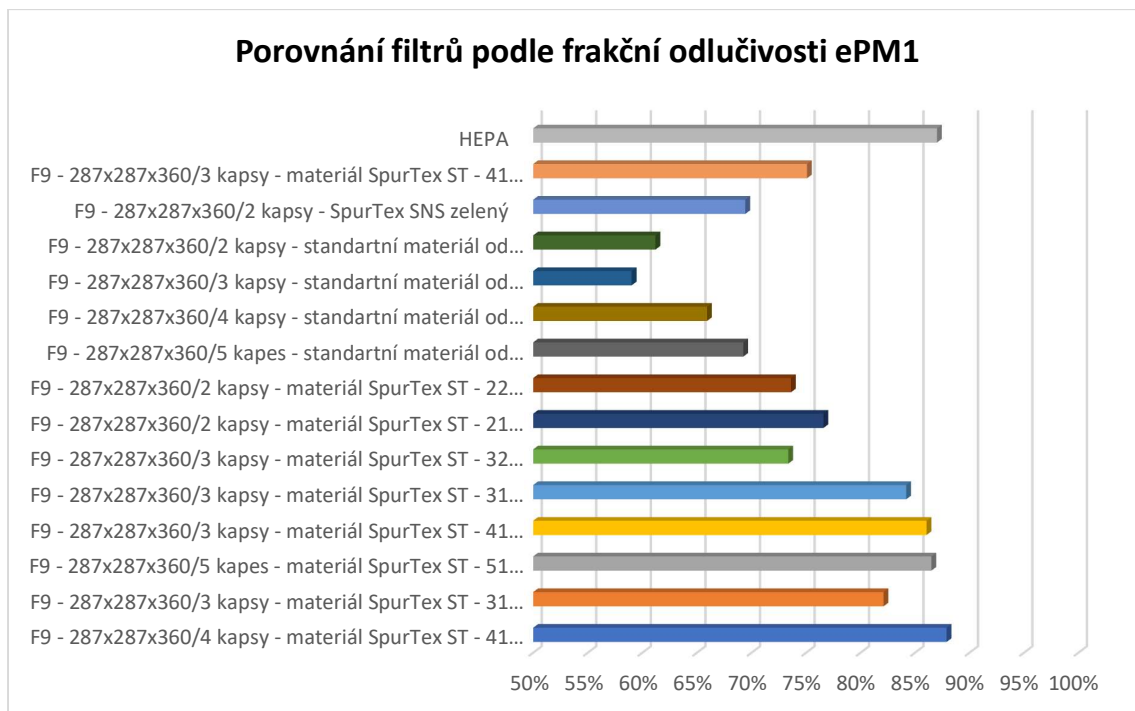
### 3.7.3 Zatřídění kapsových nano filtrů:

Tabulka 6 - Zatřídění kapsových filtrů

Název filtru	ePM <sub>1</sub>	ePM <sub>2,5</sub>	ePM <sub>10</sub>	Zatřídění ČSN EN 16890	Zatřídění ČSN EN 779
F9 - 287x287x360/4 kapsy - materiál SpurTex ST - 41	88%	93%	97%	ISO ePM1 85%	F9
F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 31	82%	89%	95%	ISO ePM1 80%	F9
F9 - 287x287x360/5 kapes - materiál SpurTex ST - 51	87%	91%	96%	ISO ePM1 85%	F9
F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 41	86%	91%	96%	ISO ePM1 85%	F9
F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 31	84%	90%	96%	ISO ePM1 80%	F9
F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 32	73%	84%	94%	ISO ePM1 70%	F8
F9 - 287x287x360/2 kapsy - materiál SpurTex ST - 21	77%	85%	93%	ISO ePM1 75%	F8
F9 - 287x287x360/2 kapsy - materiál SpurTex ST - 22	74%	84%	94%	ISO ePM1 70%	F8
F9 - 287x287x360/5 kapes - standardní materiál od Ekofiltru	69%	80%	91%	ISO ePM1 65%	F7
F9 - 287x287x360/4 kapsy - standardní materiál od Ekofiltru	66%	78%	90%	ISO ePM1 65%	F7
F9 - 287x287x360/3 kapsy - standardní materiál od Ekofiltru	59%	74%	88%	ISO ePM1 55%	F7
F9 - 287x287x360/2 kapsy - standardní materiál od Ekofiltru	61%	75%	89%	ISO ePM1 60%	F7
F9 - 287x287x360/2 kapsy - SpurTex SNS zelený	69%	82%	93%	ISO ePM1 65%	F7
F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 41	75%	84%	93%	ISO ePM1 75%	F8
HEPA	87%	91%	95%	ISO ePM1 85%	F9

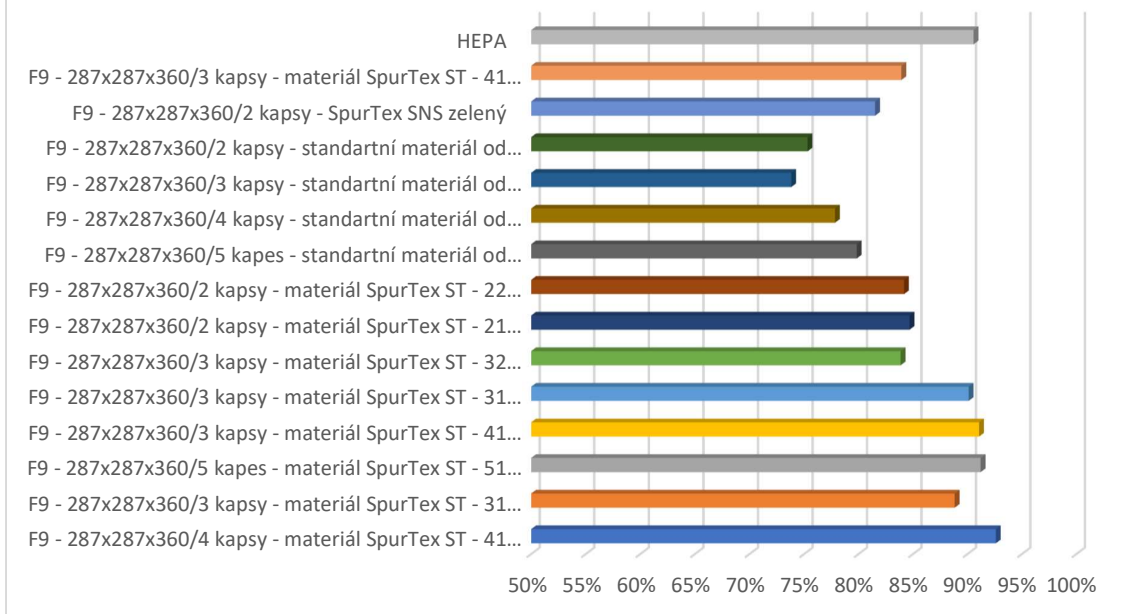
### 3.7.4 Porovnání všech filtrů:

V následujících grafech jsem porovnal všechny posuzované filtry podle frakční odlučivosti i podle staré normy pro jemnou filtraci pro velikost částic 0,5 µm.



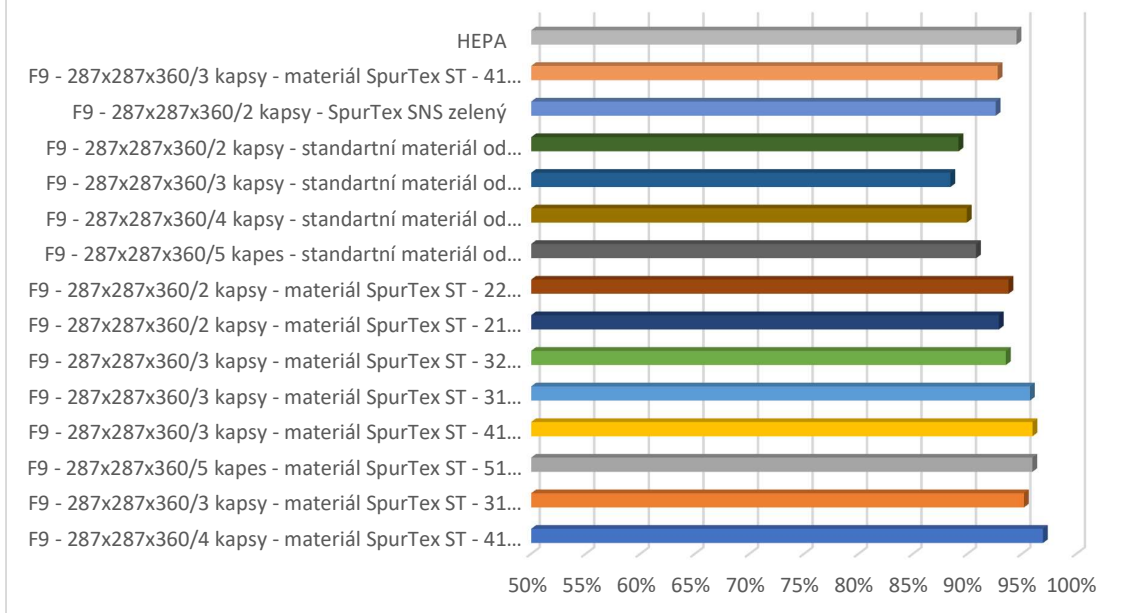
Obrázek 42 - Porovnání podle frakční odlučivosti ePM1

### Porovnání filtrů podle frakční odlučivosti ePM<sub>2,5</sub>



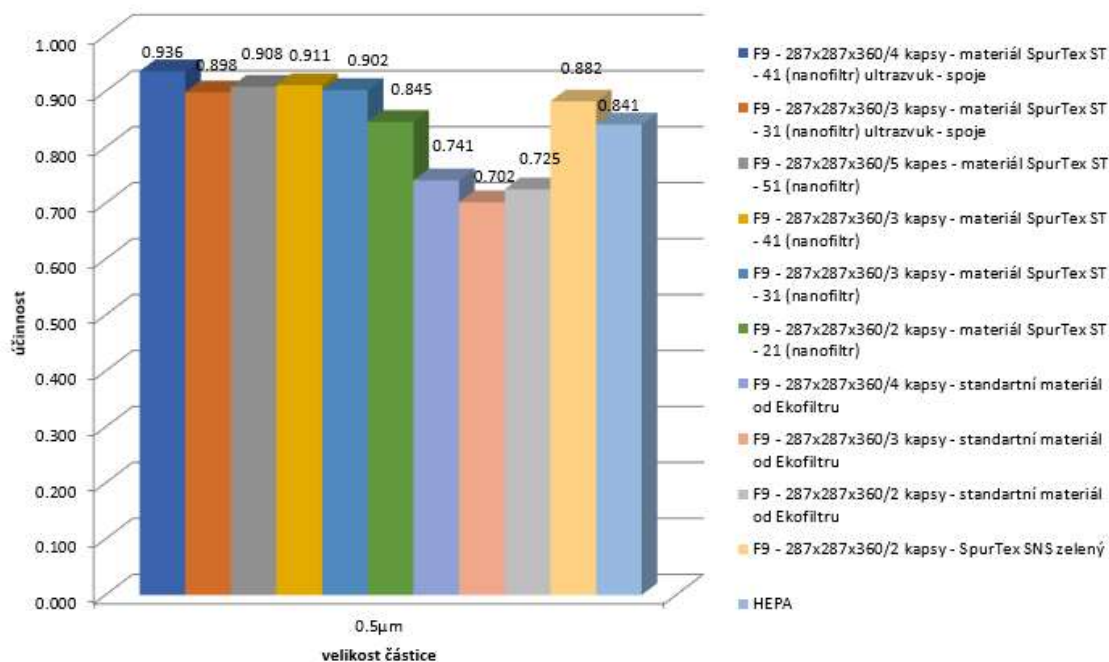
Obrázek 43 - Porovnání podle frakční odlučivosti ePM<sub>2,5</sub>

### Porovnání filtrů podle frakční odlučivosti ePM<sub>10</sub>



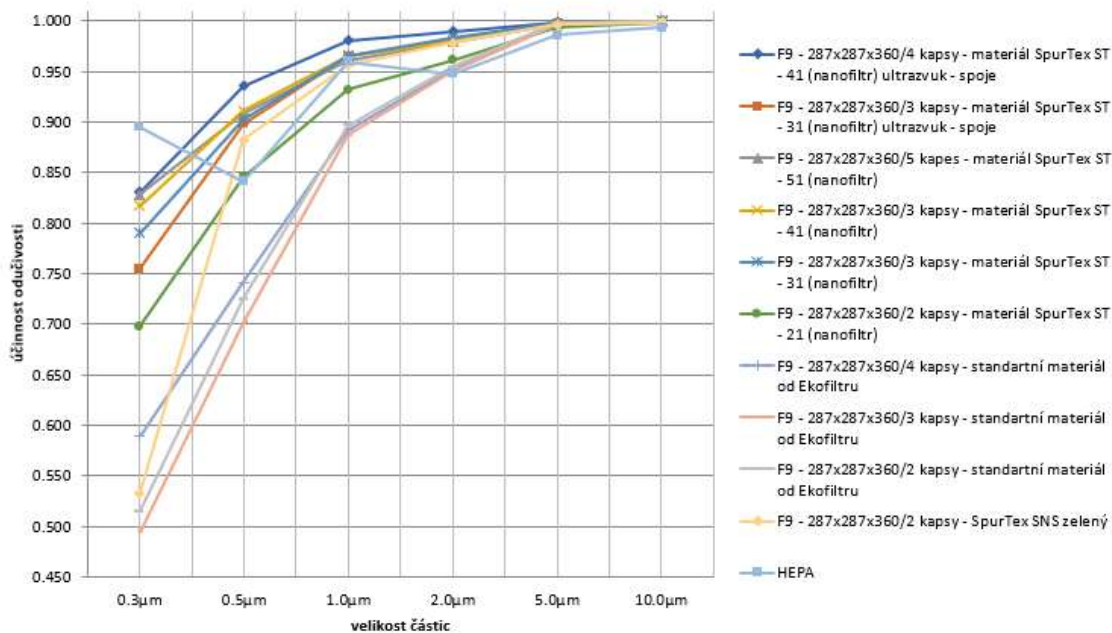
Obrázek 44 - Porovnání podle frakční odlučivosti ePM<sub>10</sub>

### Porovnání filtrů s velikostí zachycení částic 0,5μm

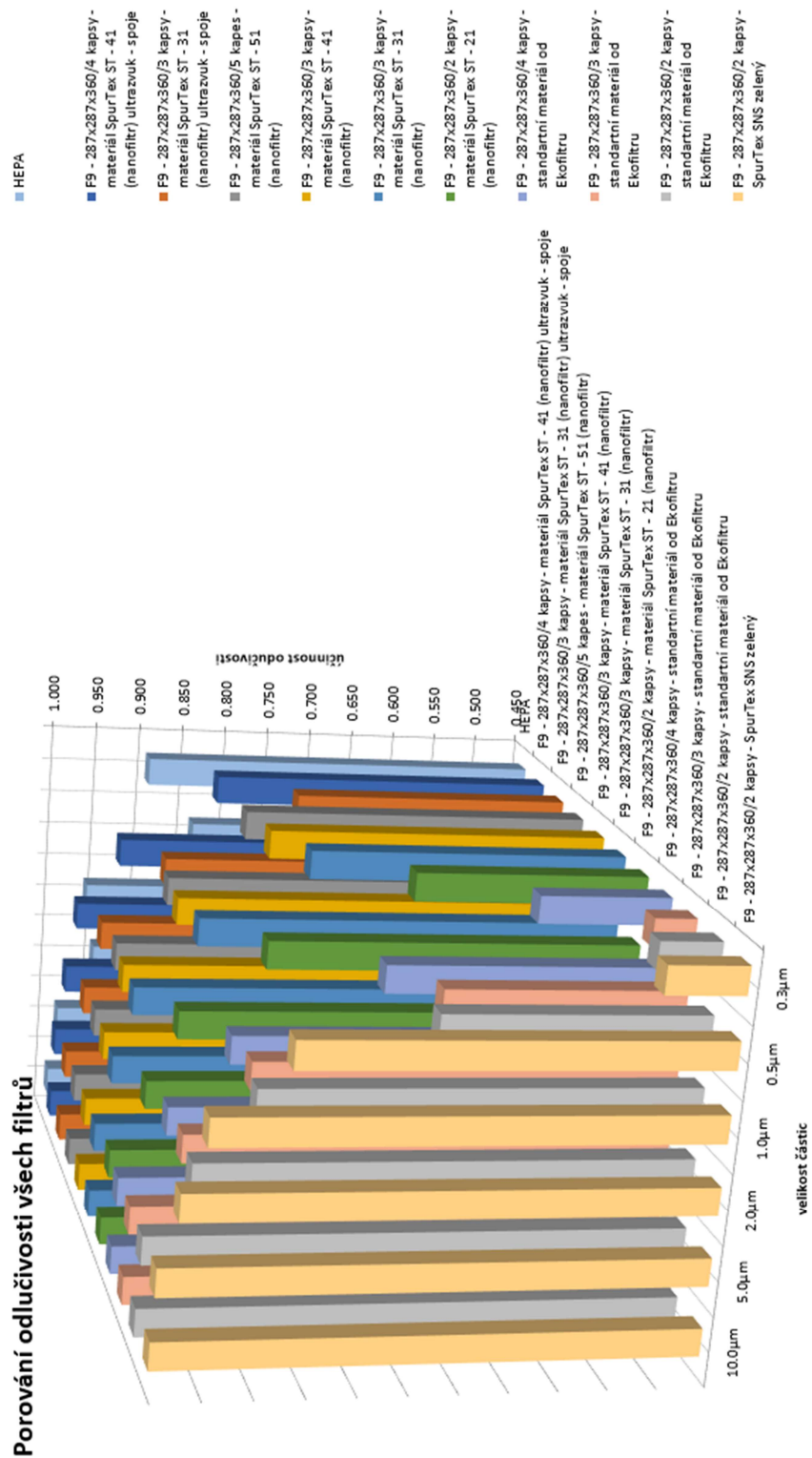


Obrázek 45 - Porovnání podle zachycení částic 0,5μm

### Porovnání odlučivosti všech filtrů



Obrázek 46 - Porovnání všech filtrů



Obrázek 47 - Porovnění všech filtrů podle odlučivosti

## **3.8 Zhodnocení**

### **3.8.1 TLAKOVÁ ZTRÁTA FILTRŮ**

Výsledkem experimentálního měření tlakových ztrát filtrů bylo, že HEPA nanofiltry mají větší tlakovou ztrátu než klasické filtry. Důležitým faktorem byla odlišná konstrukce filtrační vložky. V porovnání s klasickým materiálem jsou filtry vybaveny vícevrstevným filtračním materiálem na bázi nanovláken.

Dále jsem porovnával rozdíl v konstrukci celého filtru z konstrukci kapsových filtrů o podobné odlučivosti jako mnou měřené HEPA filtry. Výsledkem bylo, že konstrukce měla podstatný vliv na tlakovou ztrátu. HEPA filtry byly o třetinu horší než nanofiltry Spur Tex ST-41.



### **3.8.2 ODLUČIVOST FILTRŮ**

V následném měření a vyhodnocování odlučivosti jsem zjistil, že HEPA nanofiltry nedosahují klasifikace HEPA. Po zatřídění podle nové normy jsem zjistil že mají stejnou odlučivost jako nanofiltry Spur Tex ST-41.

Z důvodu měření pouze na jednom vzorku usuzuji, že konstrukce do kartuše je zajímavou volbou, ale filtrační medium nedosahuje takových kvalit, aby bylo zatříděno jako HEPA filtr.

Závěrem bych shrnul celý experiment jako povedený a ukazuje že technologie nanotextílie se dokážou aplikovat v praxi při filtraci vzduchu. Velmi se mi líbil inovativní přístup ke konstrukci filtru a domnívám se, že při zlepšení filtračního média bude dosahovat HEPA třídy filtrace.

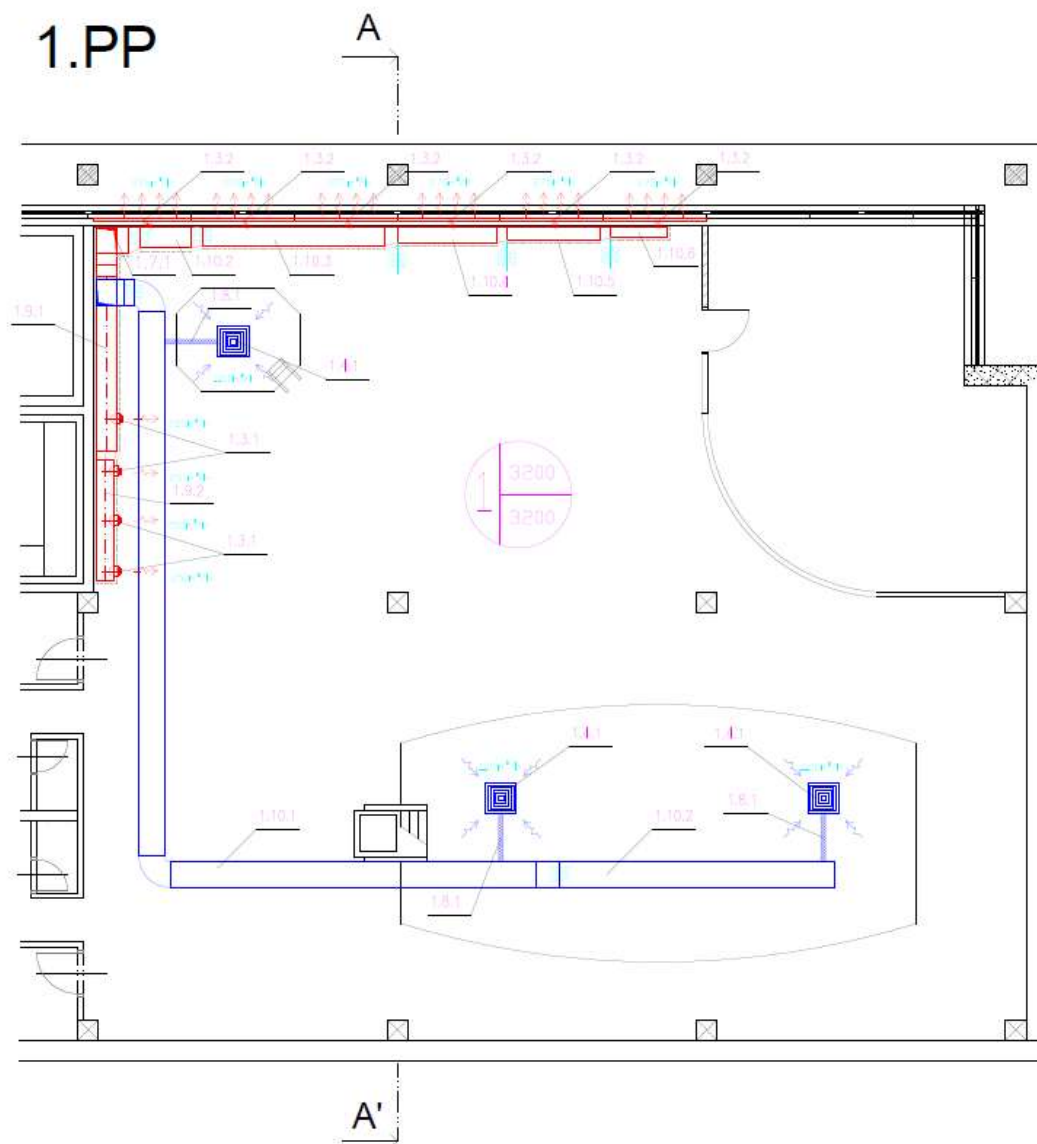
## 4 ODVLHČENÍ BAZÉNOVÉ HALY

## 4.1 Úvod

V této části diplomové práce se nacházejí veškeré výpočty, které vedou k porovnání variant vzduchotechnických jednotek zadané bazénové haly. Podrobné výpočty tepelných bilancí, průtoku vzduchu, dimenzování potrubí, úprav vzduchu s využitím h-x diagramů, výkonových parametrů vzduchotechnického zařízení a posouzení hlukových parametrů jsem uskutečnil v bakalářské práci.

## 4.2 Popis bazénové haly

Posuzovaná bazénová hala je umístěna v Brně v nadmořské výšce 234 m.n.m. Pro zadanou oblast plynou průměrné denní teploty exteriéru. Pro letní období je uvažována teplota exteriéru 32 °C a 35 % a pro zimní období -12 °C a relativní vlhkost 95 %. Hlavní zátěž bazénových hal je vlhkost



Obrázek 48 - Schéma zadaného objektu

## 4.3 Tepelná zátěž

Tabulka 7 - Tepelné ztráty prostupem bazén

Bazén 30°C						
Tepelné ztráty prostupem						
Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí						
Stavební konstrukce						
Popis	A <sub>k</sub>	U <sub>k</sub>	ΔU	U <sub>kc</sub>	e <sub>k</sub>	A <sub>k</sub> ·U <sub>kc</sub> ·e <sub>k</sub>
Obvodová stěna 1	86,45	0,33	0,05	0,38	1	28,5
Obvodová stěna 2	150,96	0,21	0,05	0,26	1	31,7
Okna	5,57	1,2	0	1,2	1	6,7
Celková měrná tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí (W/K)						60,2
Tepelné ztráty z/do prostorů vytápěných na rozdílné teploty						
Stavební konstrukce						
Č.k.	Popis	A <sub>k</sub>	U <sub>k</sub>	f <sub>ij</sub>	A <sub>k</sub> ·U <sub>k</sub> ·f <sub>ij</sub>	
Pr. 1	Příčka - bazén	58,46	1,37	0,11	8,9	
D1	Dveře	1,98	1,30	0,11	0,3	
S1	Stěna -nosná	17,76	0,33	0,11	0,7	
Str. 1	Strop	480,24	0,32	0,11	17,1	
Celková měrná tepelná ztráta z/do prostor s odl.tepl. (W/K)						9,8
Tepelné ztráty zeminou						
Stavební konstrukce						
Č.k.	A <sub>k</sub>	U <sub>equiv,k</sub>	A <sub>k</sub> ·U <sub>equiv,k</sub>	f <sub>g1</sub>	f <sub>g2</sub>	G <sub>w</sub>
Podlaha bazén	480,24	0,17	81,6408	1,45	0,5	1
Celková měrná tepelná ztráta zeminou						59,2
Celková měrná tepelná ztráta prostupem						129,2
Θ <sub>int,i</sub>	Θ <sub>e</sub>	Θ <sub>int,i</sub> - Θ <sub>e</sub>	H <sub>r,i</sub>	Návrhová ztráta prostupem (W)		
24	-14,8	38,8	129,25	5 015		

### Bazén podle programu TERUNA

#### ZADANÉ PRVKY DO VÝPOCTU

Asymetrická stěna - Bazén {480m<sup>2</sup>, 0.25m, 1.2W/mK, 2100kg/m<sup>3</sup>, 1020kJ/kgK}

Venkovní stěna – Bazén SZ {64.6m<sup>2</sup>, 0.45m, 0.21W/mK, 1000kg/m<sup>3</sup>, 900kJ/kgK}

Bazén okna (14.4m<sup>2</sup>, 2.7W/m<sup>2</sup>K)

Venkovní stěna – Bazén JV {63m<sup>2</sup>, 0.45m, 0.21W/mK, 1000kg/m<sup>3</sup>, 900kJ/kgK }

Podlaha – Bazén {480m<sup>2</sup>, 0.25m, 0.13W/mK, 1900kg/m<sup>3</sup>, 800kJ/kgK }

Příčka 1 – Bazén {32m<sup>2</sup>, 0.15m, 1.23W/mK, 2100kg/m<sup>3</sup>, 1020kJ/kgK}

Příčka 2 – Bazén {57m<sup>2</sup>, 0.15m, 0.2W/mK, 1700kg/m<sup>3</sup>, 900kJ/kgK}

Dveře vnitřní Bazén{2 m<sup>2</sup>, 2W/mK}

## VSTUPNÍ ÚDAJE

Výpočet proveden pro období od 4.8. do 4.8.

Časový krok: 300s

Objem místnosti : 1296m<sup>3</sup>

Ve výpočtu bylo zavedeno:

Simulace oblačnosti:	NE
Referenční rok:	NE
Uvažován vliv sluneční radiace:	ANO
Načtená klimatická data:	NE
Osvětlení[1]:	8 - 22h, 3444W
Větrání:	NE
Ostatní tepelné zdroje:	NE
Odpar vody[1]:	0 - 24h, 44.5m <sup>2</sup> , 0.05kg/m <sup>2</sup> h
Biologická produkce[1]:	8 - 22h, 75kg, počet osob: 30
Sálavé plochy:	NE

## VÝSLEDKY

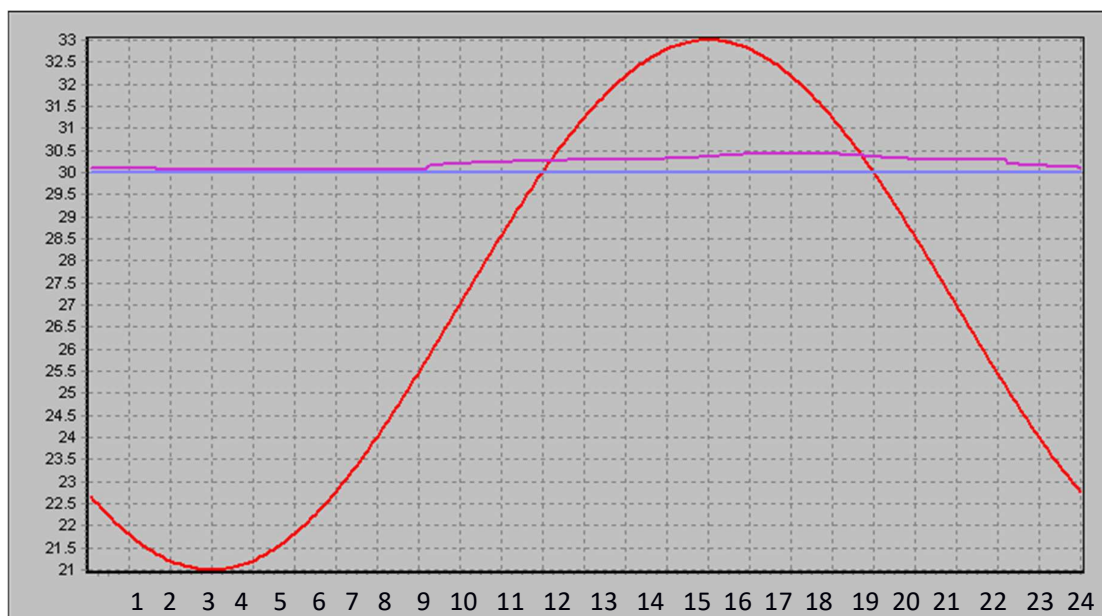
Maxima tepelné zátěže:

4.8. 17.25h: Citelné teplo Max= 6752.09W

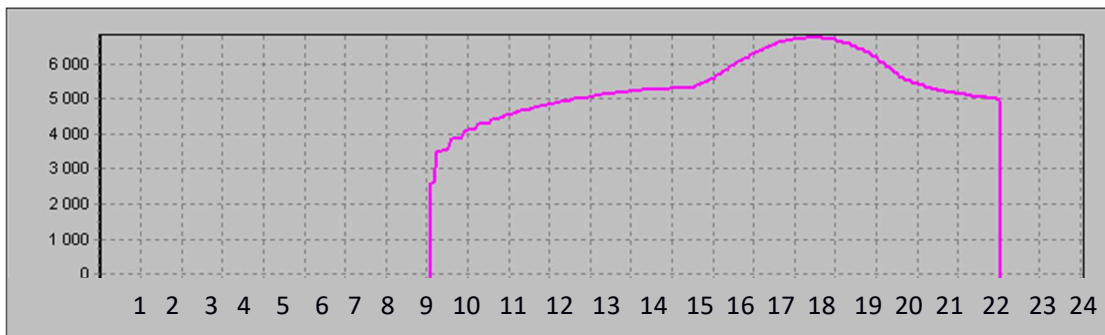
4.8. 4.42h: Citelné teplo Min= -8866.12W

4.8. 17.25h: Vázané teplo=1998.44W Mřena Tz = 15.08W/K

4.8. 17.25h: Potřeba chladu = 75.22kWh Potřeba tepla = 84.42kWh



Obrázek 49 - Graf průběhu teplot během dne



Obrázek 50 - Graf průběhu tepelné zátěže během dne

#### 4.4 Vlhkostní zátěž

Vlhkostní zátěž byla spočítána dle německé normy VDI 2089 z roku 2010.

$$m_{wo} = \frac{\beta_{(p/n)}}{R_v \cdot \bar{T}} \cdot S_h \cdot (p''_{v(tw)} - p_{v(ti)}) \text{ [kg/h]}$$

kde:

$\beta_{(p/n)}$  - součinitel přenosu hmoty [m/h]

$R_v$  - plynová konstanta pro vodní páru [kg/K]

$\bar{T}$  - aritmetický průměr teploty vody a vzduchu [K]

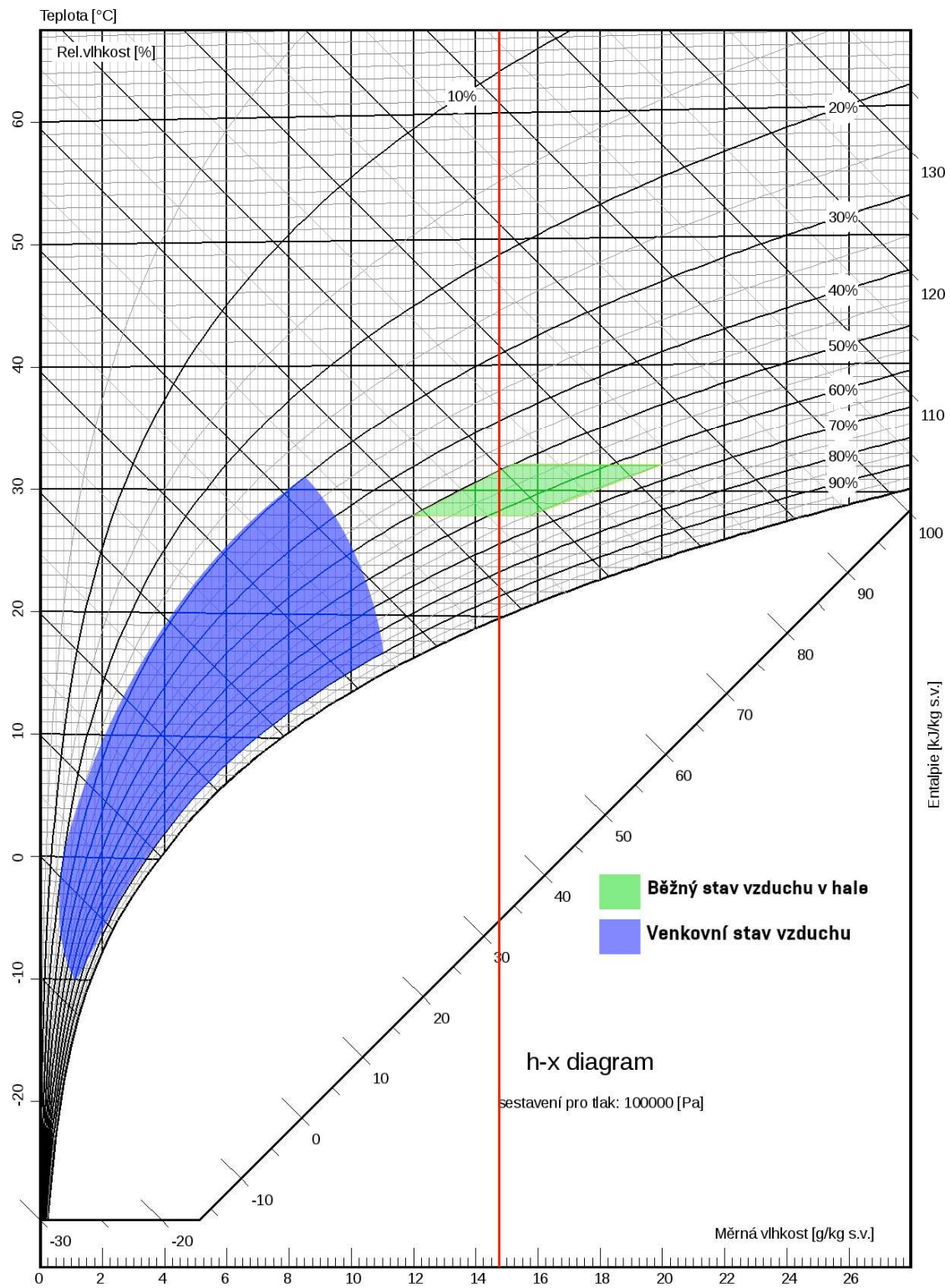
$p''_{v(tw)}$  - tlak syté páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody [Pa]

$p_{v(ti)}$  - tlak páry při teplotě vnitřního vzduchu [Pa]

$$M_{wo} = 2,5 \text{ kg/h}$$

Vlhkostní zátěž pro řešený bazén v době provozu je 3,35 kg/h. mimo provoz 1 kg/h

## 4.5 Klimatické a mikroklimatické podmínky



Obrázek 51 - H-x diagram vzduchu

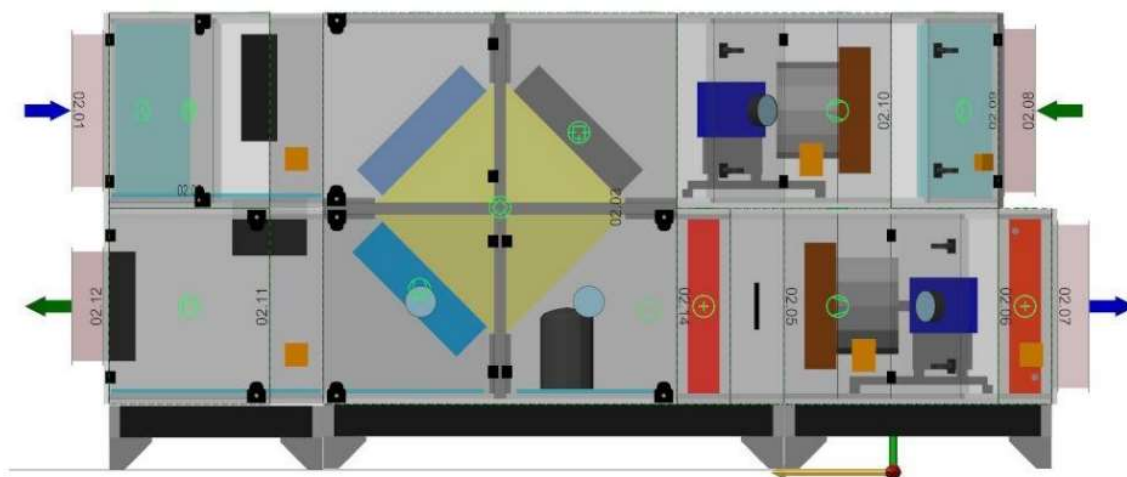
Na h-x diagramu je modrou barvou vyznačeny všechny stavy externího vzduchu. Jedná se v rozmezí -12 °C až 32 °C při relativní vlhkosti 20 % až 95 %.

Hygienické požadavky na mikroklima bazénových hal jsem stanovoval z vyhlášky č. 238/2011 Sb. příloze 12 a německé normy VDI 2086. V h-x diagramu jsem vyznačil zeleně běžný stav vzduchu, který je v rozmezí 28 až 32 °C a relativní vlhkosti 50 % až 65 %. Vzhledem k vysoké teplotě a vysoké relativní vlhkosti by v bazénové hale docházelo k pocitu dusna. Proto jsem zohlednil německou normu VDI 2086, která uvádí limitní hodnotu měrné vlhkosti 14,3 g/kg. Tato hodnota je znázorněna v diagramu jako červená čára a odpovídá teplotě rosného bodu 19,8 °C a relativní vlhkosti 55 %. Z diagramu je zjevné, že relativní vlhkost 65 % je nevyhovující.



## 4.6 Varianta 1 – Bazénová jednotka

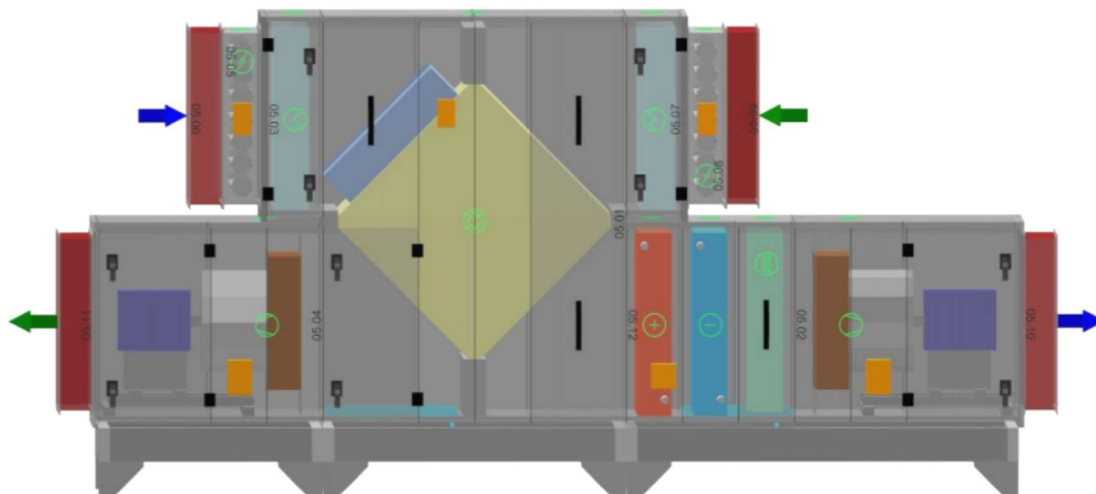
Jako první varianta technického řešení větrání bazénové haly je bazénová jednotka ve standardním provedení. Tepelné čerpadlo je vybaveno druhým kondenzátorem pro odvod přebytečného tepla do vody. Uvažovaný topný faktor (COP) je 4,0 a chladicí faktor (EER) 3,5. Jednotka pracuje v rovnotlaku průtokem vzduchu 3200 m<sup>3</sup>/h na přívodu a 3200 m<sup>3</sup>/h na odvodu. Během provozu bazénové haly pracuje jednotka v režimu větrání s částečnou cirkulací. Množství větracího vzduchu odpovídá 1500 m<sup>3</sup>/h. V tlumeném režimu pracuje jednotka v režimu cirkulace, kdy dochází k odvlhčování na rekuperátoru a výparníku. Za tohoto provozu je jednotka schopna pokrýt vlhkostní zátěž 10 kg/h. Vzduch je následně ohřátý na požadovanou teplotu kondenzátorem TČ. Přebytečné teplo je rekuperováno do vody. Orientační cena jednotky je 800 000 Kč.



Obrázek 52 - Bazénová jednotka [2]

#### 4.7 Varianta 2 – VZT jednotka s řízeným odvlhčováním

Druhou variantou technického řešení větrání bazénové haly je obyčejná VZT jednotka pro všeobecné použití. Uvažovaný chladicí faktor (EER) tepelného čerpadla je 3,5. Jednotka pracuje se stejným množstvím vzduchu jako bazénová jednotka – 3200/3200 m<sup>3</sup>/h. Při provozu bazénové haly pracuje jednotka na plný režim. V tlumeném provozu je uvažováno se sníženým průtokem 1500 m<sup>3</sup>/h. Jednotka neobsahuje směšovací komoru. Orientační cena jednotky je 650 000 Kč.



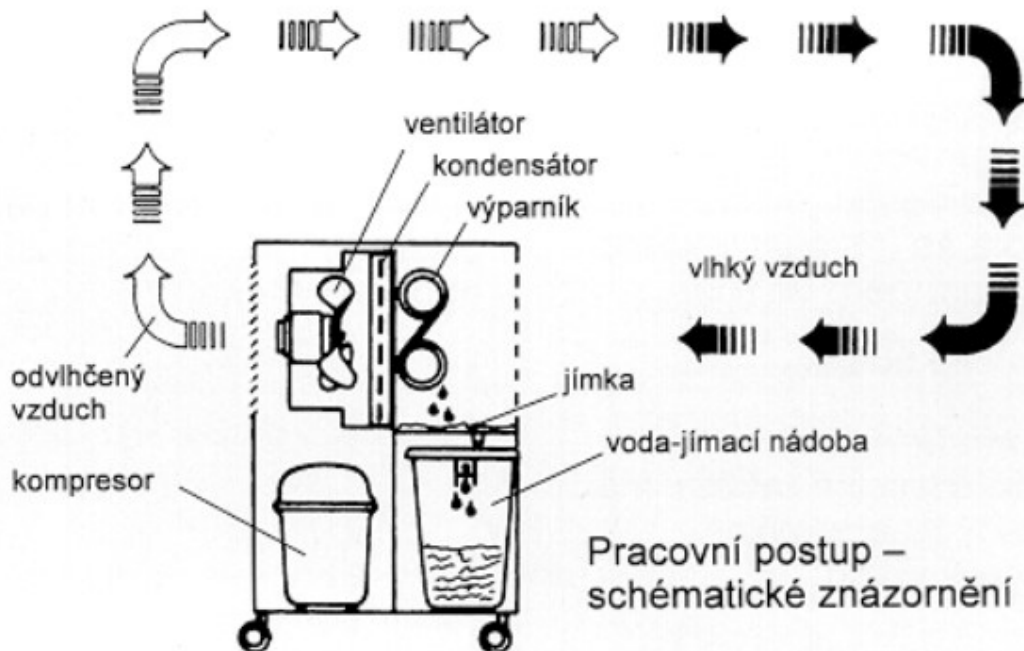
Obrázek 53 - VZT jednotka s řízeným odvlhčováním [2]

#### 4.8 Varianta 3 - Nucené větrání s odvlhčovačem

Třetí variantou řešení je větrání bazénové haly obyčejnou VZT jednotkou a v místnosti budou umístěny odvlhčovače. Vzduchotechnická jednotka bude v rovnotlakém režimu 3200 m<sup>3</sup>/h přívod a odvod 3200 m<sup>3</sup>/h. Budou nainstalovány 2 přenosné odvlhčovače. Maximalní odvlhčení je 5kg/h a příkon jednotek je 2x850w (EER) tepelného čerpadla je 2,5. Orientační cena je 500 000kč za centrální jednotku a 60 000 kč za 2 přenosné odvlhčovače.



Obrázek 54 – Odvlhčovač [10]



Obrázek 55 - Pracovní schéma odvlhčovače [10]

## 4.9 Vyhodnocení

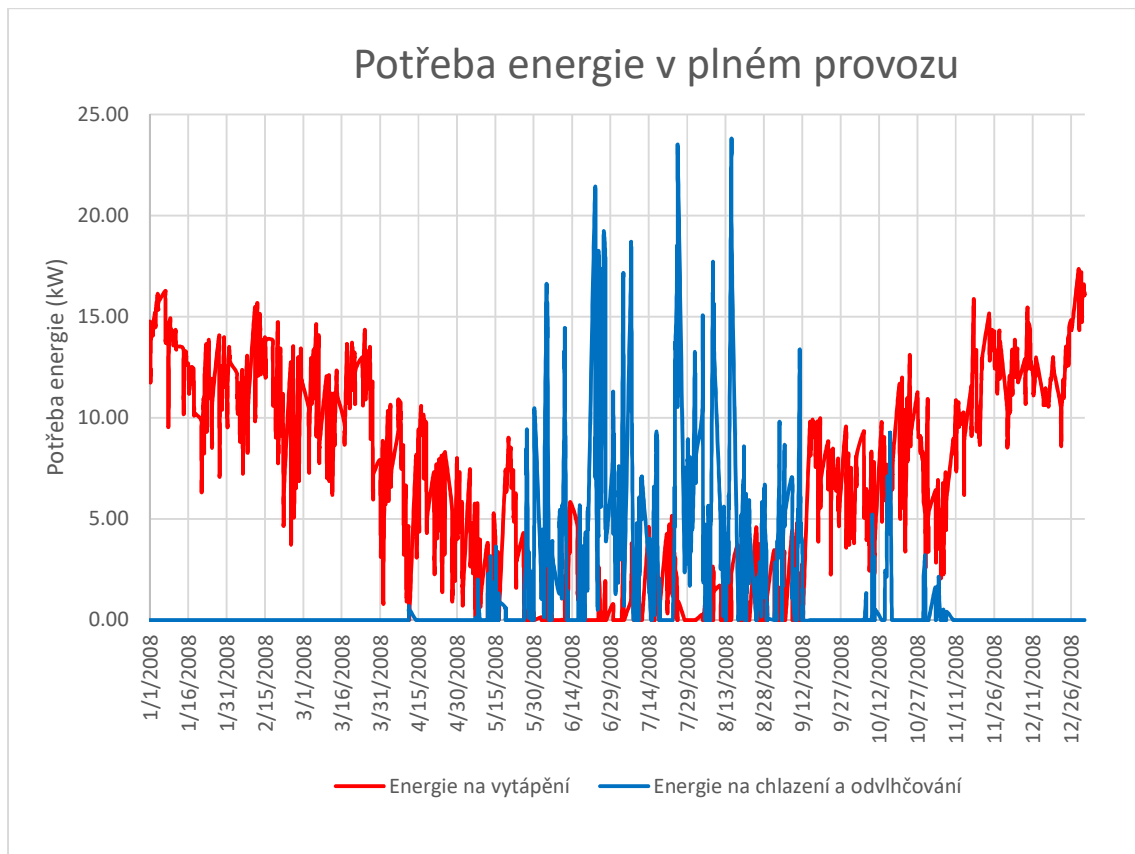
### 4.9.1 Roční bilance

Výpočet roční potřeby tepla byl stanovený na základě daných okrajových podmínek. Pro interiér byla uvažována teplota 30 °C a relativní vlhkost 55 %. Okrajové podmínky pro exteriér byly uvažovány průměrné hodinové teploty za rok 2008 pro Brno. Celý výpočet byl proveden programem v excelu. Kde jsou použity základní vzorce pro stechiometrické rovnice pro výpočet potřebné energie. Program pracuje s daty hodinové teploty a relativní vlhkosti. Věřím, že bude mít dostatečnou přesnost pro názorné porovnání jednotek.

```
prepinacvytapani = Range("prepinacvytapani").Value
Select Case prepinacvytapani
Case Is = 1
' teplotovzdušné větrání se ZZT bez směšování
For i = 1 To PocetHodnot
ti(i) = (0.003 * NovaData(i, 4) ^ 2 + 0.0733 * NovaData(i, 4) + 19.669)
If NovaData(i, 4) < ti(i) Then
p(i) = 101400 * ((16000 - H) / (16000 + H))
rote(i) = (1.316 / (1000 * (NovaData(i, 4) + 273.15))) * (2.65 * p(i) + NovaData(i, 5) * 0.01 * Exp(23.58 - (4044.2 / (235.6 + NovaData(i, 4))))))
ucinnostZZT(i) = 0.0185 * NovaData(i, 4) ^ 2 - 1.1004 * NovaData(i, 4) + 36.918
tl(i) = (ucinnostZZT(i) / 100) * (ti(i) - NovaData(i, 4)) + NovaData(i, 4)
qo(i) = prtokV1 * rote(i) * 1010 * (ti(i) - tl(i)) / 3600000
' ti = (0.003 * NovaData(i, 4) ^ 2 + 0.0733 * NovaData(i, 4) + 19.669)
' NovaData(i, 4) = te
' NovaData(i, 5) = rh
Else
qo(i) = 0
End If
Next i

Case Is = 2
' teplotovzdušné vytápění se ZZT bez směšování
For i = 1 To PocetHodnot
ti(i) = (0.003 * NovaData(i, 4) ^ 2 + 0.0733 * NovaData(i, 4) + 19.669)
If NovaData(i, 4) < ti(i) Then
p(i) = 101400 * ((16000 - H) / (16000 + H))
rote(i) = (1.316 / (1000 * (NovaData(i, 4) + 273.15))) * (2.65 * p(i) + NovaData(i, 5) * 0.01 * Exp(23.58 - (4044.2 / (235.6 + NovaData(i, 4))))))
ztrata(i) = ztrataa * NovaData(i, 4) ^ 2 - ztratab * NovaData(i, 4) + ztratac
tp(i) = (ti(i)) + ztrata(i) / (prtokV1 * rote(i) * 1010 / 3600)
ucinnostZZT(i) = 0.0185 * NovaData(i, 4) ^ 2 - 1.1004 * NovaData(i, 4) + 36.918
tl(i) = (ucinnostZZT(i) / 100) * (ti(i) - NovaData(i, 4)) + NovaData(i, 4)
qo(i) = prtokV1 * rote(i) * 1010 * (tp(i) - tl(i)) / 3600000
Else
qo(i) = 0
End If
Next i
```

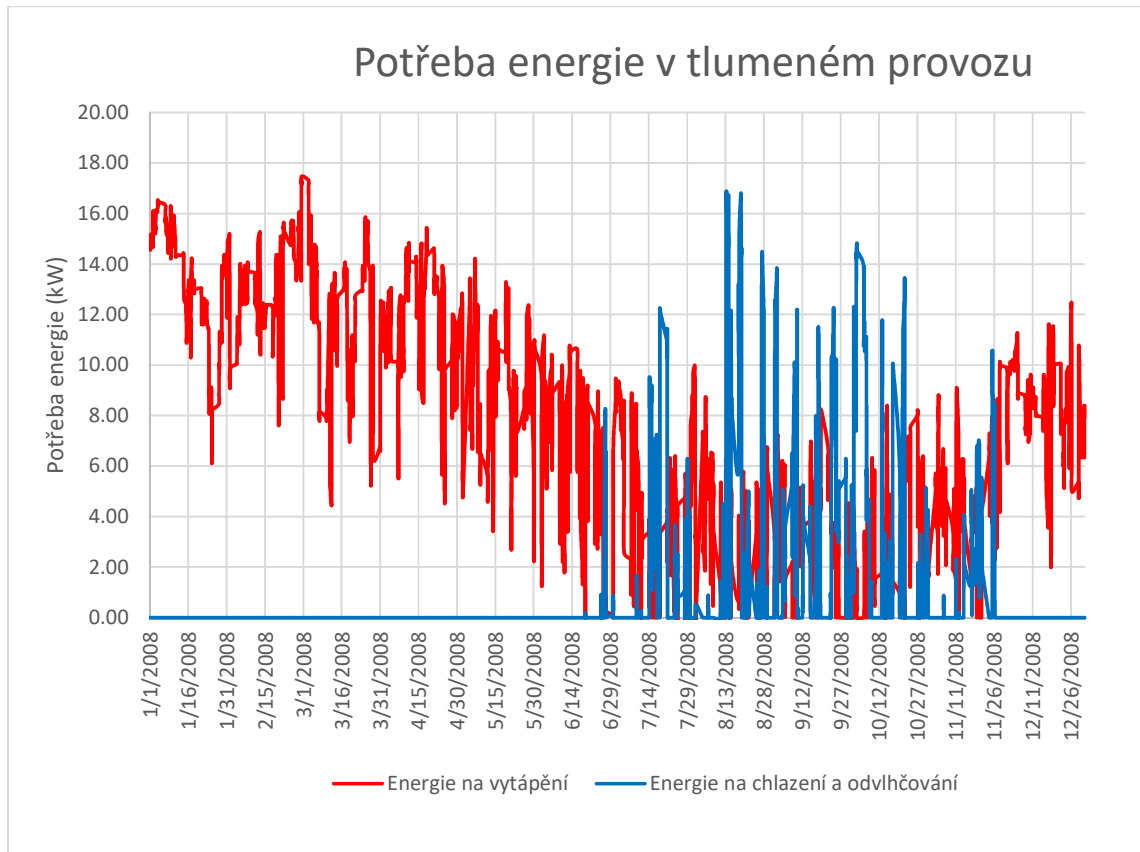
Obrázek 56 - Výběr kódu VBA



Obrázek 57 - Graf potřeby energie v plném provozu

V uplynulém grafu je vidět okamžitá potřeba energie za hodinu na vytápění bez směšování (červeně). Modře se zobrazuje v letních měsících potřeba chlazení a odvlhčení, která převyšuje, někdy mnohonásobně potřebu na vytápění.

V následujícím grafu můžeme vidět zmenšení potřeby chlazení a odvlhčování z důvodu menšího odparu z klidné hladiny bazénu a absenci lidí. Avšak potřeba ohřevu zůstává na podobné úrovni jako při plném provozu.



Obrázek 58 - Graf potřeby energie v tlumeném provozu

Potřeba tepla pro větrání byla stanovena podle vzorce:

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t \cdot \eta_{ZTZ} [W]$$

Kde:

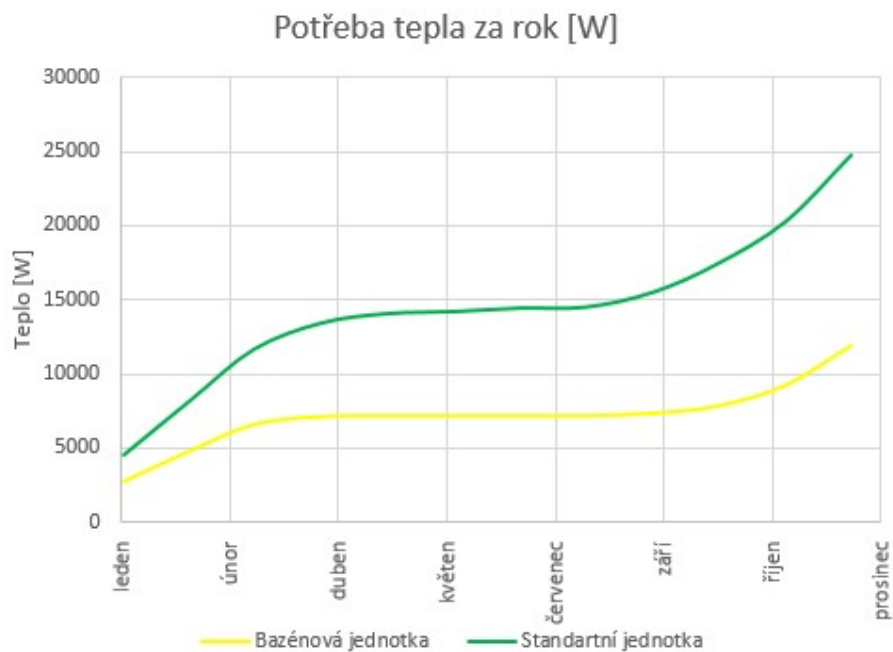
Q – potřeba energie

P – objemová hustota

c – měrná tepelná kapacita

$\Delta t$  – rozdíl teplot exteriéru a interiéru

$\eta_{ZTZ}$  – tepelná účinnost systému ZTZ

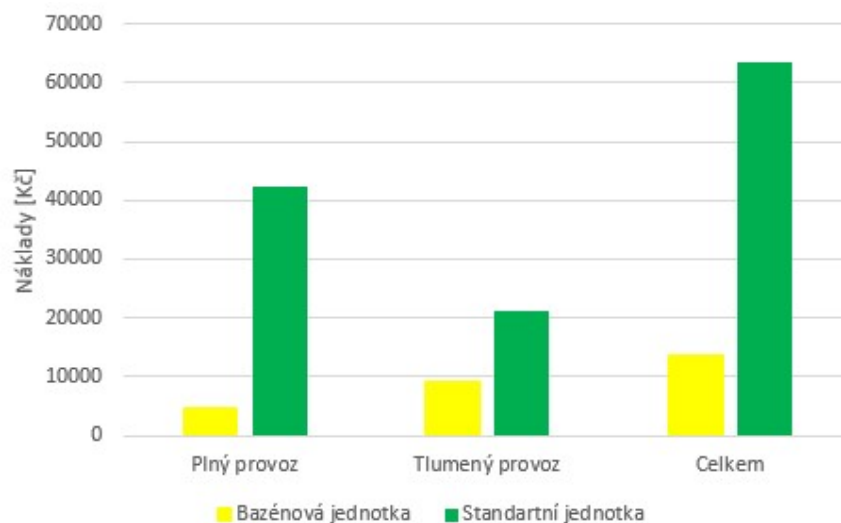


Obrázek 59 - Potřeba tepla za rok

Z grafu vyplývá, že při plném ročním provozu má nižší potřebu tepla bazénová jednotka. Toto je dáno využitím cirkulačního vzduchu, který přispívá k snížení množství větracího vzduchu. Uvažujeme zde stejně účinné zpětné získávání tepla přes křížový deskový výměník.

#### 4.9.2 Cena provozu jednotek

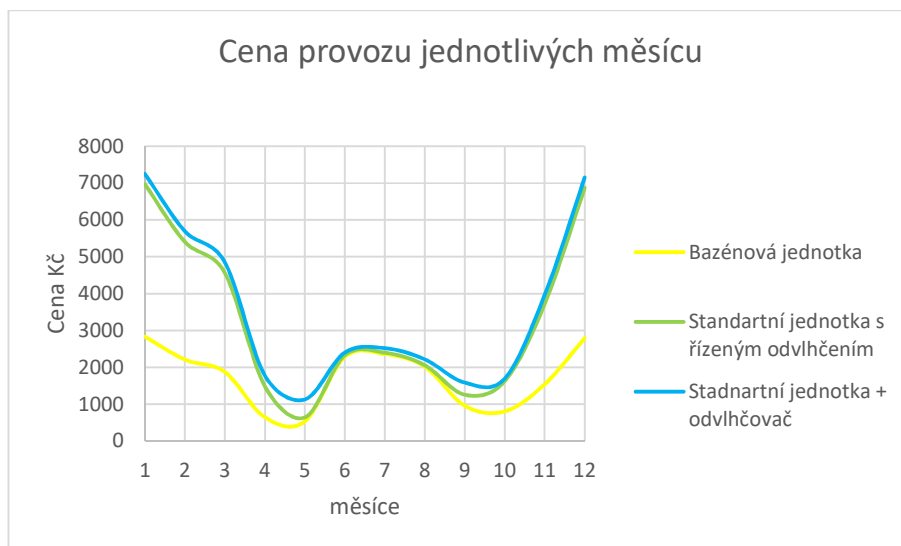
Cena provozu byla vyčíslena z potřeby tepla na provoz se zahrnutím plného i tlumeného provozu. Cena zahrnuje energii potřebnou k úpravě vzduchu a náklady spojené s provozem ventilátorů, prvků MaR. Pro stanovení ceny byla uvažována cena za elektrickou energii 4 Kč/kWh a za tepelnou energii 2,5 Kč/kWh.



Obrázek 60 - Cena provozu jednotek

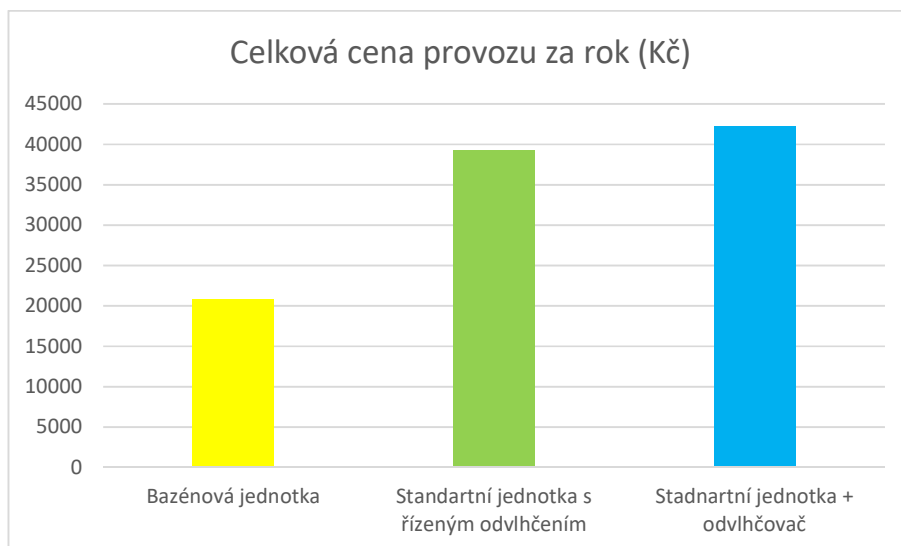
Markantní rozdíl v nákladech na provoz jednotky je způsoben využitím cirkulace u bazénové jednotky. Bazénová jednotka má celkově ekonomický provoz, ale v tlumeném režimu se standardní jednotka přiblížila nákladům bazénové jednotky. Tento rozdíl je způsoben rozdílnou konstrukcí a provozem jednotek. V roční bilanci není zahrnuta možnost využívání přebytečného tepla vyprodukovaného tepelným čerpadlem bazénové jednotky. Po započítání přebytečného tepla na dohřev vzduchu zbude nám 6,6 Mwh za rok což činí 16 500 Kč. Takto vyprodukované teplo může být použito pro ohřev bazénové vody čímž dojde k snížení provozních nákladů.





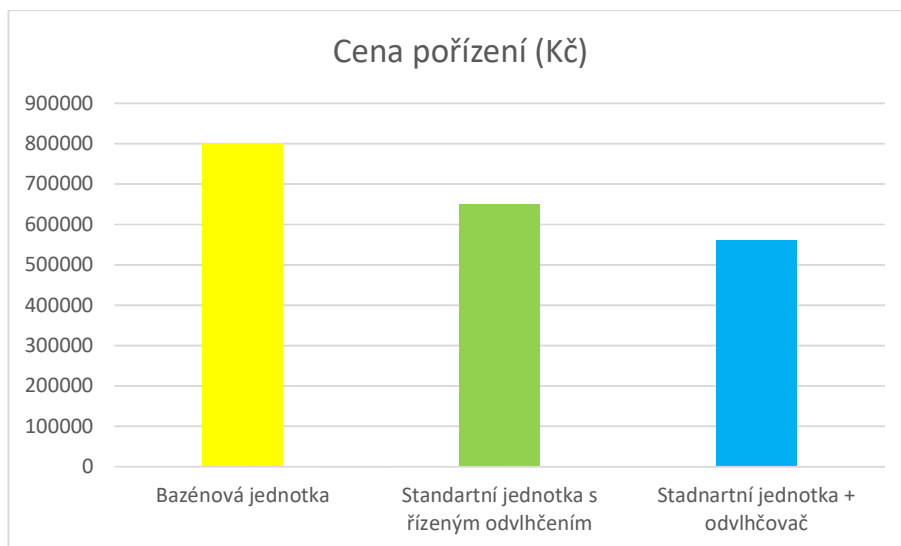
Obrázek 61 - Cena provozu v průběhu jednotlivých měsíců

V tomto grafu můžeme vidět, že máme dva extrémy. V létě je potřeba chlazení a odvlhčení a v zimě je potřeba na ohřev vzduchu. Vidíme, že bazénová jednotka má menší extrémy, než standartní jednotka. Z toho vyplývá, že má menší cenu provozu než standartní řešení.



Obrázek 62 - Celková cena provozu za rok

V celkových nákladech na rok si můžeme povšimnout nepatrného rozdílu mezi standartní jednotkou s řízeným odvlhčením a standartní jednotkou s odvlhčovačem. Avšak tyto dvě varianty nedosahují tak nízkých provozních nákladů za rok jako bazénová jednotka.

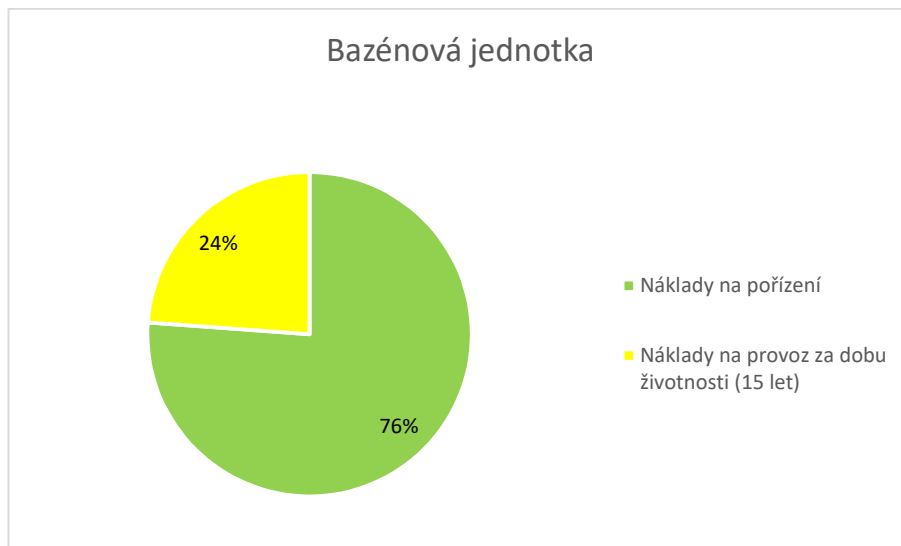


Obrázek 63 - Cena investice

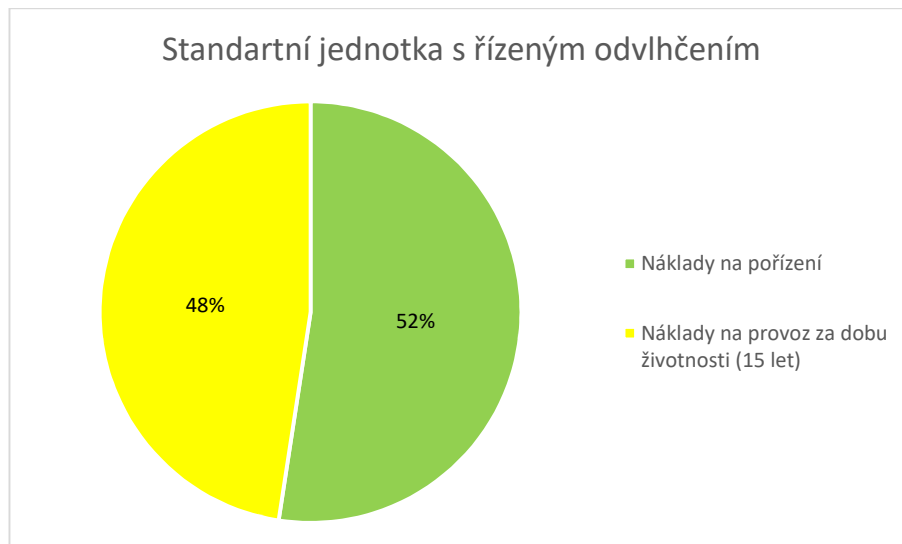
Z následujícího porovnání je jasné, že bazénová jednotka je sice nejlepší na provoz, ale její pořizovací cena není příznivá.

#### 4.9.3 Shrnutí

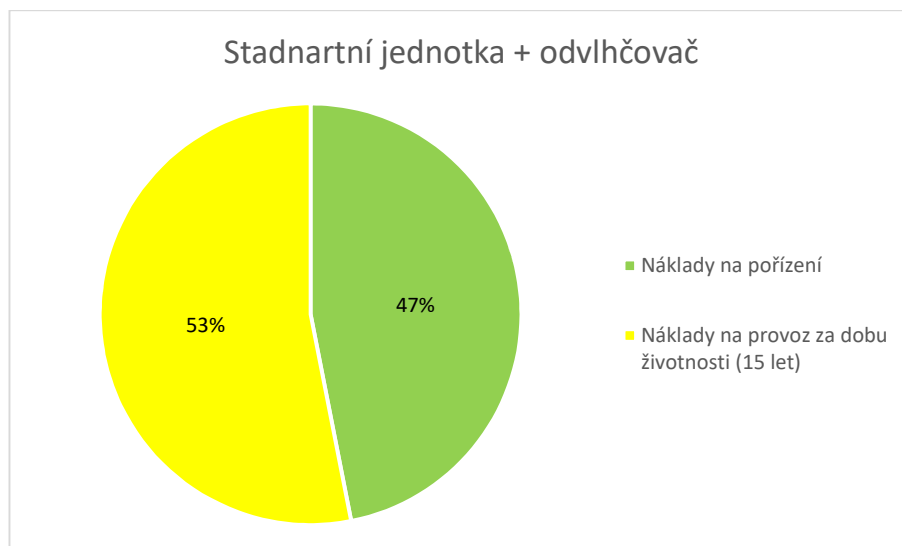
V této podkapitole graficky znázornují poměr mezi pořizovacími náklady a náklady na provoz jednotlivých jednotek. Názorně ukazuje ekonomickou i ekologickou podstatu jednotek, kdy prvotní investice můžou investora překvapit, avšak dlouhodobý výhled teprve ukazuje výsledek.



Obrázek 64 - Poměr nákladů na pořízení a provoz bazénové jednotky



Obrázek 65 - Poměr nákladů na pořízení a provoz jednotky s řízeným odvlhčením



Obrázek 66 - Poměr nákladů na pořízení a provoz Standartní jednotky a odvlhčovače

Následující graf zobrazuje čistou současnou hodnotu varianty za uvažovanou dobu životnosti 15 let. Jak už bylo dříve zmíněno i tady se potvrzuje že bazénová jednotka je ekonomicky nejvýhodnější. Byly použity následné vztah:

### Čistá současná hodnota (NPV)

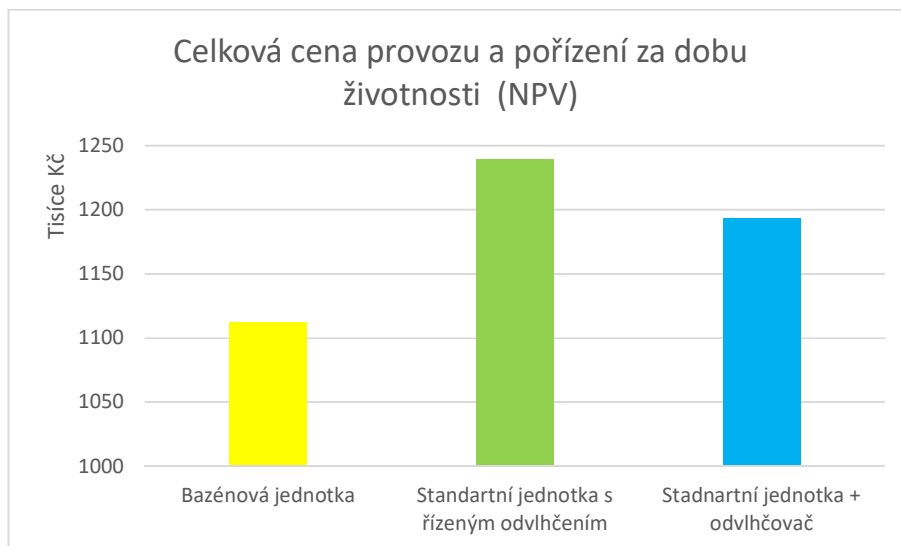
Je jedním z nejvhodnějších kritérií v dnešní době. Kritérium zahrnuje dobu životnosti projektu a taky možnost porovnání s investováním do stejně rizikového projektu.

$$NPV = \sum_0^t DCF = \sum_0^t \frac{CF}{(1+r)^2}$$

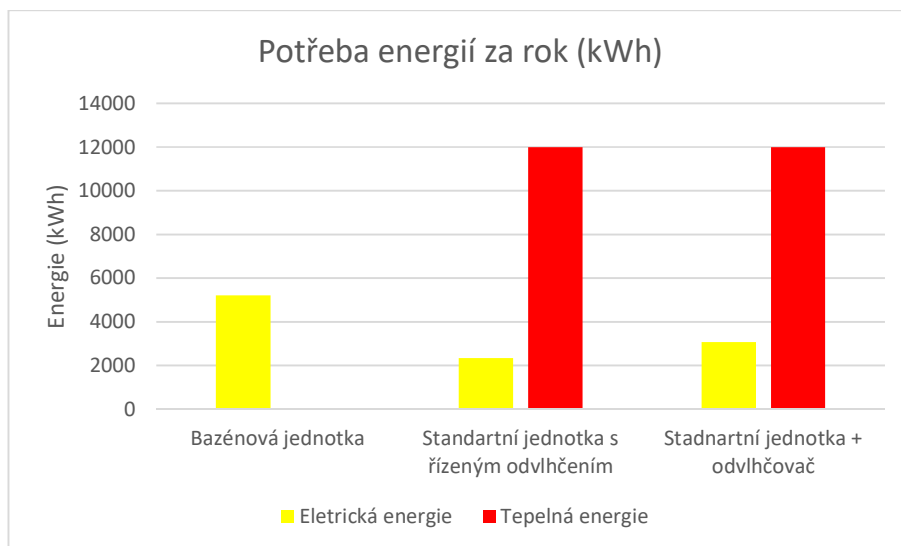
Kde:

DCF – diskontované peněžní toky v jednotlivých letech

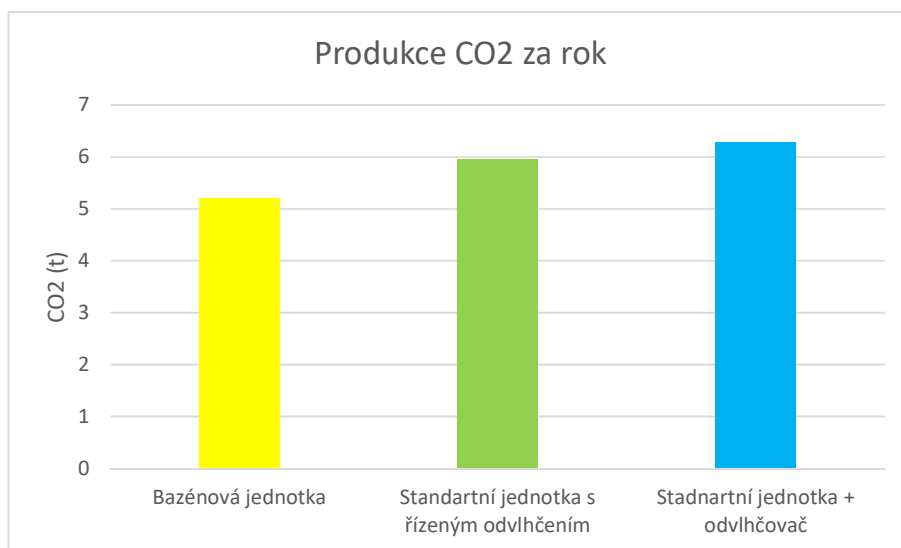
T – doba životnosti projektu



Obrázek 67 - Celková cena provozu a pořízení za dobu životnosti



Obrázek 68 - Potřeba energií



Obrázek 69 - Produkce CO2

Z ekonomického pohledu je varianta standardní jednotky odvlhčovače nejhorší volbou. Rozdíl se navyšuje při započtení využití odpadního tepla bazénové jednotky neboť varianta 2 se zakládá na nižší prvotní investici. Má však dvakrát větší nároky na energii než bazénová jednotka.

Varianta 3 je nejlevnější pro prvotní investici, avšak z důvodu 2 odvlhčovačů nárok na elektrickou energii je větší než u varianty 2.

# 5 TECHNICKÁ ZPRÁVA

## Varianta č. 1 Bazénová jednotka

### 5.1 Úvod

Předmětem projektové dokumentace je návrh vzduchotechnické jednotky pro účel klimatizace bazénové haly. Návrh byl proveden v souladu s hygienickými požadavky na výměnu vzduchu s ohledem na komfort osob pobývajících v bazénové hale.

### 5.2 Podklady pro zpracování

Podkladem pro zpracování byla výkresová dokumentace stavební části. Součástí podkladů jsou příslušné zákony a prováděcí vyhlášky, české technické normy a podklady výrobců vzduchotechnických zařízení.

- 1) Zákony, nařízení vlády, vyhlášky
  - a) Nařízení vlády č. 93/2012 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.
  - b) Vyhláška č. 499/2006 Sb. O dokumentaci staveb ve změně 63/2012 Sb.
  - c) Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.
  - d) Nařízení vlády č. 272/2011Sb. O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- 2) České technické normy
  - a) ČSN EN 12831 – „Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu“
  - b) ČSN 127010 – „Navrhování větracích a klimatizačních zařízení“
  - c) ČSN 730548 – „Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů“
  - d) ČSN 013454 – „Výkresy vzduchotechnických zařízení“
- 3) Podklady výrobců
  - a) Remak

### 5.3 Klimatické podmínky stavby

Budova sportovního centra je umístěna v Brně. Pro stanovení návrhových klimatických podmínek byly použity data uvedené v následující tabulce:

Tabulka 8 - Klimatické podmínky

BRNO	Teplota	Měrná vlhkost	Entalpie
	[°C]	[g/kg]	[kJ/kg]
LÉTO	32,0	x	66,1
ZIMA	-12	1	x

### 5.4 Mikroklimatické podmínky

Požadavky na vnitřní prostředí stavby byly stanoveny podle příslušné legislativy a požadavky investora.

#### 5.4.1 Množství přiváděného vzduchu

Celkový objem přiváděného vzduchu je stanoven pro pokrytí vlhkostní a tepelné zátěže bazénu. Množství vzduchu je řízeno na základě integrovaného systému MaR, který je součástí jednotky. Příslušný objem vzduchu (čerstvý vzduch, cirkulace) je řízen na základě integrovaných čidel.

Množství větracího vzduchu pro bazén je dán zadávacími parametry:

Plocha bazénu	48 m <sup>2</sup>
Objem bazénové haly	708,5 m <sup>3</sup>
Teplota bazénové vody	29 °C
Teplota vzduchu	30 °C
Zakrytí vodní hladiny	ne

Vlhkostní zátěž byla spočítána dle německé normy VDI 2089:

Vzduchový výkon zařízení	3200 m <sup>3</sup> /h
Odvlhčovací výkon	10 kg/h
Vlhkostní zátěž dle VDI 2089	3,35 kg/h
Klidný provoz	1 kg/h

#### 5.4.2 Množství odváděného vzduchu

Odvod vzduchu z prostoru bazénové haly zajišťuje bazénová jednotka distribučními elementy umístěnými nad vodní plochou.

#### 5.4.3 Vstupní data pro úhradu tepelných ztrát

Jednotka teplovzdušným vytápěním pokrývá tepelnou ztrátu bazénové haly stanovený výpočtem na 5,1 kW.

#### **5.4.4 Vstupní data pro výpočet tepelných zisků**

Jednotka pokrývá tepelnou zátěž bazénové haly stanovený výpočtem na 7,4 kW

#### **5.4.5 Návrh ohřevu**

Zimní výpočtová teplota pro Brno je  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , na tuto hodnotu je dimenzován systém ohřevu vzduchu. Vzduch je ohříván pomocí křížového deskového rekuperátoru a teplovodního ohříváče. Ohříváč vzduchu je dimenzován na ohřev z teploty za rekuperátorem na požadovanou teplotu přívodního vzduchu. Teplota topné vody je uvažována  $65/50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### **5.4.6 Stav vnitřního mikroklima**

Bazénová hala                       $t_i$  = zajišťuje UT+VZT na  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
RH = max 55 % v zimě, max. 65 % v létě

#### **5.4.7 Hluk**

Bazénová hala                      50 dB  
Technické prostory                65 dB

#### **5.4.8 Provozování VZT zařízení**

Systém VZT bazénové haly bude řízen integrovaným systémem.



## 5.5 Popis VZT jednotky

### 5.5.1 Popis zařízení a jeho provozních stavů

Pro teplovzdušné větrání a odvlhčování bazénové haly je navržena samostatná kombinovaná bazénová VZT jednotka ve vnitřním provedení pro přívod a odvod vzduchu. Jednotka je umístěna ve strojovně pro VZT. Přívod, úpravu a odvod vzduchu do, resp. z prostoru bazénové haly zajistí VZT jednotka pracující s proměnným množstvím čerstvého vzduchu. Vzduchotechnická jednotka bude vybavena systémem ZZT, je použit křížový deskový rekuperátor se systémem tepelného čerpadla pro odvlhčování a rekuperaci. Systém je dimenzován na odvlhčení bazénové haly s plochou vodní hladiny 48 m<sup>2</sup>.

#### Přívodní část VZT jednotky:

- tlumící vložka
- uzavírací klapka
- filtrační komora s filtrem M5
- směšovací klapka
- deskový rekuperační výměník s obtokem a integrovaným směšováním
- systém tepelného čerpadla (kondenzátor)
- ventilátor s EC motorem
- ohřívač s topnou vodou 65/50 °C
- tlumící vložka

Vzduch je vyfukován přívodními elementy – dýzy, které jsou nastavitelné, aby proudění vzduchu dosáhlo na druhou stranu místnosti. Parapetními vyústkami, které ofukují okna a tím zabraňují kondenzaci vodní páry na povrchu oken.

#### Odvodní část VZT jednotky:

- tlumící vložka
- uzavírací klapka
- filtrační komora s filtrem M5
- ventilátor s EC motorem
- deskový rekuperační výměník s obtokem a integrovaným směšováním
- systém tepelného čerpadla (výparník)
- směšovací klapka
- uzavírací klapka
- tlumící vložka

Odvod vzduchu z bazénu je zajištěn třemi obdélníkovými anemostaty umístěnými v podhledu.

Jednotka je umístěna na základovém rámu. Sání vzduchu bude řešeno přes nasávací potrubí opatřeným parotěsnou izolací zakončený sacím kolenem na střeše objektu. Výfuk vzduchu je řešen potrubím přes fasádu objektu. Výfuk bude zakončený protidešťovou žaluzií. Do vzduchodů přívodu, odvodu, sání a výfuku jsou osazeny tlumiče hluku.

## 5.5.2 Popis společných prvků

### EC motory

Jednotka je vybavena EC motory z důvodu různých provozních stavů. Pro kabelování mezi motorem a MaR je součástí dodávky VZT jednotky.

Otáčky motoru budou řízeny na základě požadavku udržování konstantního tlaku v potrubí.

### Vzduchotechnické potrubí

V objektu bude vzduch dopravován čtyřhranným, nebo kruhovým plastovým (PVC). Potrubí budou vedena ve spádu k VZT jednotce a v nejnižších místech bude zajištěno odvodnění. Třídy vzduchotěsnosti min. B (dle ČSN EN 1507). Potrubí bude zavěšeno na závěsech s roztečí maximálně 2-5 m dle velikosti potrubí. Vzduchovody na závěsech.

### Protihlukové opatření

Budou provedena taková opatření, která zabrání šíření hluku:

- Potrubní rozvody budou od ventilátorů odděleny pryžovými manžetami
- Ventilátory i potrubí na závěsech podloženy gumou.
- Vřazení tlumičů hluku do potrubních rozvodů k zamezení šíření hluku od ventilátoru do místnosti i do venkovního prostoru.
- Rychlost proudění vzduchu v potrubí a distribuční elementy jsou zvoleny tak, aby proudění vzduchu nezpůsobovalo nadměrný hluk.
- Pro zabránění přenosu hluku do stěn bude potrubí v prostupu vždy obaleno minerální vatou. Začištění omítky musí být provedeno tak, aby nemohlo dojít k přenosu vibrací
- Bude zajištěno stavební odhlučnění technického prostoru

### Protipožární opatření

Vzduchotechnické zařízení bude provedeno v souladu s normou ČSN 73 0872. Rozdělení objektu na jednotlivé požární úseky je řešeno samostatným projektem požární ochrany.

## 5.6 Požadavky na navazující profese

### 5.6.1 Požadavky na stavbu

Požadavek, aby nedošlo ke kolizím mezi VZT a stavbou je potřeba zajistit:

- zajistit prostor pro osazení VZT jednotek
- zajištění prostupů VZT obvodovou stěnou a střechou
- zajištění prostupů VZT stropem
- dozdění a začištění všech otvorů po montáži potrubí, potrubí v prostupech stěnami budou obaleny izolací zabraňující přenášení chvění

### 5.6.2 Požadavky na tepelnou energii

Požadavek napojení ohřívače VZT jednotky na topnou vodu. Teplota vody bude řízena pomocí MaR a trojcestným ventilem. Spád topné vody bude 65/50°C.

### 5.6.3 Požadavky na ZTI

Požadavek napojení odvodu kondenzátu od rekuperátoru, chladiče a od míst odvodnění VZT potrubí. Osazení podlahové vpusti do strojovny

### 5.6.4 Požadavky na elektrickou energii

Profese elektro zajistí silový přívod pro všechna zařízení vzduchotechniky a dodá a zapojí silové rozvaděče.

- Pro pohon zařízení je nutná soustava 3/N/PE AC 400/230 V50 Hz

### 5.6.5 Požadavky na MaR

Profese MaR zajistí:

- udržování požadované relativní vlhkosti v prostoru bazénové haly
- udržování požadované teploty přiváděného vzduchu v zimním období
- udržování požadované teploty přiváděného vzduchu v letním období
- signalizaci zanesení filtrů
- osazení teplotního čidla za rekuperátor
- měření diference tlaku na rekuperátoru
- uzavírání a otevírání klapky při odstavení a spuštění zařízení
- ovládání klapky by-passu deskového rekuperátoru
- snímání namrzání deskového rekuperátoru
- poruchová signalizace

## **5.7 Pokyny pro obsluhu, údržbu, bezpečnost práce, zkoušky**

Vzhledem k charakteru zařízení je nutno provádět pravidelnou údržbu zařízení. Před zahájením provozu musí být prověřeno, že zařízení bylo namontováno bez nečistot, prachu a zbytků stavebního materiálu.

Montáž vzduchotechnických zařízení smí provádět jen a pouze odborná firma a musí postupovat podle montážních návodů jednotlivých výrobců. Před uvedením jednotek do plného provozu je nutné provést provozní zkoušky. Obsluhovat VZT zařízení smí jen kvalifikované osoby. VZT zařízení musí být pravidelně kontrolováno a čištěno v souladu s provozním řádem údržby.

## **5.8 Vliv na životní prostředí**

VZT zařízení nemají žádný negativní vliv na životní prostředí.

## **5.9 Závěr**

Navržená VZT zařízení zajistí v daných místnostech optimální mikroklima prostředí. Zařízení zajistí požadovanou výměnu vzduchu a splní hygienické limity hluku ve výše popsaném objektu.

## 6 ZÁVĚR

Závěrem mohu konstatovat, že práce mi dovolila nahlédnout do technologie, která má podle mého názoru do budoucna velmi zásadní význam v oblasti filtrace. V práci jsem shrnul teorii filtrace, která je velmi důležitou součástí pochopení celého principu odlučování nežádoucích částic ze vzduchu. Neméně důležitou část zatřídění filtrů jsem popsal jak aktuální normou, tak i normou starší. Ukázalo se, že nová klasifikace dává větší přehlednost v rozmanitosti filtrů. Investor i projektant v dnešní době může s přehledem navrhnout nebo pořídit ten pravý filtr pro daný vzduchotechnický systém.

V experimentální části jsem velmi rád za možnost nahlédnout do problematiky nanotechnologie. Nedílnou částí experimentu bylo porovnání nanofiltrů a jejich konstrukce s předešlým měřením. Tyto data jsem upravil a zatřídil podle nové normy, tímto se staly přehlednějšími. Mohu konstatovat, že v oblasti HEPA filtrů je třeba ještě zapracovat na filtračním materiálu, ale velmi mně nadchla inovativní konstrukce do kartuše. Jsem si jist nutností dalšího vývoje v této oblasti pro dosažení třídy filtrace HEPA.

V závěru jsem se zabýval tématem odvlhčení bazénové haly. V práci jsem usiloval o navržení a porovnání tří variant, přičemž jsem vzal pod úvahu jak ekologickou, tak ekonomickou stránku. Výstupem porovnání bylo vyhodnocení a nalezení té nejlepší varianty.

Varianta bazénové jednoty vyšla nejlépe pro všechna kritéria jako jsou, požadované odvlhčení, ekonomický provoz, ekologický dopad na životní prostředí. Porovnání ukázalo důležitost bilance prvotní investice a následné ceny provozu.

K mé spokojenosti jsem mohl pracovat na zcela nových věcech, které jsem měl možnost poznat nejen z hlediska teorie, ale také z praktické stránky věci. Musím poděkovat hlavně mému vedoucímu, který mně vedl k poznání a měl vždy pochopení.

## 7 POUŽITÉ ZDROJE

### *Literatura*

1. HIRŠ J.; GEBAUER G. *Vzduchotechnika v příkladech - 1.*  
První vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM®, s.r.o., 2006. ISBN: 80-7204-486-9
2. GEBAUER G.; RUBINOVÁ O.; HORKÁ H. *Vzduchotechnika.*  
Brno: Vydavatelství Era, 2007.
3. Chyský, J.; Hemzal, K.; et al. *Větrání a klimatizace.*  
BOLIT - B: Brno, 1993. ISBN 80-901574-0-8
4. SZÉKYOVÁ M. *Větrání a klimatizace.*  
Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 80-8076-037-3.
5. *Větrání a klimatizace.*  
3., zcela přeprac. vyd. Brno: BOLIT-B Press, 1993. ISBN 80-901574-0-8.
6. POSPÍŠILOVÁ, Lucie. *VZDUCHOTECHNIKA KNIHOVNY.* BRNO, 2018. DIPLOMOVÁ PRÁCE. Vysoké učení technické v Brně (VUT). Vedoucí práce Ing. PETR BLASINSKI, Ph.D.
7. BOSÁK, Jan. *TEORETICKÉ VYUŽITÍ NANOTECHNOLOGIE PRO FILTRACI VE VZDUCHOTECHNICE.* BRNO, 2016. DIPLOMOVÁ PRÁCE. Vysoké učení technické v Brně (VUT). Vedoucí práce Doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

### *Zákony, vyhlášky, normy směrnice*

1. ČSN EN 12831 – *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*
  2. ČSN 730548 – *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*
  3. ČSN 127010 – *Navrhování větracích a klimatizačních zařízení*
  4. ČSN 730872 – *Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením*
  5. ČSN 730802 – *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*
  6. ČSN 013454 – *Výkresy vzduchotechnických zařízení*
  7. ČSN 779 - *Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic pro všeobecné větrání – Stanovení filtračních parametrů.*
  8. ČSN 16890 – *Vzduchové filtry pro všeobecné větrání*
1. Vyhláška č. 6/2003 Sb., *kteou se Estanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb.*
  2. Nařízení vlády č. 93/2012 Sb., *kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.*
  3. Nařízení vlády č. 272/2011Sb. *O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.*
  4. Vyhláška č. 499/2006 Sb. *O dokumentaci staveb ve změně 63/2012 Sb.*

### *Elektronické zdroje*

1. Technika budov s.r.o. *Teruna Ver. 1.5b*, Počítačový program pro simulace tepelných zátěží, odparu, výpočty kondenzace v potrubí a výpočty bazénových jednotek.
2. REMAK a.s. *AeroCAD Ver.6.2.18*, Počítačový program pro návrh VZT jednotek.

3. TZB-info. *Filtrace atmosférického vzduchu I.* [online]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/5815-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-i>
4. TZB-info. *Filtrace atmosférického vzduchu II.* [online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5843-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-ii>
5. TZB-info. *Filtrace atmosférického vzduchu III..* [online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5843-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-iii>
6. Robatherm *49 tříd filtrace místo 9 – norma ISO 16890 pro vzduchové filtry přehledně.* [online]. Dostupné z: [https://www.robatherm.com/de/system/files/robatherm\\_ISO16890\\_cze.pdf](https://www.robatherm.com/de/system/files/robatherm_ISO16890_cze.pdf)
7. TZB-info *Výpočtová pomůcka EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC (II)* [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>
8. *TZB-info Modelování fyzikálních jevů 2 - VZT jednotka a spotřeba energie na odvlhčování* [online]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/8113-modelovani-fyzikalnich-jevu-2-vzt-jednotka-a-spotreba-energie-na-odvlhcovani>
9. Asio s.r.o. *NANOVLÁKENNÉ MEMBRÁNY PRO FILTRACI VZDUCHU A KAPALIN* [online]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/nanovlakenne-membrany-pro-filtraci-vzduchu>
10. Klimatizace.net *Ovlhčovač – D850E* [online]. Dostupné z <http://www.klimatizace.net/pic/amcor-d-850-elektron-navod.pdf>
11. Český hydrometeorologický ústav *Roční průměrné koncentrace PM<sub>2,5</sub>* [online]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/png/o04\\_1\\_02.png](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/png/o04_1_02.png)
12. *Mechanismy filtrace – vzduchové filtry. 1FILTER* [online]. Dostupné z: <http://1filter.cz/cz/uzitecne-informace/filtrace/mechanismy-filtrace.html>
13. *Proces filtrace vzduchu. 1FILTER* [online]. Dostupné z: <http://1filter.cz/cz/uzitecne-informace/filtrace/proces-filtrace-vzduchu.html>
14. Nanopharma - *Technologie.* [online]. Dostupné z <http://www.nanopharma.cz/cs/produkty-a-technologie/technologie>

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

### *Zkratky*

VZT – vzduchotechnika

MaR – měření a regulace

G – filtry pro hrubý prach

F – filtry pro jemný prach

H, U – filtry pro mikročástice

HEPA – High Efficiency Penetration Air

ULPA – Ultra Low Penetration Air

DEHS – DiEthylHexylSebacate

OPC – optický počítáč částic

TZB – technický zařízení budov

ZZT – zpětné získávání tepla

VDI - Verein Deutscher Ingenieure (Sdružení německých inženýrů)

COP - topný faktor tepelného čerpadla (Coefficient of performance)

EER - chladicí faktor tepelného čerpadla (Energy efficiency ratio)

### *Fyzikální veličiny*

c – koncentrace [ppm]

m – hmotnost [kg]

n – násobnost výměny vzduchu [ $h^{-1}$ ]

S – plocha [ $m^2$ ]

t – čas [s], teplota [ $^{\circ}C$ ]

v – rychlost [m/s]

V – objemový průtok [ $m^3/h$ ]

$\varepsilon$  – efektivita [-]

P – hustota [ $kg/m^3$ ]

$\varphi$  – relativní vlhkost [%]

R – tepelný odpor konstrukce [ $m^2.K/W$ ]

p – tlak [Pa]



## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Seznamy obrázků tabulek a grafů se generují automaticky podle titulků v textu.

### **Obrázky**

Obrázek 1 - Schéma principu elektrostatického zvlákňování [14] .....	17
Obrázek 2 - Snímek ze skenovacího mikroskopu [14] .....	18
Obrázek 3 - Porovnání vlasu a nanovlákná [14] .....	18
Obrázek 4 - Roční průměrné koncentrace PM <sub>2,5</sub> [11].....	20
Obrázek 5 - Principy filtrace [13].....	22
Obrázek 6 - Mechanismus gravitačního usazování [12].....	22
Obrázek 7 - Mechanismus molekulární difúze [12].....	23
Obrázek 8 - Mechanismus síta [12] .....	23
Obrázek 9 - Mechanismus zachycení (intecepce) [6] .....	24
Obrázek 10 - Mechanismus setrvačného nárazu (impakce) [12] .....	24
Obrázek 11 - Mechanismus chemické sorpce [12].....	25
Obrázek 12 - 2.6.2 Složení zkušební trati .....	27
Obrázek 13 - Zkušební trati v laboratoři [6] .....	28
Obrázek 14 - Vstup zkušební trati [6] .....	28
Obrázek 15 - Zkušební aerosol DEHS [6] .....	29
Obrázek 16 - Systém pro tvorbu aerosolu.....	30
Obrázek 17 - Měřič počtu částic [6] .....	31
Obrázek 18 - Kartušový HEPA filtr .....	32
Obrázek 19 - Upevnění kartušového filtru .....	32
Obrázek 20 - Kapsové nanofiltry [6].....	33
Obrázek 21 - mikroskopický snímek povrchu nanovláknenného filtru po filtraci vzduchu na farmě [9] .....	34
Obrázek 22 - SPURTEX MF mikrofiltrační materiál [6] .....	34
Obrázek 23 - Stejnoseměrný EC ventilátor .....	37
Obrázek 24 - Digitální otáčkoměr CEM AT-6 .....	38
Obrázek 25 - Snímač interního tlakového senzoru Testo 435-4 .....	38
Obrázek 26 - Balometr Prohood PH 721 .....	39
Obrázek 27 - Měřič počtu částic FLUKE 985 .....	39
Obrázek 28 - Chéma trati .....	40
Obrázek 29 - Zapojení měřícího okruhu .....	41
Obrázek 30 - Měření průtoku vzduchu Balometrem .....	42
Obrázek 31 - Upevnění filtru do měřící trati .....	43
Obrázek 32 - HEPA filtr s nástavcem .....	43
Obrázek 33 - Naměřené hodnoty tlakové ztráty všech zkoušených filtrů .....	45
Obrázek 34 - Tlaková ztráta HEPA filtru 1 .....	45
Obrázek 35 - Tlaková ztráta HEPA filtru 2 .....	46
Obrázek 36 - Tlaková ztráta HEPA filtru 3 .....	46
Obrázek 37 - Porovnání HEPA filtru Nano filtru a běžného filtru jemné filtrace F9.....	47
Obrázek 38 - Odlučivost HEPA filtru .....	48

Obrázek 39 - Graf frakční odlučivosti HEPA filtru.....	49
Obrázek 40 - Odlučivost HEPA filtru v městském rozložení aerosolu .....	50
Obrázek 41 - Odlučivost HEPA filtru v venkovském rozložení aerosolu.....	50
Obrázek 42 - Porovnání podle frakční odlučivosti ePM1 .....	52
Obrázek 43 - Porovnání podle frakční odlučivosti ePM2,5 .....	53
Obrázek 44 - Porovnání podle frakční odlučivosti ePM10 .....	53
Obrázek 45 - Porovnání podle zachycení částic 0,5 $\mu$ m .....	54
Obrázek 46 - Porovnání všech filtrů .....	54
Obrázek 47 - Porovnání všech filtrů podle odlučivosti.....	55
Obrázek 48 - Schéma zadaného objektu .....	59
Obrázek 49 - Graf průběhu teplot během dne.....	61
Obrázek 50 - Graf průběhu tepelné zátěže během dne.....	62
Obrázek 51 - H-x diagram vzduchu .....	63
Obrázek 52 - Bazénová jednotka [2] .....	65
Obrázek 53 - VZT jednotka s řízeným odvlhčováním [2] .....	66
Obrázek 54 – Odvlhčovač [10].....	67
Obrázek 55 - Pracovní schéma odvlhčovače [10].....	67
Obrázek 56 - Výběr kódu VBA .....	68
Obrázek 57 - Graf potřeby energie v plném provozu.....	69
Obrázek 58 - Graf potřeby energie v tlumeném provozu .....	70
Obrázek 59 - Potřeba tepla za rok.....	71
Obrázek 60 - Cena provozu jednotek.....	72
Obrázek 61 - Cena provozu v průběhu jednotlivých měsíců.....	73
Obrázek 62 - Celková cena provozu za rok.....	73
Obrázek 63 - Cena investice .....	74
Obrázek 64 - Poměr nákladů na pořízení a provoz bazénové jednotky.....	74
Obrázek 65 - Poměr nákladů na pořízení a provoz jednotky s řízeným odvlhčením .....	75
Obrázek 66 - Poměr nákladů na pořízení a provoz Standartní jednotky a odvlhčovače.....	75
Obrázek 67 - Celková cena provozu a pořízení za dobu životnosti .....	76
Obrázek 68 - Potřeba energií.....	77
Obrázek 69 - Produkce CO <sub>2</sub> .....	77

## **Tabulky**

Tabulka 1 - Klasifikace ČSN 16890 .....	21
Tabulka 2 - Tabulka rozřídění [6] .....	21
Tabulka 3 - Tabulka vzorků .....	39
Tabulka 4 - Naměřené hodnoty .....	44
Tabulka 5 - Frakční odlučivost HEPA filtru .....	49
Tabulka 6 - Zatřídění kapsových filtrů .....	51
Tabulka 7 - Tepelné ztráty prostupem bazén .....	60
Tabulka 8 - Klimatické podmínky .....	79

## **PŘÍLOHY**

**A Výkresy**

**B Naměřené hodnoty kapsových filtrů**

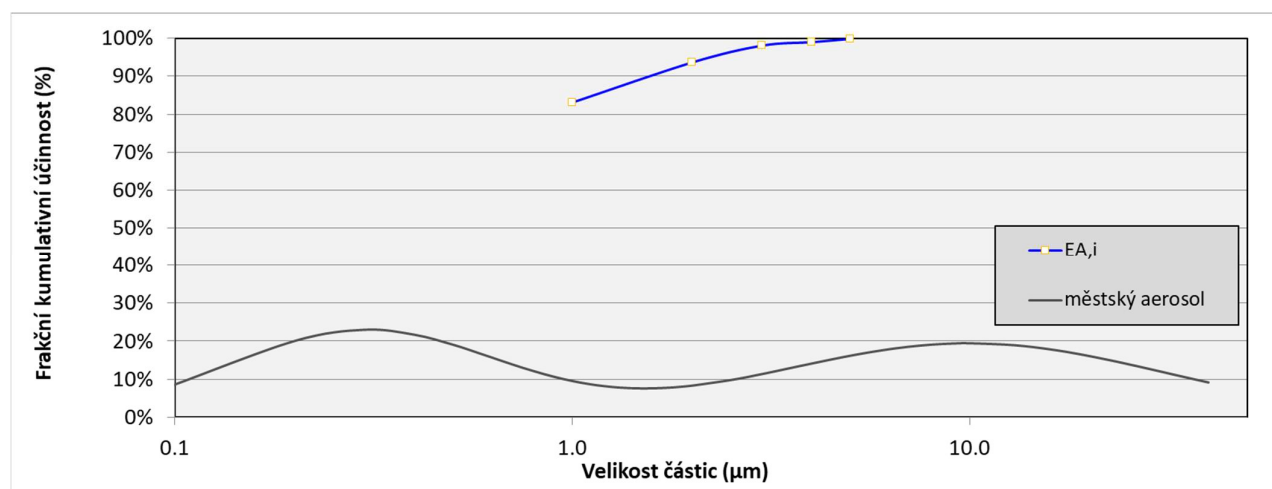
**C Výstup z programu AeroCad**

## B - Naměřené hodnoty kapsových filtrů

Naměřená data										Počáteční frakční účinnost Ei										akční účinnost velikostního intervalu částic Eii									
č. měření	název filtru	tlak před	tlak po	hmotnost před	hmotnost po	počet vstupů	Sample t	Vol. (l)	0.3um	0.5um	1.0um	2.0um	5.0um	10.0um	0.3um	0.5um	1.0um	2.0um	5.0um	10.0um									
0	VSTUP:			347	341	5	0.0005208	2.1							55980	30218	20723	16314	8681	5439									
1	F9 - 287x287x360/4 kapsy - materiál SpurTex ST - 41 (nanofiltr) ultrazvuk - spole	116	117	554	530	20	0:02:00	5.66							25619	5226	1092	453	44	5									
2	F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 31 (nanofiltr) ultrazvuk - spole	111	114	580	554	20	0:02:00	5.66							36966	8288	1975	887	78	11									
3	F9 - 287x287x360/5 kapses - materiál SpurTex ST - 51 (nanofiltr)	123	125	458	441	20	0:02:00	5.66							25951	7481	2228	915	72	12									
4	F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 41 (nanofiltr)	121	123	483	460	20	0:02:00	5.66							27573	7241	1986	848	81	12									
5	F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 31 (nanofiltr)	118	122	506	483	20	0:02:00	5.66							31671	7957	1923	739	57	6									
6	F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 32 (nanofiltr)	105	108	468	347	110	00:03:00	8.5							89522	14207	3430	1240	61	12									
7	F9 - 287x287x360/2 kapsy - materiál SpurTex ST - 21 (nanofiltr)	117	121	530	506	20	0:02:00	5.66							45600	12587	3812	1729	150	19									
8	F9 - 287x287x360/2 kapsy - materiál SpurTex ST - 22 (nanofiltr)	115	119	595	521	70	00:05:00	14.16							152428	20508	4776	1754	121	28									
9	F9 - 287x287x360/5 kapses - standartní materiál od Ekofiltru	113	117	369	348	20	0:02:00	5.66							54913	19686	5819	2013	38	9									
10	F9 - 287x287x360/4 kapsy - standartní materiál od Ekofiltru	114	115	395	369	20	0:02:00	5.66							61995	21086	6013	2140	72	9									
11	F9 - 287x287x360/3 kapsy - standartní materiál od Ekofiltru	118	120	418	395	20	0:02:00	5.66							76255	24284	6314	2208	71	9									
12	F9 - 287x287x360/2 kapsy - standartní materiál od Ekofiltru	121	123	440	418	20	0:02:00	5.66							73169	22392	5761	2019	63	6									
13	F9 - 287x287x360/2 kapsy - SpurTex SNS zeleny	120	125	622	595	20	00:03:00	8.5							105749	14426	3657	1429	125	36									
14	F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 41 (nanofiltr) zeleny	113	114	348	328	20	0:02:00	5.66							45114	15558	4200	1427	65	2									
15	HEPA						0:02:00	5.66							15796	12966	2283	2306	343	101									

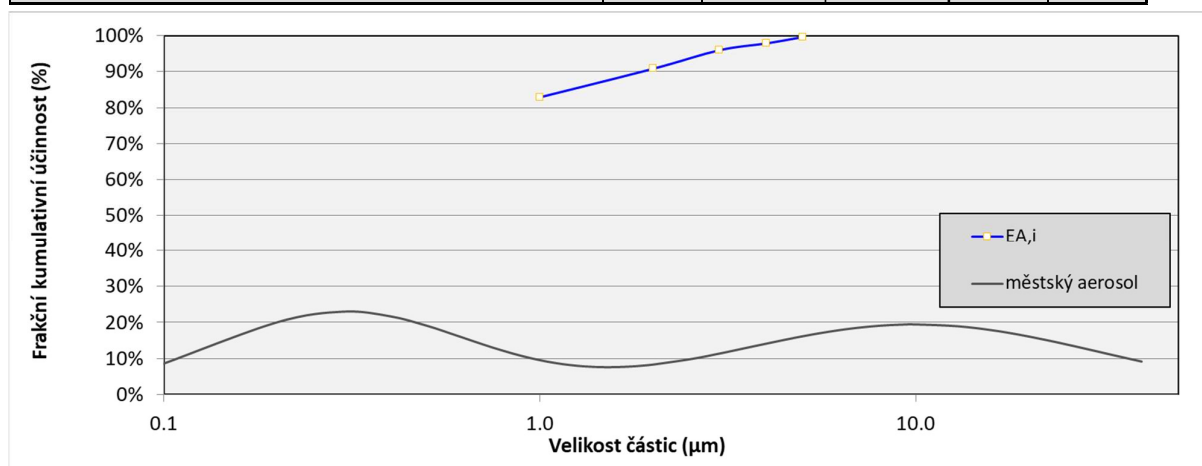
F9 - 287x287x360/4 kapsy - materiál SpurTex ST - 41 (nanofiltr) ultrazvuk – spoje

Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{D_i} \cdot q_{3u} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i} \cdot q_{3u} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	83.0%	21.917%	0.111960	0.092950	0.092950	<b>88%</b>	<b>88%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	93.6%	13.856%	0.096044	0.089881	0.089881		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.182831</b>	<b>0.182831</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{D_i} \cdot q_{3u} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i} \cdot q_{3u} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	83.0%	21.917%	0.111960	0.092950	0.092950	<b>93%</b>	<b>93%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	93.6%	13.856%	0.096044	0.089881	0.089881		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	98.0%	7.644%	0.052985	0.051949	0.051949		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	99.0%	11.819%	0.108295	0.107179	0.107179		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.341959</b>	<b>0.341959</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3r}$	$q_{3r} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{D_i} \cdot q_{3r} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i} \cdot q_{3r} \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_{10})$	$E(PM_{10})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	83.0%	9.088%	0.046422		0.038540	<b>97%</b>	
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	93.6%	7.143%	0.049511		0.046334		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	98.0%	8.710%	0.060372		0.059192		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	99.0%	15.801%	0.144785		0.143294		
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.8%	22.430%	0.155472		0.155180		
Sums:						<b>0.456563</b>		<b>0.442539</b>		



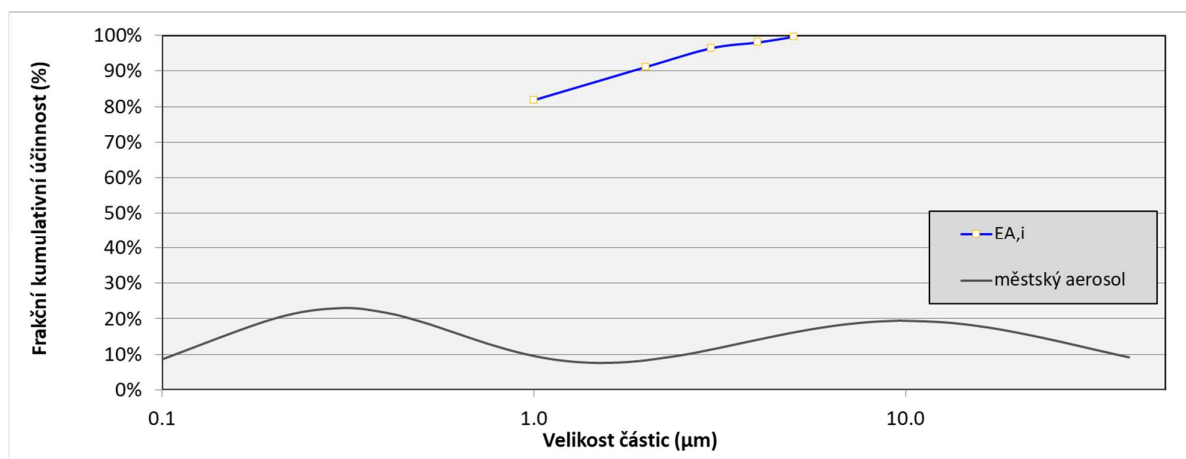
F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 31 (nanofiltr) ultrazvuk - spoje

Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D_i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	82.8%	21.917%	0.111960	0.092703	0.092703	<b>87%</b>	<b>87%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	90.8%	13.856%	0.096044	0.087222	0.087222		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.179925</b>	<b>0.179925</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D_i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	82.8%	21.917%	0.111960	0.092703	0.092703	<b>91%</b>	<b>91%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	90.8%	13.856%	0.096044	0.087222	0.087222		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	96.0%	7.644%	0.052985	0.050872	0.050872		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	97.9%	11.819%	0.108295	0.106041	0.106041		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.336838</b>	<b>0.336838</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$		$E_{\lambda, i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$		$E(PM_{10})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	82.8%	9.088%	0.046422		0.038438	<b>96%</b>	
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	90.8%	7.143%	0.049511		0.044963		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	96.0%	8.710%	0.060372		0.057964		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	97.9%	15.801%	0.144785		0.141772		
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.7%	22.430%	0.155472		0.154994		
Sums:						<b>0.456563</b>		<b>0.438131</b>		



F9 - 287x287x360/5 kapes - materiál SpurTex ST - 51 (nanofiltr)

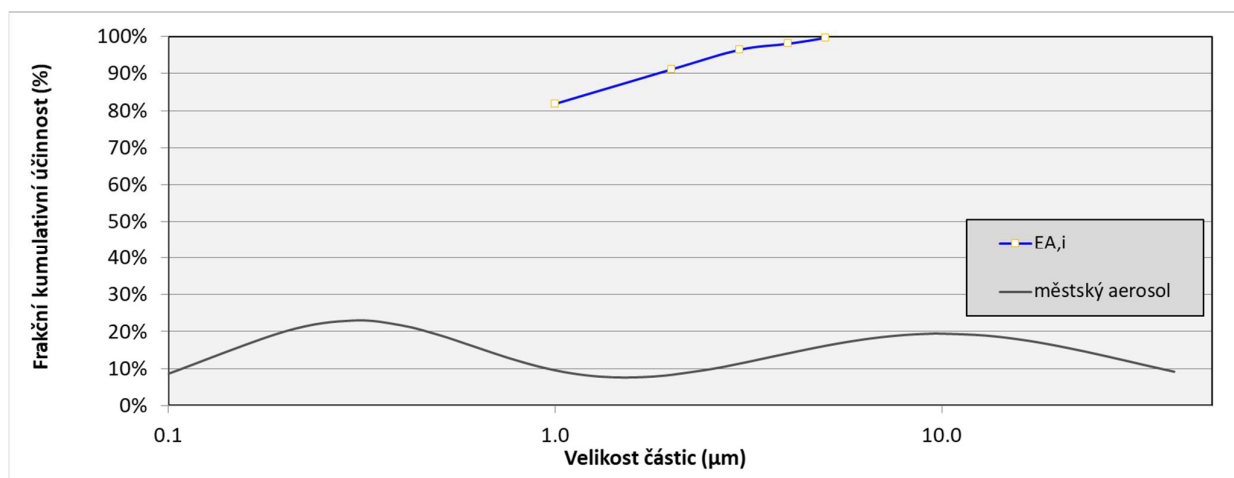
Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	81.7%	21.917%	0.111960	0.091500	0.091500	<b>86%</b>	<b>86%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	91.1%	13.856%	0.096044	0.087505	0.087505		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.179005</b>	<b>0.179005</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	81.7%	21.917%	0.111960	0.091500	0.091500	<b>91%</b>	<b>91%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	91.1%	13.856%	0.096044	0.087505	0.087505		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	96.4%	7.644%	0.052985	0.051101	0.051101		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	98.1%	11.819%	0.108295	0.106206	0.106206		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.336312</b>	<b>0.336312</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E(PM_{10})$		
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	81.7%	9.088%	0.046422	0.037939	<b>96%</b>		
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	91.1%	7.143%	0.049511	0.045109			
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	96.4%	8.710%	0.060372	0.058226			
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	98.1%	15.801%	0.144785	0.141993			
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.7%	22.430%	0.155472	0.154934			
Sums:						<b>0.456563</b>	<b>0.438200</b>			





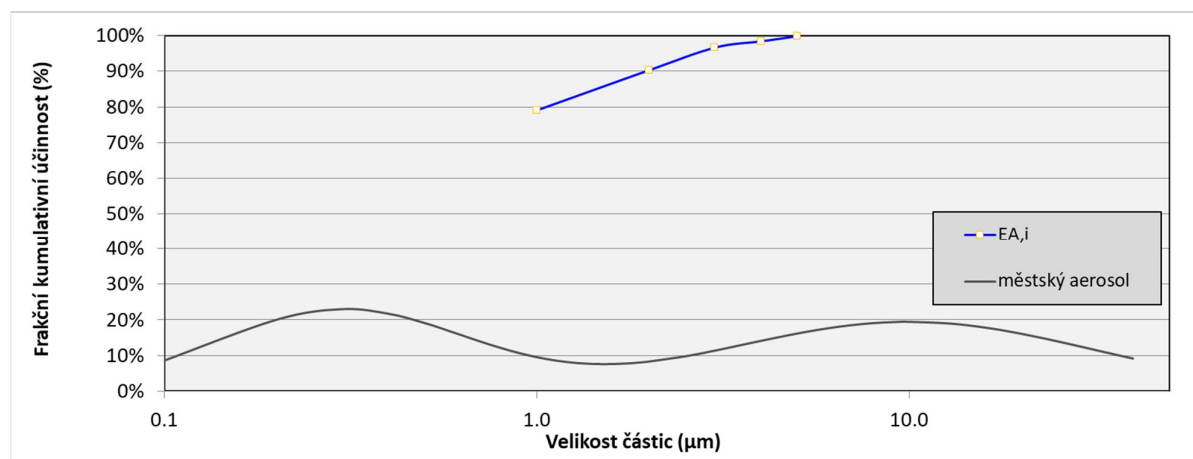
F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 41 (nanofiltr)

Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D_i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	81.7%	21.917%	0.111960	0.091500	0.091500	<b>86%</b>	<b>86%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	91.1%	13.856%	0.096044	0.087505	0.087505		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.179005</b>	<b>0.179005</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D_i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	81.7%	21.917%	0.111960	0.091500	0.091500	<b>91%</b>	<b>91%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	91.1%	13.856%	0.096044	0.087505	0.087505		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	96.4%	7.644%	0.052985	0.051101	0.051101		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	98.1%	11.819%	0.108295	0.106206	0.106206		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.336312</b>	<b>0.336312</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D_i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_{10})$	$E(PM_{10})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	81.7%	9.088%	0.046422		0.037939	<b>96%</b>	<b>96%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	91.1%	7.143%	0.049511		0.045109		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	96.4%	8.710%	0.060372		0.058226		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	98.1%	15.801%	0.144785		0.141993		
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.7%	22.430%	0.155472		0.154934		
Sums:						<b>0.456563</b>		<b>0.438200</b>		



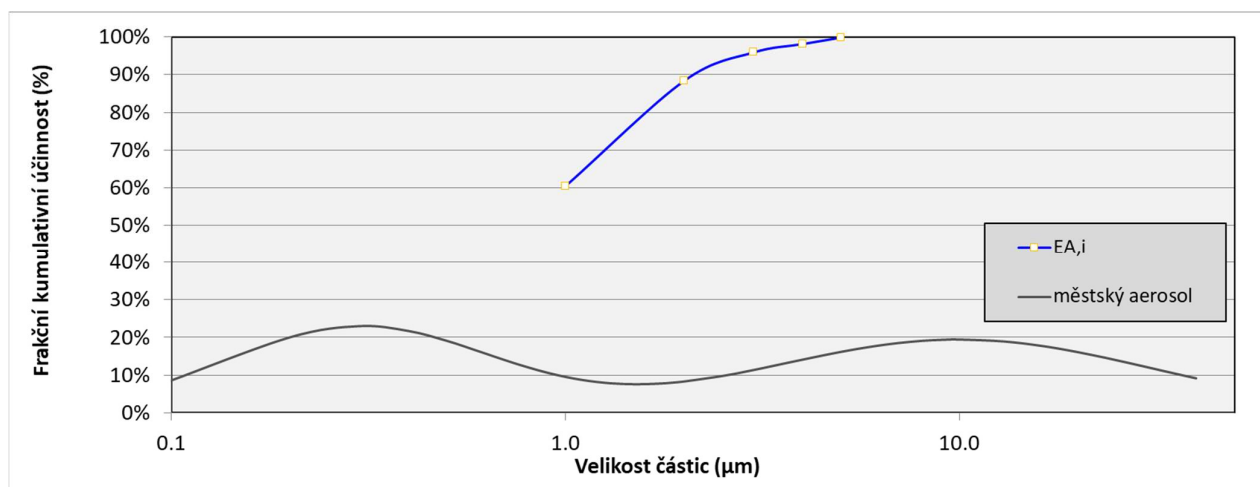
F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 31 (nanofiltr)

Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	79.0%	21.917%	0.111960	0.088459	0.088459	<b>84%</b>	<b>84%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	90.2%	13.856%	0.096044	0.086661	0.086661		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.175119</b>	<b>0.175119</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	79.0%	21.917%	0.111960	0.088459	0.088459	<b>90%</b>	<b>90%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	90.2%	13.856%	0.096044	0.086661	0.086661		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	96.6%	7.644%	0.052985	0.051161	0.051161		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	98.3%	11.819%	0.108295	0.106475	0.106475		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.332755</b>	<b>0.332755</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E(PM_{10})$		
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	79.0%	9.088%	0.046422	0.036678	<b>96%</b>		
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	90.2%	7.143%	0.049511	0.044673			
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	96.6%	8.710%	0.060372	0.058294			
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	98.3%	15.801%	0.144785	0.142352			
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.8%	22.430%	0.155472	0.155094			
Sums:						<b>0.456563</b>	<b>0.437091</b>			



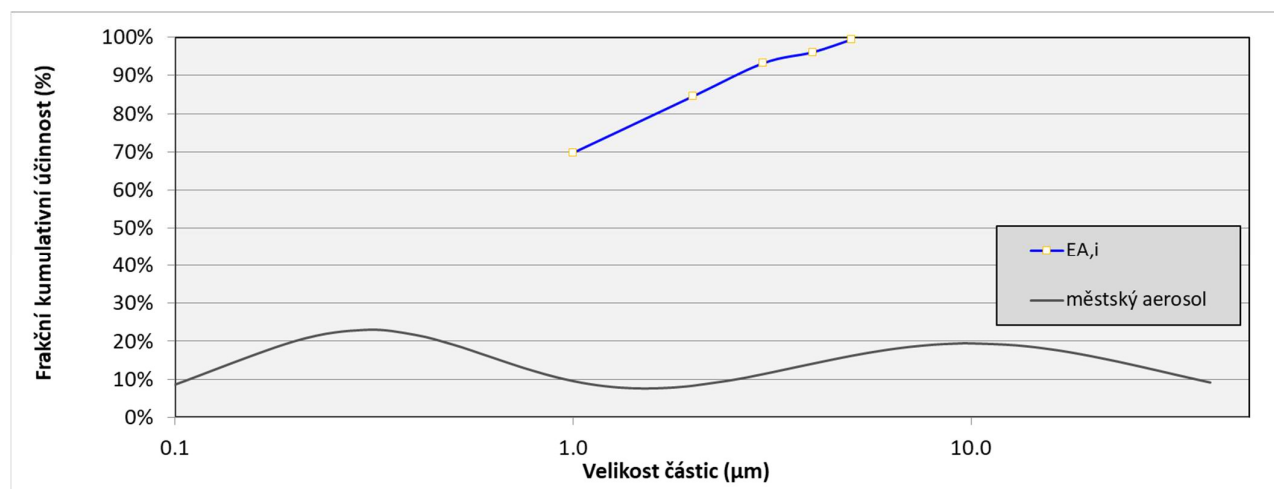
F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 32 (nanofiltr)

Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	60.5%	21.917%	0.111960	0.067726	0.067726	<b>73%</b>	<b>73%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	88.4%	13.856%	0.096044	0.084888	0.084888		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.152614</b>	<b>0.152614</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	60.5%	21.917%	0.111960	0.067726	0.067726	<b>84%</b>	<b>84%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	88.4%	13.856%	0.096044	0.084888	0.084888		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	95.9%	7.644%	0.052985	0.050819	0.050819		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	98.1%	11.819%	0.108295	0.106261	0.106261		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.309693</b>	<b>0.309693</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E(PM_{10})$		
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	60.5%	9.088%	0.046422	0.028081	<b>94%</b>		
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	88.4%	7.143%	0.049511	0.043760			
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	95.9%	8.710%	0.060372	0.057904			
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	98.1%	15.801%	0.144785	0.142066			
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.8%	22.430%	0.155472	0.155202			
Sums:						<b>0.456563</b>	<b>0.427013</b>			



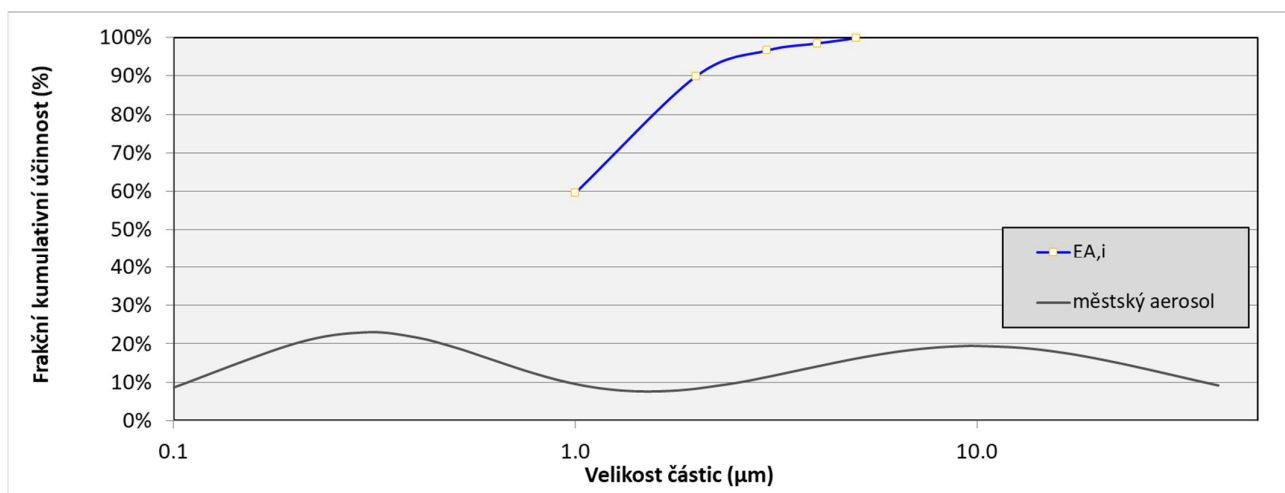
F9 - 287x287x360/2 kapsy - materiál SpurTex ST - 21 (nanofiltr)

Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	69.8%	21.917%	0.111960	0.078123	0.078123	<b>77%</b>	<b>77%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	84.5%	13.856%	0.096044	0.081201	0.081201		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.159323</b>	<b>0.159323</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	69.8%	21.917%	0.111960	0.078123	0.078123	<b>85%</b>	<b>85%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	84.5%	13.856%	0.096044	0.081201	0.081201		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	93.2%	7.644%	0.052985	0.049369	0.049369		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	96.1%	11.819%	0.108295	0.104036	0.104036		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.312729</b>	<b>0.312729</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$		$E_{A,i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$		$E(PM_{10})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	69.8%	9.088%	0.046422		0.032392	<b>93%</b>	
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	84.5%	7.143%	0.049511		0.041859		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	93.2%	8.710%	0.060372		0.056252		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	96.1%	15.801%	0.144785		0.139092		
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.4%	22.430%	0.155472		0.154476		
Sums:						<b>0.456563</b>		<b>0.424071</b>		



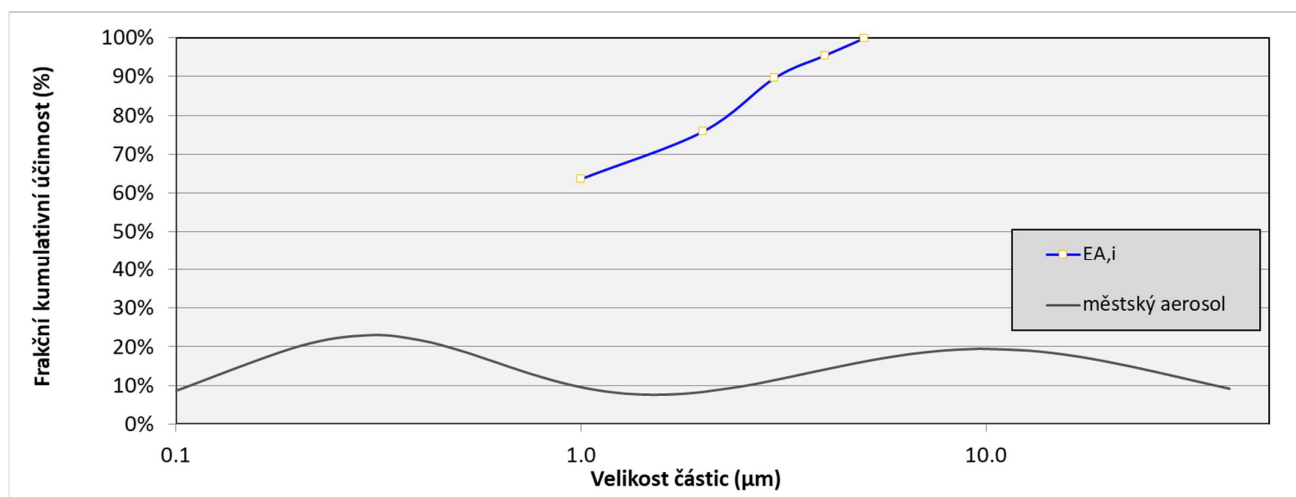
F9 - 287x287x360/2 kapsy - materiál SpurTex ST - 22 (nanofiltr)

Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	59.6%	21.917%	0.111960	0.066748	0.066748	<b>74%</b>	<b>74%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	89.9%	13.856%	0.096044	0.086377	0.086377		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.153126</b>	<b>0.153126</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	59.6%	21.917%	0.111960	0.066748	0.066748	<b>84%</b>	<b>84%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	89.9%	13.856%	0.096044	0.086377	0.086377		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	96.6%	7.644%	0.052985	0.051174	0.051174		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	98.4%	11.819%	0.108295	0.106568	0.106568		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.310868</b>	<b>0.310868</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E(PM_{10})$		
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	59.6%	9.088%	0.046422	0.027676	<b>94%</b>		
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	89.9%	7.143%	0.049511	0.044527			
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	96.6%	8.710%	0.060372	0.058309			
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	98.4%	15.801%	0.144785	0.142477			
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.8%	22.430%	0.155472	0.155151			
Sums:						<b>0.456563</b>	<b>0.428140</b>			



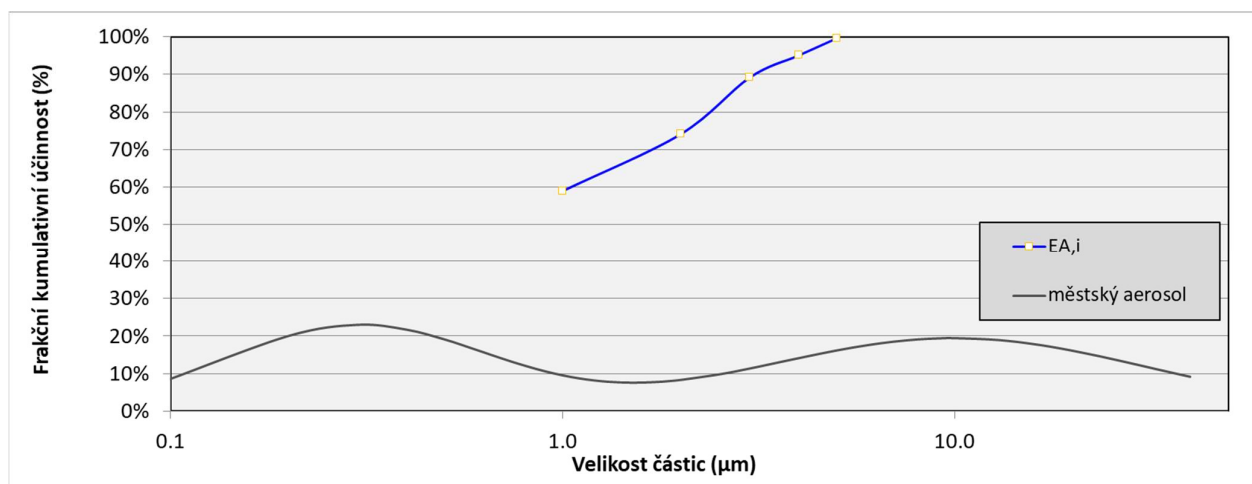
F9 - 287x287x360/5 kapes - standartní materiál od Ekofiltru

Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	63.6%	21.917%	0.111960	0.071212	0.071212	<b>69%</b>	<b>69%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	75.8%	13.856%	0.096044	0.072829	0.072829		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.144041</b>	<b>0.144041</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	63.6%	21.917%	0.111960	0.071212	0.071212	<b>80%</b>	<b>80%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	75.8%	13.856%	0.096044	0.072829	0.072829		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	89.6%	7.644%	0.052985	0.047465	0.047465		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	95.4%	11.819%	0.108295	0.103337	0.103337		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.294843</b>	<b>0.294843</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E(PM_{10})$		
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	63.6%	9.088%	0.046422	0.029527	<b>91%</b>		
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	75.8%	7.143%	0.049511	0.037543			
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	89.6%	8.710%	0.060372	0.054083			
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	95.4%	15.801%	0.144785	0.138157			
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.8%	22.430%	0.155472	0.155220			
Sums:						<b>0.456563</b>	<b>0.414529</b>			



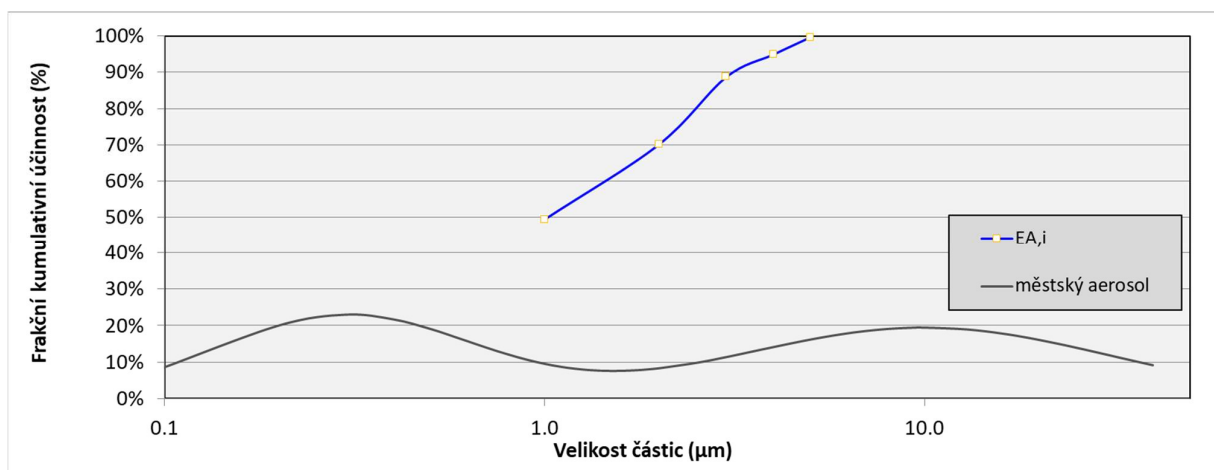
F9 - 287x287x360/4 kapsy - standartní materiál od Ekofiltru

Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	58.9%	21.917%	0.111960	0.065957	0.065957	<b>66%</b>	<b>66%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	74.1%	13.856%	0.096044	0.071178	0.071178		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.137135</b>	<b>0.137135</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	58.9%	21.917%	0.111960	0.065957	0.065957	<b>78%</b>	<b>78%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	74.1%	13.856%	0.096044	0.071178	0.071178		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	89.2%	7.644%	0.052985	0.047281	0.047281		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	95.1%	11.819%	0.108295	0.103024	0.103024		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.287440</b>	<b>0.287440</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E(PM_{10})$		
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	58.9%	9.088%	0.046422	0.027348	<b>90%</b>		
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	74.1%	7.143%	0.049511	0.036692			
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	89.2%	8.710%	0.060372	0.053873			
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	95.1%	15.801%	0.144785	0.137739			
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.7%	22.430%	0.155472	0.154994			
Sums:						<b>0.456563</b>	<b>0.410645</b>			



F9 - 287x287x360/3 kapsy - standartní materiál od Ekofiltru

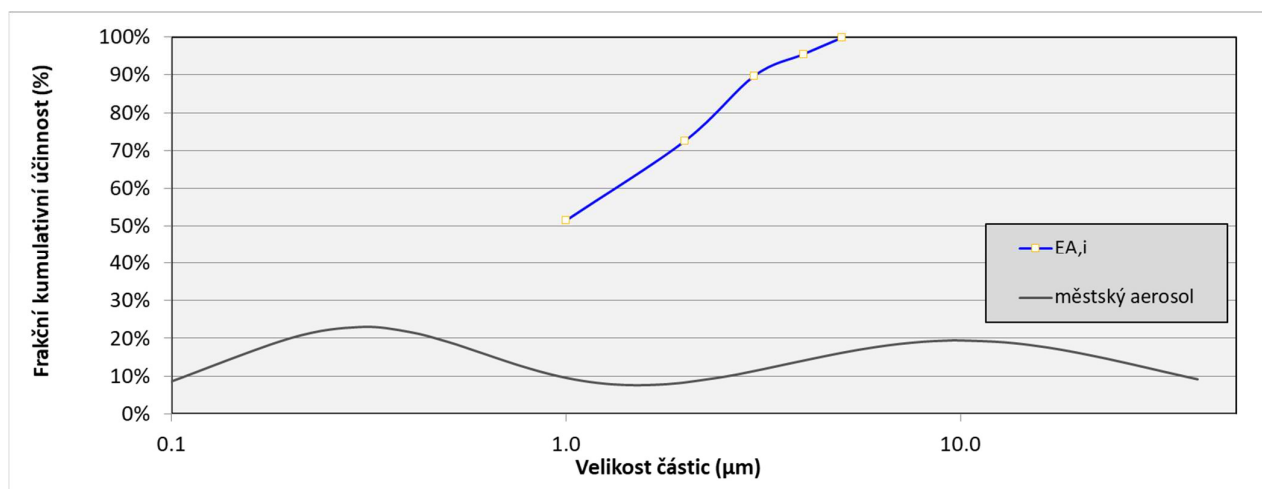
Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	49.5%	21.917%	0.111960	0.055375	0.055375	<b>59%</b>	<b>59%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	70.2%	13.856%	0.096044	0.067407	0.067407		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.122782</b>	<b>0.122782</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	49.5%	21.917%	0.111960	0.055375	0.055375	<b>74%</b>	<b>74%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	70.2%	13.856%	0.096044	0.067407	0.067407		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	88.7%	7.644%	0.052985	0.046995	0.046995		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	95.0%	11.819%	0.108295	0.102856	0.102856		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.272634</b>	<b>0.272634</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E(PM_{10})$		
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	49.5%	9.088%	0.046422	0.022960	<b>88%</b>		
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	70.2%	7.143%	0.049511	0.034748			
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	88.7%	8.710%	0.060372	0.053547			
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	95.0%	15.801%	0.144785	0.137515			
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.7%	22.430%	0.155472	0.155001			
Sums:						<b>0.456563</b>	<b>0.403771</b>			





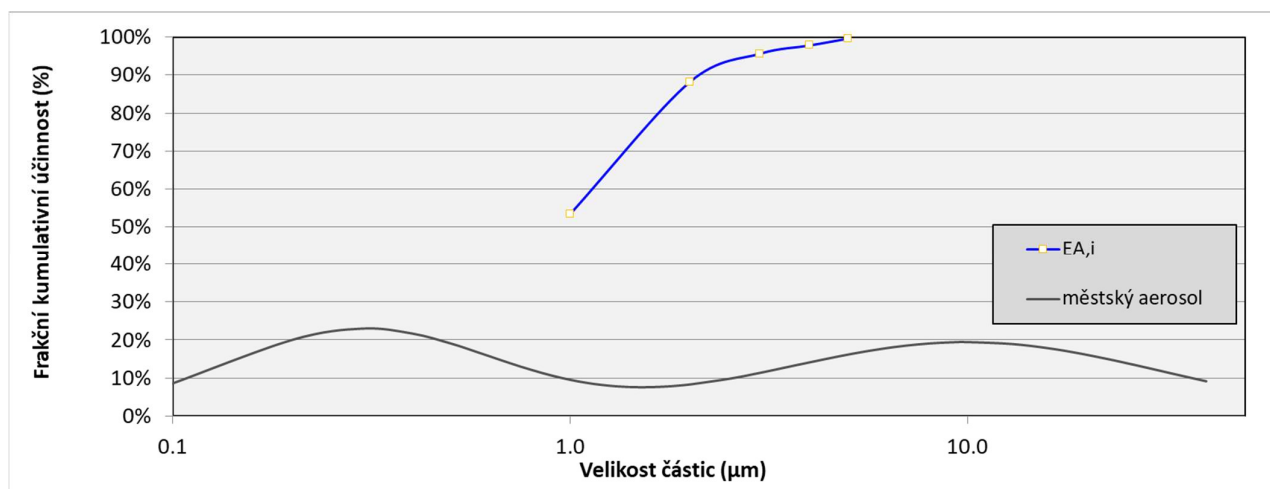
F9 - 287x287x360/2 kapsy - standartní materiál od Ekofiltru

Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	51.5%	21.917%	0.111960	0.057665	0.057665	<b>61%</b>	<b>61%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	72.5%	13.856%	0.096044	0.069638	0.069638		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.127303</b>	<b>0.127303</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	51.5%	21.917%	0.111960	0.057665	0.057665	<b>75%</b>	<b>75%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	72.5%	13.856%	0.096044	0.069638	0.069638		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	89.7%	7.644%	0.052985	0.047520	0.047520		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	95.4%	11.819%	0.108295	0.103322	0.103322		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.278145</b>	<b>0.278145</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\Lambda, i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E(PM_{10})$		
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	51.5%	9.088%	0.046422	0.023910	<b>89%</b>		
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	72.5%	7.143%	0.049511	0.035898			
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	89.7%	8.710%	0.060372	0.054145			
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	95.4%	15.801%	0.144785	0.138137			
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.7%	22.430%	0.155472	0.155054			
Sums:						<b>0.456563</b>	<b>0.407144</b>			



F9 - 287x287x360/2 kapsy - SpurTex SNS zelený

Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	53.3%	21.917%	0.111960	0.059708	0.059708	<b>69%</b>	<b>69%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	88.2%	13.856%	0.096044	0.084716	0.084716		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.144424</b>	<b>0.144424</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	53.3%	21.917%	0.111960	0.059708	0.059708	<b>82%</b>	<b>82%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	88.2%	13.856%	0.096044	0.084716	0.084716		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	95.6%	7.644%	0.052985	0.050675	0.050675		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	97.8%	11.819%	0.108295	0.105951	0.105951		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.301050</b>	<b>0.301050</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{A,i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D,i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{A,i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_{10})$	$E(PM_{10})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	53.3%	9.088%	0.046422		0.024757	<b>93%</b>	
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	88.2%	7.143%	0.049511		0.043671		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	95.6%	8.710%	0.060372		0.057740		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	97.8%	15.801%	0.144785		0.141652		
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.6%	22.430%	0.155472		0.154919		
Sums:						<b>0.456563</b>		<b>0.422739</b>		



F9 - 287x287x360/3 kapsy - materiál SpurTex ST - 41 (nanofiltr) zelený

Výpočet účinnosti ePM <sub>1</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D_i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	70.1%	21.917%	0.111960	0.078483	0.078483	<b>75%</b>	<b>75%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	80.9%	13.856%	0.096044	0.077697	0.077697		
Sums:						<b>0.208004</b>	<b>0.156180</b>	<b>0.156180</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>2,5</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}$	$q_{3u}$	$q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{D_i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}^* q_{3u}^* \Delta \ln d_i$	$E_{min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	70.1%	21.917%	0.111960	0.078483	0.078483	<b>84%</b>	<b>84%</b>
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	80.9%	13.856%	0.096044	0.077697	0.077697		
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	92.5%	7.644%	0.052985	0.049001	0.049001		
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	96.8%	11.819%	0.108295	0.104780	0.104780		
Sums:						<b>0.369284</b>	<b>0.309961</b>	<b>0.309961</b>		
Výpočet účinnosti ePM <sub>10</sub>										
$d_i$	$d_{i+1}$	$d_m$	$\Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}$	$q_{3r}$	$q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E_{\lambda, i}^* q_{3r}^* \Delta \ln d_i$	$E(PM_{10})$		
0.30	0.50	<b>0.39</b>	0.51	70.1%	9.088%	0.046422	0.032542	<b>93%</b>		
0.50	1.00	<b>0.71</b>	0.69	80.9%	7.143%	0.049511	0.040053			
1.00	2.00	<b>1.41</b>	0.69	92.5%	8.710%	0.060372	0.055833			
2.00	5.00	<b>3.16</b>	0.92	96.8%	15.801%	0.144785	0.140086			
5.00	10.00	<b>7.07</b>	0.69	99.7%	22.430%	0.155472	0.155040			
Sums:						<b>0.456563</b>	<b>0.423554</b>			

