

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## **PŘÍSTROJE A METODIKA TESTOVÁNÍ ČISTÝCH PROSTOR**

DEVICE AND METHODS FOR TESTING CLEAN ROOMS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**TOMÁŠ BOJANOVSKÝ**

**VEDOUČÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/10

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Bojanovský Tomáš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Přístroje a metodika testování čistých prostor**

v anglickém jazyce:

### **Device and methods for testing clean rooms**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehled metod měření čistých prostor. Základní typy přístrojů a přehled přístrojů na trhu.

Cíle bakalářské práce:

Úkolem je zmapovat metody měření čistých prostor. Popsat základní typy přístrojů. Udělat přehled přístrojů na trhu. Dospět k závěru, které přístroje jsou vhodné. Dospět k závěru, které přístroje jsou vhodné. Rozsah 15-30 stran.

Seznam odborné literatury:

- [1] White W., Cleanroom Technology. John Wiley&Son 2001.
- [2] Swarbrick J., Environmental Monitoring for Cleanrooms and Controlled Environments, Informa Healthcare USA, Inc. New York, 2007.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 3.11.2009



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

V úvodu práce jsou popsány základní informace o čistých prostorách, které ovlivňují způsoby měření a vyhodnocování těchto prostor. Dále je v práci podán přehled přístrojů, které se používají, při testování či kontrole zmíněných prostor. Jedná se především o zařízení pro měření koncentrace částic ve vzduchu, které v současné době vyrábí několik firem. Jako hlavní výrobce zmíněných přístrojů je uvedena firma Lighthouse Worldwide Solutions, od které jsou popsány jejich tři základní typy. V další kapitole je uveden přehled dalších společností zabývajících se touto technologií a popsány jejich výrobky. Jednotlivé přístroje jsou na závěr porovnány s ohledem na různé požadavky, které jsou na ně kladeny.

## **ABSTRACT**

In the introduction of the thesis there is described main information about clean rooms that influences the way of measurement and evaluation of these rooms. Then there is a summary of instruments that are used with testing and controlling mentioned rooms. It is primarily a case of device for measurement of concentration of particles in the air that are produced by several firms nowadays. Lighthouse Worldwide Solutions is mentioned as the main producer of these devices. Its three basic types are described in the work. In the next chapter there is the list of other firms occupying this technology and their products. Finally, particular instruments are compared with the regard of different requirements that are placed on them.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Čisté prostory, metody měření, přístroje, částice

## **KEYWORDS**

Clean rooms, methods of measurement, measuring instruments, particles

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BOJANOVSKÝ, T. *Přístroje a metodika testování čistých prostor*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 29s. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma přístroje a metodika testování čistých prostor vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

23. května 2010

.....

Tomáš Bojanovský

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Štětinovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ INFORMACE .....</b>	<b>11</b>
1.1 Definice čistého prostoru .....	11
1.2 Základní rozdělení.....	11
1.3 Normy u čistých prostor .....	11
<b>2 TESTOVÁNÍ VZDUCHOVÝCH FILTRŮ.....</b>	<b>13</b>
2.1 Generátory aerosolu .....	13
<b>3 MĚŘENÍ TLAKOVÝCH ROZDÍLŮ .....</b>	<b>14</b>
3.1 Měřidlo tlakových rozdílů - Magnehelic.....	14
<b>4 KONCENTRACE ČÁSTIC VE VZDUCHU.....</b>	<b>14</b>
4.1 Čítače částic ve vzduchu .....	15
4.2 Měření koncentrace částic .....	15
4.3 Zařízení pro monitorování částic ve vzduchu.....	16
<b>5 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ KONCENTRACE ČÁSTIC VE VZDUCHU OD FIRMY LIGHTHOUSE WORLDWIDE SOLUTIONS .....</b>	<b>17</b>
5.1 Ruční čítače částic.....	17
5.2 Přenosné čítače částic .....	18
5.3 Dálkově ovládané čítače částic.....	20
<b>6 DALŠÍ PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ ČÁSTIC DOSTUPNÉ NA TRHU .....</b>	<b>21</b>
6.1 Čítače od firmy PMI .....	21
6.2 Přístroje od firmy TSI .....	22
6.3 Zařízení od společnosti ENVltech .....	24
<b>7 VHODNOST A VÝBĚR PŘÍSTROJŮ.....</b>	<b>25</b>
7.1 Výběr podle typu měření.....	25
7.2 Výběr podle požadované třídy čistoty.....	26
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>27</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>28</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN .....</b>	<b>29</b>

## ÚVOD

V dnešní moderní době je vytváření čistých prostor zcela nezbytné. V posledních letech výstavba těchto míst vysoce vzrostla, jelikož jsou kladeny větší nároky na čistotu prostor, ve kterých jsou lidé více náchylní na možnou kontaminaci. Větší nároky jsou také vyžadovány u kvality výrobků téměř ve všech odvětvích průmyslu. To vše má za následek nárůst poptávky po přístrojích, které jsou potřebné pro testování a kontrolu ovzduší v uvedených místech. Zároveň je u těchto zařízení požadována lepší obslužnost a přesnost při měření.

Mezi základní zkoušky a měření pro zajištění správného fungování čistých prostor patří především testování vzduchových filtrů, měření tlakových rozdílů vzduchu mezi prostředím a měření koncentrace částic ve vzduchu. Nejdůležitější je měření koncentrace částic ve vzduchu, díky kterému se získávají informace o tom, zda testovaný prostor splňuje požadovanou třídu čistoty. Před touto zkouškou by však měly být provedeny další zkoušky, které již byly zmíněny.

Aby bylo možné lépe si popsat základní principy jednotlivých zkoušek a vlastnosti přístrojů, potřebných k jejich realizaci, je vhodné nejprve uvést definici prostor, kde tyto zkoušky provádíme. Velice důležitou roli v této problematice hrají předpisy a normy, podle kterých je nutné se řídit.

# 1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

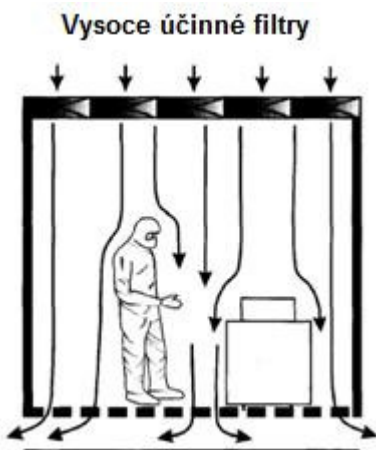
## 1.1 Definice čistého prostoru

Je logické, že čistý prostor je místo, kde je udržována čistota. Podobné vyjádření však v současné době vysoce vyspělých technologií není zdaleka dostačující. Proto je čistý prostor definován v Mezinárodní Normalizační Organizaci (ISO). Norma ISO 14 644 – 1 uvádí čisté prostory jako místnosti, které jsou vyrobeny a používány tak, aby se v nich minimalizoval vznik či další udržení částic v ovzduší. Dále je nutno kontrolovat koncentraci těchto částic. Velikost a maximální počet částic jsou uvedeny ve specifikovaných třídách čistoty pro částice ve vznosu.

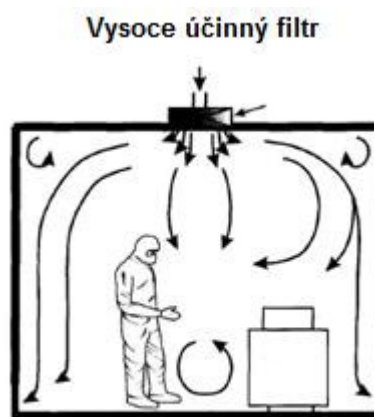
Z této definice je zřejmé, že jde o místa potřebná v lékařství, ale i při průmyslové výrobě. Jedná se například o operační sály, výroby polovodičů, potravin, elektroniky a jiných.

## 1.2 Základní rozdělení

Jedná se o rozdělení podle druhu proudění vzduchu v prostorách. Jsou dva typy, a to Jednosměrné (Laminární) a Nejednosměrné (Turbulentní). Při jednosměrném proudění je využíváno více vzduchu a je dosahováno vynikající čistoty.



Obr. 1.2.1 Jednosměrné proudění [1]



Obr. 1.2.2 Nejednosměrné proudění [1]

## 1.3 Normy u čistých prostor

Pro přehlednost je vhodné uvést na úvod této práce také normy, které ovlivňují požadované vlastnosti u jednotlivých přístrojů, používaných v tomto oboru. Čisté prostory jsou klasifikovány podle čistoty vzduchu a jako měrná jednotka se používá 1 mikrometr. Dříve používaná norma, která již není platná, byla vydána ve Spojených Státech a jmenuje se Federal Standard 209, a i když není platná, stále se široce používá. U nás je v současnosti používána norma ISO 14 644 (“Čisté prostory a příslušné řízené prostředí”). Klasifikací čistoty vzduchu se zabývá její první část ISO 14 644 - 1 (“Klasifikace čistoty vzduchu”). Další normou u nás jsou předpisy Evropské Unie.

### Federal Standard 209

Tato norma byla vydána postupně v pěti verzích (A - E). U prvních čtyř verzí je třída čistoty zjištěna pomocí naměřeného počtu částic (o velikosti větší než 0,5 µm), které jsou obsaženy v jedné krychlové stopě. V poslední verzi (Federal Standard 209 E) jsou již uvedeny hodnoty v metrických jednotkách. Klasifikace třídy je určena pomocí logaritmu z počtu částic obsažených v jednom krychlovém metru.

### Norma ISO 14 644-1

Klasifikace podle této normy se určuje pomocí následující rovnice.

$$C_n = 10^N \times \left[ \frac{0,1}{D} \right]^{2,08} \quad (1) \quad [1]$$

kde:  $C_n$  – Je maximální povolená koncentrace částic ve vzduchu v jednom metru krychlovém.

$N$  – Je klasifikační číslo ISO, které nabývá hodnot 1 - 9.

$D$  – Je požadovaná velikost částic v µm.

Tab. 1.3.1 Klasifikace tříd čistoty dle normy ISO 14 644 - 1 [3]

Klasifikační číslo ISO (N)	Maximální limity koncentrace [počet částic/m <sup>3</sup> ] pro částice s velikostí rovnající se a větší než uvedené velikosti					
	0,1µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
ISO třída 1	10	2				
ISO třída 2	100	24	10	4		
ISO třída 3	1 000	237	102	35	8	
ISO třída 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO třída 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO třída 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO třída 7				352 000	83 200	2 930
ISO třída 8				3 520 000	832 000	29 300
ISO třída 9				35 200 000	8 320 000	293 000

### Předpisy EU

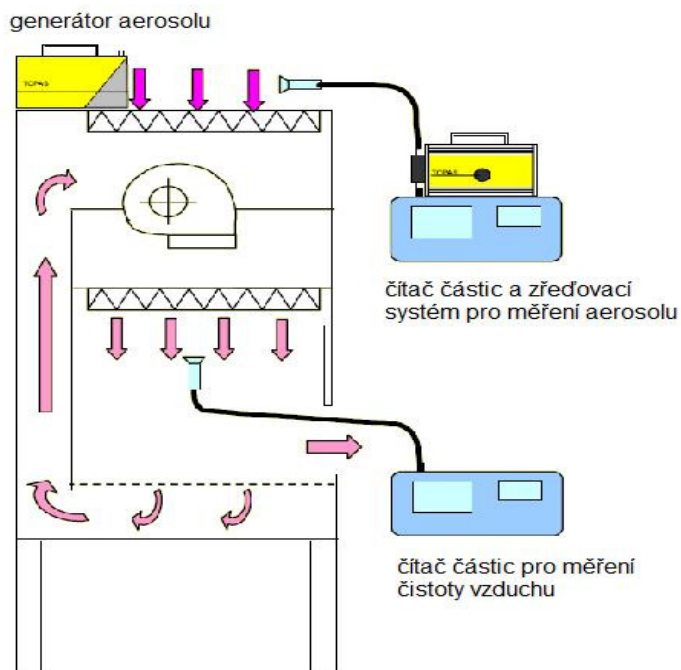
Podle tohoto předpisu jsou čisté prostory klasifikovány podle požadovaných charakteristik prostředí. Podle provozování prostor se dělí na stav „za klidu“, kdy již je nainstalováno požadované zařízení, avšak nejsou zde přítomni lidé, a na stav „za provozu“, při běžném provozu čistého prostoru.

Tab. 1.3.2 Předpisy EU [3]

Třída	Maximální přípustný počet částic/m <sup>3</sup> rovný nebo větší			
	Za klidu		Za provozu	
	0,5 µm	5 µm	0,5 µm	5 µm
<b>A</b>	3500	0	3500	0
<b>B</b>	3500	0	350000	2000
<b>C</b>	350000	2000	3500000	20000
<b>D</b>	3500000	20000	nedefinován	nedefinován

## 2 TESTOVÁNÍ VZDUCHOVÝCH FILTRŮ

Při testování čistých prostor je nutné zjistit, zda vysoce účinné filtry, přes které je do těchto prostor vzduch vháněn, splňují svou funkci. To lze snadno provést pomocí zkušebních aerosolů, které se vstříknou do filtračního systému. Poté se měří koncentrace částic aerosolu, které proniknou filtračním zařízením.



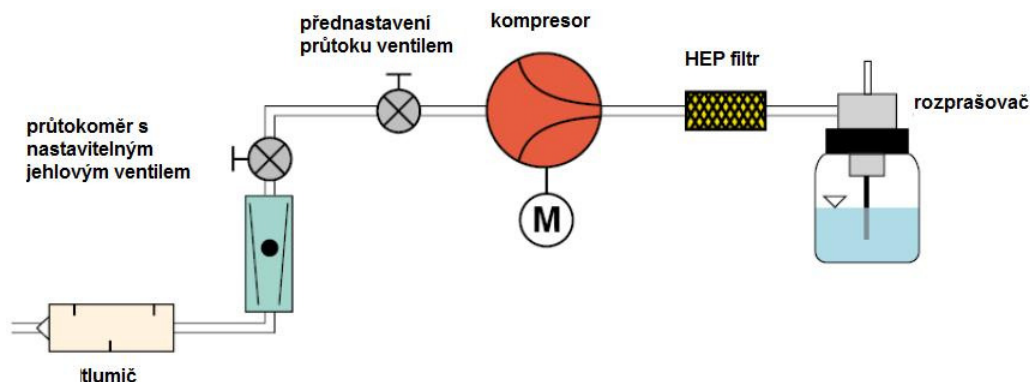
Obr. 2.1 Princip testování filtrů [4]

### 2.1 Generátory aerosolu

Tyto přístroje slouží k vytvoření zkušebních aerosolů, které by měly obsahovat známý a stálý počet částic. Jednou z firem, která se zabývá výrobou generátorů aerosolu je společnost TSI. Proto budou ve zbylé části této kapitoly použity technické informace od firmy TSI [4].

#### **Generátor aerosolu Model 3079**

Je přenosný aerosolový generátor, který generuje částice na submikrometrické úrovni. Částice produkuje pomocí rozprašování roztoku. Jejich velikost se pohybuje od 0,2 do 0,3 mikrometrů. Pomocí rozprašovače se dá také regulovat koncentrace částic.



Obr. 2.1.1 Schéma generátoru aerosolu od firmy TSI – Model 3079 [4]

### Technické údaje:

- velikost částic	0,2 až 0,3 $\mu\text{m}$
- průtok	1 až 4,2 l/min.
- koncentrace částic	$>10^7/\text{cm}^3$
- typ částic	Parafin, latex, NaCl a další
- hmotnost	4,5 kg
- rozměry	28 x 20 x 17,5 cm
- maximální protitlak	10 kPa



Obr. 2.1.2 Model 3079 od firmy TSI [4]

## 3 MĚŘENÍ TLAKOVÝCH ROZDÍLŮ

Tlakové rozdíly je nezbytné měřit mezi čistým prostorem a okolními místnostmi či prostředím. Jelikož vzduch proudí z oblasti vyššího tlaku do oblasti s nižším tlakem, je zřejmé, že tlak v místě, kde požadujeme čisté prostředí, by měl být vyšší, než tlak v jeho okolí. To zajistí, že vzduch bude proudit pryč z čistých prostor a ty proto nemohou být kontaminovány okolním méně čistým vzduchem. Tlakové rozdíly mezi neklasifikovaným a čistým prostorem, by se měly pohybovat kolem 15 Pa. Pro jejich měření se nejčastěji používají přesná měřidla.

### 3.1 Měřidlo tlakových rozdílů – Magnehelic

Magnehelic je přesné měřidlo malých tlakových rozdílů. Měření s ním je velice snadné a rychlé. Pomocí hadiček a dvou vstupů na přístroji se přivede vzduch o vyšším tlaku na jednu stranu měřidla a vzduch o nižším tlaku na druhou stranu měřidla. Pomocí zabudované membrány je pak vyhodnocen rozdíl mezi oběma tlaky.



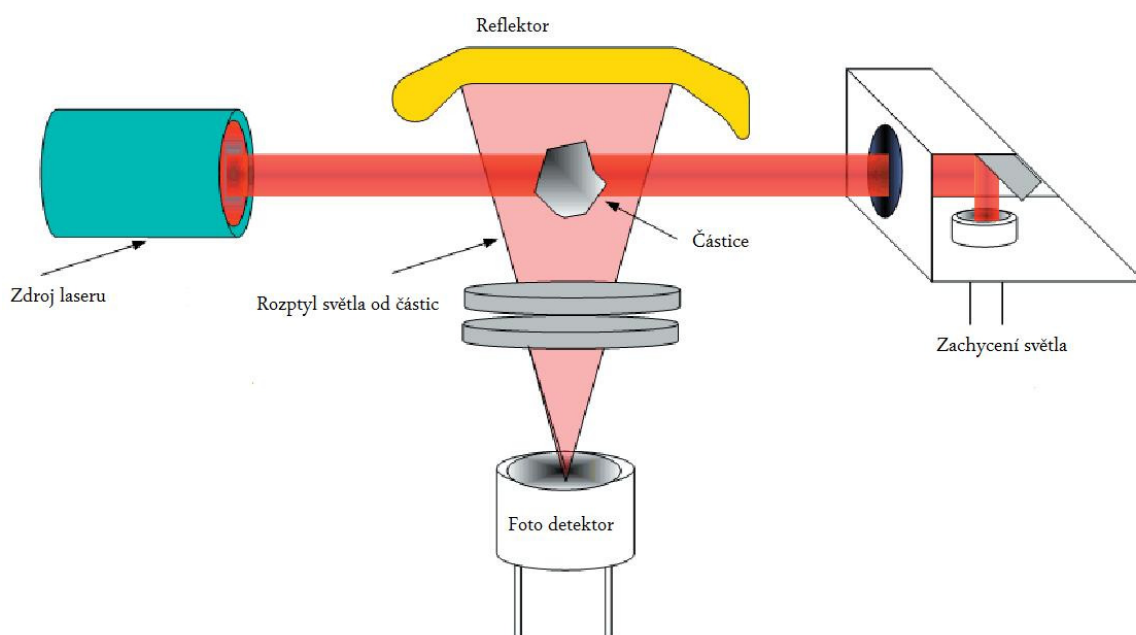
Obr. 3.1 Měřidlo tlakových rozdílů Magnehelic [5]

## 4 KONCENTRACE ČÁSTIC VE VZDUCHU

Nejdůležitější zkouškou k zajištění správného fungování čistých prostor je měření koncentrace částic. Tento test je proveden na závěr po předchozích zkouškách (měření tlakových rozdílů, objemu a pohybu vzduchu, zkouška filtračního zařízení) a prokazuje, že koncentrace částic ve vzduchu nepřekračuje limit pro předem určenou třídu čistoty.

#### 4.1 Čítače částic ve vzduchu (dle ISO 14 644 - 1)

Tyto přístroje se používají pro zjištění počtu a velikosti částic v ovzduší čistých prostor. Čítače částic jsou základním nástrojem pro testování čistých prostor a na trhu jsou dostupné v různém provedení. Nejčastěji se používají laserové čítače, které měří počet a velikost částic pomocí odraženého světla od jednotlivých částic. Jako zdroj světla se využívá zpravidla laserová dioda, nebo pro větší citlivost He-Ne laser. Rozptýlené světlo je soustředěno do objektivu a převedeno ve fotodiodě na elektrické impulsy. Amplituda těchto impulsů je v poměru k velikosti částic a počet impulsů odpovídá počtu částic.



Obr. 4.1 Princip laserového čítače částic [6]

#### 4.2 Měření koncentrace částic

Pro klasifikaci čistých prostor je nutné vzít dostatek vzorků vzduchu, abychom měli jistotu, že koncentrace částic ve vzduchu je v rámci limitů stanovených dle norem. Počet míst odběru vzorku musí odrážet velikost místnosti a její požadovanou čistotu. Čím větší a čistší místnost, tím musí být počet míst odběru vzorku větší. Vzorek vzduchu musí mít také dostatečně velký objem, aby bylo možné výsledky správně vyhodnotit.

##### **Počet a umístění odběru vzorků**

Podle normy ISO 14 644 - 1 je minimální počet míst odběru určen pomocí následujícího vzorce.

$$N_L = \sqrt{A} \quad (2) [1]$$

Kde:  $N_L$  - je minimální počet míst odběru vzorku (zaokrouhleno na celé číslo)

$A$  - je prostor, kde je koncentrace kontrolována (uvádí se v  $m^2$ )

Norma ISO dále vyžaduje, aby vzorky byly odebírány rovnoměrně kolem čistých prostor a ve výšce, kde je vykonávána práce, pro kterou je kontrolovaný prostor určen.

### **Objem vzorku vzduchu**

Při odběru vzduchu je nutné stanovit minimální objem vzorku pro každé měřené místo. Norma vyžaduje, aby objem vzduchu byl dostatečně velký a uvádí vzorec pro minimální objem.

$$V = \left(\frac{20}{C}\right) \cdot 1000 \quad (3) [1]$$

Kde: V - je minimální objem vzorku na určitém místě (uvádí se v litrech)

C - je maximální počet částic podle normy (v metru krychlovém)

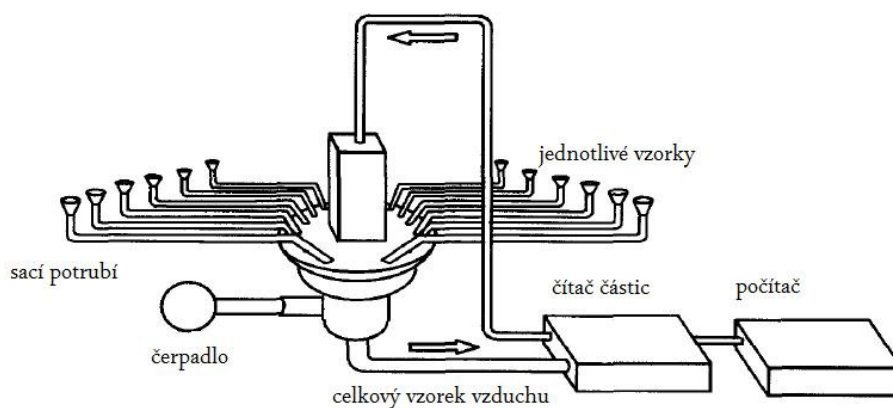
Objem vzorku v každém měřeném místě by měl být alespoň dva litry a minimální doba měření by měla být nejméně jednu minutu.

### **4.3 Zařízení pro monitorování částic ve vzduchu**

U prostorů, kde se požaduje velmi vysoká čistota, se ovzduší průběžně kontroluje a vyhodnocuje se, zda i v průběhu provozu splňuje prostředí požadované limity. Nicméně v prostorách s menší požadovanou čistotou není nutné kontrolu provádět nepřetržitě. Existují dva hlavní způsoby odběru vzorku.

#### **Sekvenční systém**

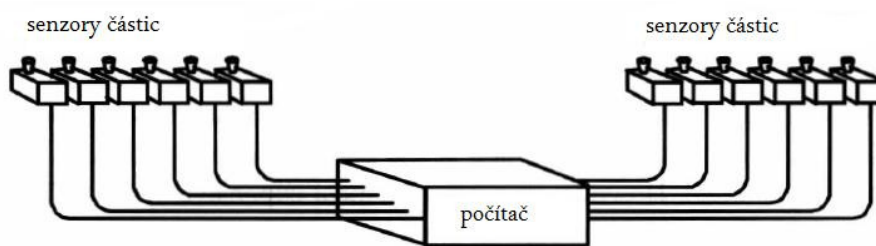
V sekvenčním monitorovacím systému je vzorek vzduchu postupně z každého místa odběru přepravován do čítače částic, kde je vyhodnocován počet a velikost částic.



Obr. 4.3.1 Sekvenční monitorovací systém [1]

#### **Souběžný systém**

Souběžný monitorovací systém využívá mnoho malých senzorů, které nepřetržitě snímají počet a velikost částic ve vzduchu v různých místech prostoru.



Obr. 4.3.2 Souběžný monitorovací systém [1]

Oba systémy monitorování využívají softwarových balíčků s cílem co nejsnadněji a nejpřesněji analyzovat výsledky měření. Může se tak stanovit například průměrný počet částic v monitorované místnosti pro různé velikosti částic, nebo vypočítat průměrný počet částic v jednotlivých snímaných místech.

## 5 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ KONCENTRACE ČÁSTIC VE VZDUCHU OD FIRMY LIGHTHOUSE WORLDWIDE SOLUTIONS

Firma Lighthouse Worldwide Solutions je jedním z největších výrobců přístrojů, které se používají pro měření koncentrace částic ve vzduchu. Tyto přístroje se v podstatě rozdělují na tři základní skupiny. Jednotlivé druhy jsou dostupné v různých typech, ale pracují na stejném principu. Proto bude dále uveden od každého druhu jeden přístroj a popsány jeho vlastnosti a funkce dle technických informací od firmy Lighthouse W.S. [7].

### 5.1 Ruční čítače částic

Jeden z nejnovějších modelů ručních čítačů částic na trhu od firmy Lighthouse je HANDHELD 3013. Tento typ je lehký a velice dobře ergonomicky a designově řešený. Přístroj nabízí tři kanály pro možnost současného měření částic, dále má snadno čitelný displej o velikosti 2,7 "(6,8 cm), nabíjecí baterii, umožňující až osm hodin nepřetržitého provozu. Výhodou je také možnost snadného stáhnutí dat pomocí portu USB.

#### **Výhody:**

- malé rozměry a hmotnost
- ergonomický tvar
- nízké pořizovací náklady oproti jiným přístrojům v oboru



Obr. 5.1 Ruční čítač částic  
HANDHELD 3013 [7]

**Vlastnosti:**

- velikost částic 0,3 až 10 µm	- velká paměť pro ukládání dat
- průtok 2.83 l/min.	- možnost volby více jazyků
- zobrazení tří velikostí součástí současně	- rozhraní USB
- splňuje normy JIS B 9921 a ISO 21501-4	- snadná konfigurace rozhraní
- vestavěný stojan Tilt	- snadné stahování dat do počítače
- data na displeji uváděná v reálném čase	- možnost zobrazení více dat na displeji
- displej Oled o rozměrech 128x64 mm	- vnitřní zvukové upozornění
- dobíjecí baterie Li-Ion	- snadná ovladatelnost

**Použití:**

- přenosné měření částic
- certifikace čistých prostor dle ISO
- testování filtrů
- určení zdroje znečištění

**Další údaje:**

- velikost kanálů	Standard: 0,3; 0,5; 5,0 µm nebo 0,3; 1,0; 5.0 µm
- zdroj laseru	Laserové diody
- Koncentrační limity	4,000,000 částic / ft <sup>3</sup>
- kalibrace	Vyhovuje dle ISO 21501-4
- Software	LMS XChange; LMS Express
-doba nabíjení baterie	dvě hodiny
- hmotnost	0,68 kg

**5.2 Přenosné čítače částic**

Typickým přístrojem v této kategorii je přenosný čítač částic SOLAIR 3350Rx, který nabízí spolehlivé a hlavně rychlé vzorkování. Je schopen změřit jeden metr krychlový vzduch za deset minut. Je zde zajištěna citlivost až 0,3 mikrometru při průtoku 100 litrů za minutu. Zabudovaný barevný dotykový displej zajišťuje snadnou konfiguraci a ovladatelnost. Velkou výhodou je možnost měřit částice až ze šesti kanálů a ukládat až 3000 záznamů naměřených dat. Samozřejmostí je snadné a rychle načtení dat do počítače, kde mohou být následně vytisknuty či zálohovány na USB flash.



Obr. 5.2 Přenosný čítač částic SOLAIR 3350Rx [7]

**Vlastnosti:**

- velikost částic 0,3 až 25 $\mu\text{m}$	- paměť pro uložení dat - až 3000 záznamů
- laserová dioda s velkou životností	- 200 alfanumerických označení místa
- průtok 100 litrů za minutu	- barevný dotykový displej (14,5 cm)
- Několik komunikačních rozhraní	- splňuje normu ISO 21501-4
- dobíjecí baterie Li-Ion	

**Výhody:**

- snadná integrace do externích systémů
- snadné ukládání a další zpracovávání naměřených dat
- rychlé a přesné měření

**Použití:**

- monitorování čistých prostor
- testování čistých prostor
- certifikace dle ISO 14 644
- testování filtrů

**Další údaje:**

- velikost kanálů	Standard: 0,3;0,5;1;3;5;10 $\mu\text{m}$ nebo 0,3;0,5;1;5;10;25 $\mu\text{m}$
- zdroj sv2tla	Laserové diody velko 6ivotnosti
- Koncentrační limity	7,060,000 částic / $\text{m}^3$
- kalibrace	Vyhovuje dle ISO 21501-4
- Software	LMS XChange; LMS Express; LMS Express RT; LMS Pharma Edition
-doba nabíjení baterie	4 hodiny
- hmotnost	11,34 kg
- napájení	100 - 240 V, 50 - 60 Hz

### 5.3 Dálkově ovládané čítače částic

Remote 5102 V, vyrobený firmou Lighthouse Worldwide Solutions, je vhodný pro nepřetržité měření částic. Lze u něj regulovat měřený průtok vzduchu, a to pomocí kritického otvoru a vnějšího zdroje podtlaku. Také využívá technologii laserových diod s velmi vysokou životností. Má rozlišení 0,5 mikrometrů a měřený průtok 28,3 litrů za minutu. Dále je u uvedeného přístroje možné, při měření částic, užít dvou kanálů současně a tím získat potřebná data z více míst. Čítač tohoto typu se hodí pro integraci do velkých zařízení, či pro monitorovací systémy budov.

#### **Vlastnosti:**

- velikost částic 0,5 až 25 $\mu\text{m}$	- podpora světových jazyků
- laserová dioda s vysokou životností	- kontinuální měření v reálném čase
- průtok 28,3 litrů za minutu	- malá velikost

#### **Použití:**

- monitorování čistých prostor
- monitorování budov
- aseptické zpracování



Obr. 5.3 Dálkově ovládaný čítač částic REMOTE 5102 V [7]

#### **Další údaje:**

- velikost kanálů	Standard: 0,5;5 $\mu\text{m}$ nebo volitelné 0.5, 10; 0.5, 25 $\mu\text{m}$
- zdroj světla	Laserové diody velké životnosti
- Koncentrační limity	500,000 částic / $\text{ft}^3$
- kalibrace	Vyhovuje dle ISO 21501-4
- Software	Lighthouse Monitoring System; LMS Express; LMS Net
- konektor	RJ45
- hmotnost	0,49 kg
- rozměry	13.72 cm x 11.68 cm x 4.19 cm

## 6 DALŠÍ PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ ČÁSTIC DOSTUPNÉ NA TRHU

Problematikou měření částic ve vzduchu se zabývá v současné době mnoho firem. Každá z těchto společností nabízí vlastní řešení provedení jednotlivých typů přístrojů, a proto budou v této kapitole rozděleny a popsány čítače částic dle firem, které je nabízejí na trhu. Mezi hlavní výrobce těchto produktů patří kromě Lighthouse Worldwide Solutions také Particle Measuring Systems (PMI), TSI, ENVItech a další.

### 6.1 Přístroje od firmy PMI

Společnost Particle Measuring Systems nabízí v této oblasti především dva základní typy výrobků. Jedním z nich je ruční čítač částic Handilaz Mini a druhý Lasair II, což je přenosný čítač. Oba přístroje jsou v této části kapitoly popsány pomocí technických údajů od firmy PMI [8].

#### *Handilaz Mini*

Tento ruční čítač částic nabízí výhodné řešení pro měření v jednotlivých místech měřeného prostoru. Toto zařízení je velice lehké a díky kvalitnímu designovému provedení se dobře drží v ruce a snadno se ovládá. Za hlavní přednosti lze podobně, jako u jiných přístrojů stejného typu, považovat možnost rychlého a poměrně snadného měření. Naměřená data lze pomocí kabelu převést do počítače, kde lze snadno načíst do Excelu, nebo je možné data přímo vytisknout na zvolené tiskárně.

#### *Technické údaje:*

- velikost částic	do 0,3 $\mu\text{m}$
- průtok	28,3 l/min.
- paměť pro ukládání	až 10 000 vzorků
- baterie	standardní AA baterie
- zdroj světla	laserové diody s velkou životností
- hmotnost	0,68 kg



#### *Použití:*

- certifikace čistých prostor
- testování filtrů
- určení zdroje znečištění

Obr. 6.1.1 Ruční čítač částic Handilaz Miny od firmy PMI [8]

## Lasair II 110

PMI uvádí v této kategorii jeden z mála přístrojů, který umožňuje měření částic o velikosti 0,1 mikrometru při průtoku 28,3 litrů za minutu za použití laserové diody, jako zdroje světla. Lasair II nabízí, stejně jako jiné přístroje, řadu funkcí, které jsou v současné době téměř samozřejmostí. Například již zmíněné ukládání dat na PDA či USB flash.

### Technické údaje:

- velikost částic	0,1 až 5 $\mu\text{m}$
- průtok	28,3 l/min.
- paměť pro ukládání	až 3000 záznamů
- displej	VGA barevný LCD displej
- velikost kanálů	Standard: 0,1;0,2; 0,3; 0,5;1;5 $\mu\text{m}$
- zdroj světla	Laserové diody s velkou životností
- Koncentrační limity	500,000 částic / $\text{ft}^3$
- hmotnost	16 kg
- rozměry	45 x 35 x 32 cm



### Použití:

- monitorování čistých prostor
- certifikace dle ISO a FS
- měření s vysokou citivostí

Obr. 6.1.2 Přenosný čítač částic Lasair II 110 od firmy PMI [8]

## 6.2 Přístroje od firmy TSI

Společnost TSI nabízí čítače částic Aero Trak, které patří v současné době mezi jedny z nejmodernějších zařízení dostupných na trhu pro danou problematiku. Vyrábí se v provedení ručních a přenosných přístrojů. Pomocí příslušenství v podobě volitelných sond je také možné měřit teplotu, vlhkost či rychlost vzduchu, což umožňuje komplexní monitorování prostoru pomocí jediného přístroje.

Oba modely využívají jako zdroje energie střídavý proud, nebo lithiovou baterii a umožňují nastavit šest velikostních tříd částic.

### Aero Trak 8220

Ruční zařízení, vyznačující se malými rozměry a barevným dotykovým displejem.

**Technické údaje:** [9]

- velikost částic	0,3 až 10 µm
- průtok	2,83 l/min.
- paměť pro ukládání	až 100 000 záznamů
- displej	barevný a dotykový LCD displej
- velikost kanálů	Standard: 0,3;0,5; 1; 3;5;10 µm
- baterie	vyměnitelná baterie Li-Ion
- Koncentrační limity	2 000 000 částic / ft <sup>3</sup>
- hmotnost	1kg
- rozměry	25,4 x 11,4 x 7,6 cm

**Použití:**

- testování čistých prostor
- testování filtrů
- testování větracích systémů

Obr. 6.2.1 Ruční čítač částic Aero Trak 8220 od firmy TSI [9]

**Aero Trak 8260**

Přenosný čítač částic, který je v porovnání s podobnými přístroji od jiných společností poměrně lehký.

**Technické údaje:** [4]

- velikost částic	0,3 až 10 µm
- průtok	28,3 L/min.
- paměť pro ukládání	až 100 000 záznamů
- software	Trak Pro
- displej	barevný a dotykový displej
- velikost kanálů	Standard: 0,3;0,5; 1; 3;5;10 µm
- baterie	vyměnitelná baterie Li-Ion
- Koncentrační limity	400 000 částic / ft <sup>3</sup>
- hmotnost	5,82 kg
- rozměry	25,4 x 17,8 x 24,1 cm



**Použití:**

- testování čistých prostor
- testování filtrů
- testování větracích systémů

Obr. 6.2.2 Přenosný čítač částic Aero Trak 8260 od firmy TSI [4]

**6.3 Zařízení od společnosti ENVltech**

Pro monitorování jednotlivých míst s okamžitými výsledky nabízí ENVltech ruční zařízení HHPC. V oblasti stacionárních přístrojů pro nepřetržité měření je dostupný čítač částic FMPC.

**HHPC – 6**

**Technické údaje:** [10]

- velikost částic	0,3 až 5 µm
- průtok	2,83 l/min.
- paměť pro ukládání	až 500 vzorků
- displej	LCD displej
- velikost kanálů	Standard: 0,3;0,5; 0,7; 1;2;5 µm
- baterie	NiMH
- hmotnost	1kg
- rozměry	11,4 x 21 x 5,7 cm



**Použití:**

- monitorování čistých prostor
- testování filtrů
- potravinářský průmysl

Obr. 6.3.1 Ruční čítač částic HHPC - 6 od firmy ENVltech [10]

## FMPC

Přístroj je určený pro nepřetržité měření čistých prostor. Má velice malou hmotnost a rozměry, což je vhodné pro přímé umístění v měřených místnostech.

### **Technické údaje:** [10]

- velikost částic	0,3 až 5 $\mu\text{m}$
- průtok	2,83 L/min.
- velikost kanálů	Standard: 0,3;0,5 $\mu\text{m}$
- hmotnost	0,33 kg
- rozměry	10,6 x 5,2 x 4,1 cm
- zdroj světla	Laser s vysokou životností



### **Použití:**

- monitorování čistých prostor
- testování filtrů
- měření vzduchu v lakovnách
- observatoře

Obr. 6.3.2 Čítač částic FMPC od firmy ENVItech [10]

## 7 VHODNOST A VÝBĚR PŘÍSTROJŮ

Při výběru přístrojů pro měření koncentrace částic je třeba si nejprve zjistit, pro jaký druh měření jej bude zapotřebí. Zda se bude provádět kontinuální měření, nebo se bude čistý prostor testovat jen v jistém okamžiku. Velice důležitým parametrem při určování vhodného přístroje je požadovaná třída čistoty, kterou má prostor splňovat. Ta udává, jakou velikost a počet částic je třeba měřit.

### **7.1 Výběr podle typu měření**

Z výše uvedených informací je možné říci, že pro delší monitorování čistých prostor se používají dálkově ovládané čítače částic, které jsou navrženy pro kontinuální sledování koncentrace částic ve vzduchu. Tyto přístroje jsou určeny především pro kontrolu možného znečištění při běžném provozu čistých prostor.

Pro samotné testování čistých prostor například po jejich výrobě, se používají přenosné přístroje, které jsou schopny poměrně rychle vyhodnotit, zda testovaný prostor splňuje požadované limity.

## ***7.2 Výběr podle požadované třídy čistoty***

Nejdůležitějším hlediskem při výběru mezi všemi uvedenými přístroji je velikost a počet částic, jenž je zvolený přístroj schopen měřit. Především při nutnosti měřit malé částice, například o velikosti 0,1  $\mu\text{m}$ , se možnost velkého výběru přístrojů dostupných na trhu poměrně snižuje.

## ZÁVĚR

Čisté prostory, kterými se uvedená práce zabývá, se v současné době stávají vysoce debatovaným tématem. Jak již bylo zmíněno v úvodu práce, čisté prostory jsou důležité především v lékařství, a to z důvodu minimalizace možné infekce člověka. Důležitou roli hraje předepsaná čistota také při výrobě velkého množství výrobků, a to zejména s ohledem na jejich požadovanou funkčnost. Zajímavé odvětví, které problematika čistých prostor výrazně ovlivňuje, je výroba zařízení, určených k provozu mimo Zemi. Jedná se například o družice, ale i raketoplány. Jelikož se tato problematika týká velké části činnosti lidí, začíná se jí věnovat velké množství společností působících na trhu. Informace podané v práci jsou zaměřeny především na přehled firem, které vyrábí přístroje potřebné pro testování či kontrolu čistých prostor. Avšak existuje mnoho dalších společností, které pouze zajišťují měření těchto prostor.

Na trhu lze v současné době pořídit velké množství přístrojů pro měření koncentrace a velikosti částic ve vzduchu, které mají různé vlastnosti. Většina z nich však využívá podobného principu měření a to především technologii popsanou ve čtvrté kapitole této práce. Jednou z hlavních výhod zmíněné technologie je, že se při ní, jako zdroje světla, používá laserová dioda s vysokou životností. Další společnou vlastností a výhodou značné části uvedených přístrojů, je možnost měřit kromě velikosti a koncentrace částic i jiné veličiny v čistých prostorách, hlavně teplota a vlhkost vzduchu. Tyto veličiny jsou měřeny pomocí přídavných senzorů, které jsou propojeny s popisovanými přístroji. Pro vyhodnocování získaných dat se používá různých softwarů. Většina firem instaluje do svých přístrojů vlastní softwary, které však umožňují převádět data do rozšířenějších programů. Díky tomu lze poté snadno porovnat i data získaná z různých přístrojů. Firma Lighthouse Worldwide Solutions, která je v práci zmíněná jako hlavní společnost zabývající se problematikou čistých prostor, využívá kromě jiných i software LMS Net, který umožňuje načítat data z téměř libovolných senzorů od různých výrobců a ukládat je na síť. To znamená, že přístup k datům má každý uživatel této sítě, což je jistě výhodou například při porovnávání jednotlivých dat.

Informace uvedené v práci lze zohlednit při výběru přístroje pro určitý typ měření. Je třeba si však uvědomit, že práce podává pouze základní přehled hlavních typů přístrojů od nejvýznamnějších firem v oboru. Jak již ale bylo uvedeno, tyto firmy vyrábí mnoho dalších variant těchto přístrojů. Proto je vhodné, se při konkrétním výběru přístroje nejprve zaměřit na širší okruh přístrojů, jak je uvedeno v poslední kapitole této práce a poté vyhledat nejvhodnější přístroj dostupný na trhu, který splňuje požadované parametry dle smlouvené normy.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] WHITE, W. *Cleanroom Technology : Fundamentals of Design, Testing and Operation*. [s.l.] : John Wiley&Son, 2001. 309 p. ISBN 0-471-86842-6 [cit. 2010-05-12].
- [2] SWARBRICK, J. *Environmental Monitoring for Cleanrooms and Controlled Environments*. New York : Informa Healthcare, 2007. 231 p. ISBN 08247-2359-7.
- [3] MONINEC, J.; SPÁČIL, J. Úvod do čistých prostorů. In *Úvod do čistých prostorů*. Opava : [s.n.], 2008 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <[sdrprokos.cz/akt\\_arch/13-seminar/cr01\\_v\\_kosmetika.ppt](http://sdrprokos.cz/akt_arch/13-seminar/cr01_v_kosmetika.ppt)>.
- [4] RUDOLPH, A.; PETERS, Ch.; BISCHOF, O. Testovanie vzduchových filtrov v čistých priestoroch. In *AEROTRAK\_sk* [online]. [s.l.] : [s.n.], 3.1.2007 [cit. 2010-04-25].
- [5] *Dwyer-inst.com* [online]. 2010 [cit. 2010-04-21]. Table Of Contents - Differential Pressure. Dostupné z WWW: <[http://www.dwyer-inst.com/Products/TOC.cfm?MainCategory\\_ID](http://www.dwyer-inst.com/Products/TOC.cfm?MainCategory_ID)>.
- [6] POLEN, M. In *How to Select a Particle Counter for my Cleanroom\_rev2* [online]. [s.l.] : [s.n.], 7.4.2005, 14.11.2007 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z WWW: <[www.golighthouse.com](http://www.golighthouse.com)>.
- [7] *Golighthouse.com* [online]. c2010 [cit. 2010-04-26]. Lighthouse Line Of Handheld, Portable, Liquid And Remote Particle Counters. Dostupné z WWW: <[http://www.golighthouse.com/products\\_aerosol.asp](http://www.golighthouse.com/products_aerosol.asp)>.
- [8] *Pmeasuring.com* [online]. c2010 [cit. 2010-04-27]. Particle Counters and Molecular Monitoring Solutions. Dostupné z WWW: <<http://www.pmeasuring.com/particleCounter/air>>.
- [9] *Tsi.com* [online]. c2010 [cit. 2010-04-28]. Aerotrak™ Handheld Particle Counter. Dostupné z WWW: <[http://www.tsi.com/en-1033/categories/contamination\\_control/14394/aerotrak%E2%84%A2\\_handheld\\_particle\\_counter.aspx](http://www.tsi.com/en-1033/categories/contamination_control/14394/aerotrak%E2%84%A2_handheld_particle_counter.aspx)>.
- [10] Hppc-cj. In [online]. [s.l.] : [s.n.], 19.4.2006 [cit. 2010-04-29]. Dostupné z WWW: <[www.envitech-bohemia.cz/domain/flox/files/hppc-cj.pdf](http://www.envitech-bohemia.cz/domain/flox/files/hppc-cj.pdf)>.

## Seznam použitých veličin

<b>Veličina</b>	<b>Symbol</b>	<b>Jednotka</b>
Klasifikační číslo	N	[-]
Maximální povolená koncentrace částic	$C_n$	$[1/m^3]$
Minimální objem vzorku	V	[l]
Minimální počet míst odběru vzorků	$N_L$	[-]
Prostor, kde je kontrolovaná koncentrace	A	$[m^2]$
Velikost částic	D	$[\mu m]$