

# Návrh pracovního prostoru “clean room“ pro vstřikování polymerů

Martin Sládeček

---

Bakalářská práce  
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin SLÁDEČEK**  
Osobní číslo: **T07386**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Návrh pracovního prostoru "clean room" pro  
vstřikování polymerů**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.**
- 2. Navrhněte způsob řešení.**
- 3. Vypracujte návrh řešení pro zvolený případ.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2011**

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: Sládeček Martin

Obor: Technologická zařízení

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 24.5.2011

  
.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávalečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>1)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá pracovními prostory zvanými „cleanrooms“, které jsou nezbytnou součástí bezchybné výroby nejrůznějších produktů v odvětvích jako je např. automobilový průmysl, letecký průmysl, medicína, potravinářský průmysl a jiné. Tyto prostory zajišťují čistotu prostředí a maximalizují produkci zdravotně nezávadných a funkčních výrobků.

Klíčová slova: čistý prostor, proudění vzduchu, vzduchotechnika, znečištění

## **ABSTRACT**

This bachelor's work deals with the workplaces call „cleanrooms“ which are indispensable parts of perfect manufacture of various products in sectors like car industry, aircraft industry, medicine, food-processing industry etc. These places provide the cleanness of environment and maximization of producing healthy and functional manufactures.

Keywords: cleanroom, air flow, air condition, contamination

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval všem, kteří přispěli ke vzniku této bakalářské práce. Zvláště bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Miroslavu Maňasovi CSc. za odborné vedení, poskytnuté materiály a rady, za čas, trpělivost a ochotu, kterou mi věnoval při vypracovávání této bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné. Dále prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....  
Podpis diplomanta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD DO VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ</b> .....	<b>12</b>
1.1 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ V BĚŽNÉM PROSTŘEDÍ.....	12
1.2 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ V „CLEANROOM“ PROSTORECH.....	13
<b>2 „CLEANROOM“ NEBOLI ČISTÝ PROSTOR</b> .....	<b>14</b>
2.1 CO JE TO „CLEANROOM“? .....	14
2.2 HISTORIE .....	14
2.2.1 Vývoj a počátky čistoty .....	14
2.2.2 Ventilované operační sály .....	17
2.2.3 Průmyslová výroba.....	18
2.2.4 Prostory s jednosměrným tokem vzduchu.....	19
<b>3 TYPY PROSTORŮ A JEJICH NORMY</b> .....	<b>21</b>
3.1 TYPY PROSTORŮ PODLE POUŽITÉ VENTILACE.....	22
3.2 KLASIFIKACE ÚROVNĚ ČISTOTY DLE NOREM.....	23
3.2.1 Norma Federal Standard 209 (FS 209).....	24
3.2.2 Norma ISO 14644-1 .....	24
<b>4 KONSTRUKCE A POUŽITÉ MATERIÁLY</b> .....	<b>26</b>
4.1 KONVENČNÍ STAVEBNÍ METODY .....	26
4.2 MODULÁRNÍ STAVEBNÍ METODY .....	27
4.2.1 Systém bezrámových příček.....	28
4.2.2 Rámový systém .....	29
<b>5 SOUČÁSTI ČISTÝCH PROSTOR</b> .....	<b>30</b>
5.1 DVEŘE A OKNA.....	30
5.2 PODLAHY .....	30
5.3 STROPY .....	31
5.4 VZDUCHOVÉ FILTRY .....	32
5.4.1 Konstrukce vzduchových filtrů .....	32
5.4.2 Mechanismus odstranění částic ze vzduchu.....	34
<b>6 ZÁSADY ČISTÝCH PROSTORŮ</b> .....	<b>36</b>
6.1 TESTOVÁNÍ A KONTROLA.....	36
6.1.1 Principy testování .....	36
6.1.2 Jednotlivé testy čistých prostor .....	37
6.2 POKYNY PRO PRACOVNÍKY V „CLEANROOM“ PROSTORECH .....	37
6.3 ČISTOTA A ÚDRŽBA ČISTÝCH PROSTORŮ.....	39
6.3.1 Kapaliny určené pro úklid čistých prostor.....	41
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>42</b>



<b>7</b>	<b>KONCEPT .....</b>	<b>43</b>
7.1	VSTŘIKOVACÍ STROJ .....	43
7.2	SPECIÁLNÍ VYBAVENÍ VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....	44
7.2.1	Multilift H .....	44
7.2.2	Dopravní pás s krytím .....	44
7.2.3	Ionizační jednotka .....	44
7.2.4	Další speciální vybavení.....	45
7.3	VSTŘIKOVANÝ MATERIÁL.....	45
7.4	SCHÉMA UMÍSTĚNÍ VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	46
<b>8</b>	<b>ČISTÝ PROSTOR .....</b>	<b>47</b>
8.1	STAVEBNÍ METODA.....	47
8.2	VELIKOST PROSTORU.....	48
8.3	CHARAKTER PROUDĚNÍ VZDUCHU .....	48
8.3.1	Bariéry k zabránění kontaminace prostoru.....	49
8.3.2	Příklady klasifikace čistých prostorů.....	50
8.3.3	Řešení problémů u laminárního proudění vzduchu.....	51
8.4	VÝBĚR ISO NORMY .....	52
<b>9</b>	<b>DODATEČNÉ PROSTORY A VYBAVENÍ.....</b>	<b>53</b>
9.1	VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ PROSTORY .....	54
9.2	ŠATNY .....	54
9.2.1	Vlastní vybavení.....	55
9.3	POMOCNÉ VYBAVENÍ.....	55
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>62</b>

## ÚVOD

Průmyslová výroba zaznamenala pokrok i změny v podmínkách prostředí výroby, kde je hlavním požadavkem zvyšování kvality a současně snižování výrobní ceny průmyslových produktů. Výroba a konstrukce “cleanroom“ neboli čistých prostorů a jejich používání představuje významnou část tohoto pokroku – samozřejmě pouze pokud jsou prostory používány správně.

Ačkoliv mají čisté prostory z minulých let některé podobnosti s dnešními moderními prostory, jejich vývoj se posunul mílovými kroky kupředu a nepochybně se bude stále vyvíjet pro dosažení co nejkvalitnějšího pracovního prostředí za použití co nejnižších nákladů na nákup a provoz čistých prostorů. Jedná se například o nové technologie filtrace vzduchu, levnější materiály ke konstrukci (při zachování svých stávajících kvalit), také automatizace jednotlivých procesů pro zajištění maximální čistoty atd.

Technologii těchto prostorů dělíme do tří hlavních částí: návrh, testování a provoz. Nejprve je potřeba prostor navrhnout a zkonstruovat tak, aby splňoval požadavky pro použití. Dále je nutné prostor otestovat z hlediska kvality těsnosti, instalované vzduchotechniky a dalších neméně důležitých faktorů. Posledně se musíme postarat o jeho bezproblémový chod v dalších fázích provozu, aby nedošlo ke zbytečným hmotným i nehmotným ztrátám.

Obecně lze říct, že čím více je předmět citlivý na nečistoty, tím čistější metodu výroby vyžaduje. A právě čisté prostory jsou reakcí na stále se zvyšující podmínky čistého prostředí při výrobních procesech, ať už se jedná o farmaceutický průmysl či různé průmysly zabývající se výrobou elektronických součástek. Bez těchto podmínek čistoty se kontaminace dostává do styku s produkty, které se tak mohou stát nefunkční anebo hůře i životu nebezpečné.

Do jaké míry je daný čistý prostor využitelný pro konkrétní výrobek poznáme podle jeho třídy čistoty – čili množství částic na objem vzduchu. Třídu čistoty bychom měli volit s rozvahou, neboť každá lepší třída vyžaduje také preciznější zpracování a kvalitnější vybavení samotných čistých prostorů. To se samozřejmě nejvíce odrazí na finančních nákladech, které s lepšími třídami čistoty rostou.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ÚVOD DO VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ

Vstřikování polymerů představuje takový způsob tváření, při kterém je přesně určená dávka roztavené hmoty vstříknuta velkou rychlostí z tavicí komory do uzavřené tvarové dutiny kovové formy. Zde hmota ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma v dělicí rovině otevře, výrobek se vyjme a celý proces se po zavření formy opakuje. Vstřikování je proces přetržitý a cyklický. Tavicí komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba hmoty se v ní stále doplňuje. Zatímco tavicí komora má univerzální použití, účel vstřikovací formy je úzce specifický. [1]



*Obr. 1 Vstřikovací stroj firmy Arburg [8]*

### 1.1 Vstřikování polymerů v běžném prostředí

Běžným prostředím se rozumí takové prostředí, ve kterém na rozdíl od „cleanroom“ prostorů není nezbytně nutné udržovat absolutní čistotu. Stejně tak nejsou kladeny vysoké nároky na použití ochranných pomůcek u pracovníků (sterilní rukavice, čisté ochranné pláště, speciální obuv atd.), dopravu a skladování materiálů užitých při vstřikování i na skladování a přepravu výrobků samotných. Je to prostředí, které obklopuje člověka v každodenním životě. Není zapotřebí provádět kontroly množství částic ve vzduchu, kontroly vlhkosti, teploty a tlaku okolí a jiné testy.

Tento způsob vstřikování zahrnuje sortiment plastových výrobků nabízený k běžnému prodeji v obchodech, např. hračky, plastový nábytek, zahrádkářské potřeby (květináče, misky, kyblíky), kuchyňské potřeby (odkapávače, plastové nádoby) a další spotřební zboží.

## 1.2 Vstřikování polymerů v „cleanroom“ prostorech

Tento způsob vstřikování vyžaduje speciální prostory, které poskytnou vhodné prostředí pro výrobu zdravotně a funkčně nezávadných produktů.

Zařízení těchto prostorů je finančně náročné, avšak podle určitých norem a předpisů nezbytné pro další postup při výrobě. Neplnění těchto předpisů by s sebou mohlo nést následky jak pro výrobce, tak pro spotřebitele.

Testování a kontroly prostředí se provádějí odlišně na základě specifického použití jednotlivých produktů. Jednotlivé části ke konstrukci „cleanroom“ prostorů, stejně jako vybavení těchto prostor, jejich monitorování, pravidelná údržba, pokyny pro obsluhu atd. jsou popsány v dalších kapitolách.



*Obr. 2 Vstřikovací stroj a pracovník v "cleanroom" prostoru [10]*

## 2 „CLEANROOM“ NEBOLI ČISTÝ PROSTOR

### 2.1 Co je to „cleanroom“?

„cleanroom“ nebo také čistý prostor je pochopitelně prostor, ve kterém je čisto. Existuje však přesná definice dle normy ISO 14644-1, která říká, že čistý prostor je [7]:

*„Prostor, ve kterém je kontrolována koncentrace vznášejících se částic ve vzduchu a který je zkonstruován tak, aby minimalizoval vniknutí, vytváření a zadržování částic uvnitř prostoru a ve kterém je nutné (pokud je to zapotřebí) udržovat stálé hodnoty příslušného parametru, např. teploty, vlhkosti a tlaku.“*

Řešení prvního cíle definice, tzn. minimalizovat vniknutí, vytváření a zadržování částic v prostoru, je zajištěno filtrací vzduchu přes vysoce výkonné filtry. Tyto filtry zachytávají jak neživé částice, tak i živé mikroorganismy, které se zde přenášejí z venkovních prostorů prostřednictvím zaměstnanců, strojů a dalších zdrojů přenosu. Další funkcí vzduchu, proudícího přes filtry, je vytváření přetlaku v prostoru, který znemožňuje samovolné vniknutí dalších nečistot. [7]

Použité materiály jsou další nezbytnou podmínkou pro správný návrh čistého prostoru. Z materiálů se nemohou odlučovat částice a nesmí jakkoliv jinak znečišťovat. Zároveň musí být kvůli pravidelné údržbě snadno omyvatelné.

V neposlední řadě musí být zaměstnanci vhodně oděni. Žádoucí je použití ochranného oblečení, které zakryje většinu těla a minimalizuje rozptyl částic a mikroorganismů.

Druhá část definice říká, že čisté prostory mohou také kontrolovat teplotu, vlhkost, ozvučení, osvětlení a vibrace. Pro jejich kontrolu se využívají speciální měřicí přístroje.

### 2.2 Historie

#### 2.2.1 Vývoj a počátky čistoty

Vznik prvního provizorního „cleanroom“ prostoru spadá do 19. století, přesněji do roku 1860. Zprvu se objevil především v nemocnicích, konkrétně v královské nemocnici ve městě Glasgow. Zde se Lord Lister snažil eliminovat bakterie, které byly přítomny na operačním sále a které způsobovaly infekci. Jako dezinfekční prostředek použil kyselinu kar-

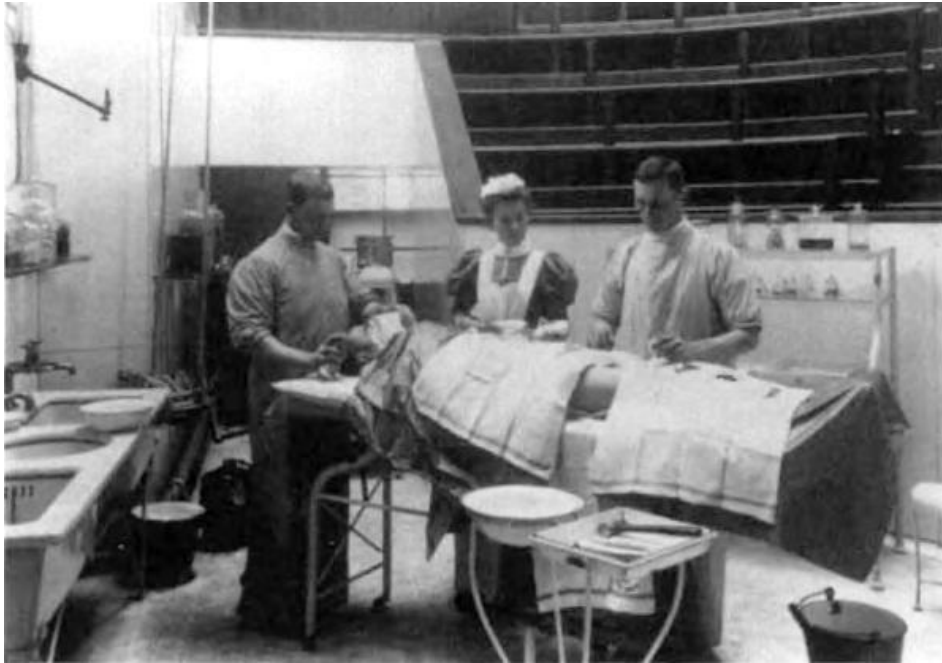
bolovou, kterou aplikoval na operační nástroje, ruce operátora, ránu operovaného a kterou rozprášil ve formě spreje do okolí. [7]



*Obr. 3 Joseph Lister (uprostřed), zakladatel dezinfekční chirurgie [7]*

Na fotografii výše (*Obr. 3*) můžeme vidět, jak byli tehdejší doktoři oděni. Oblečení nebylo v žádném případě sterilní a nechránilo operovaného před infekcí. Je pravda, že tým používal ochranné pláště či zástěry, ty však chránily výhradně samotné chirurgy proti potřísnění krví nebo jiným znečištěním, neměly žádný vliv na ochranu pacienta. Zároveň nepoužívali – v dnešní moderní medicíně nezbytné - rukavice, pokrývky hlavy nebo roušky. [7]

Ke konci 19. století se v pozadí operačních sálů objevovaly zástupy studentů, pozorující probíhající operaci v prostorech pro ně určené. Byl zde však jeden zásadní problém, na který zřejmě nikdo nepomyslel. Tyto prostory nebyly žádným způsobem pevně odděleny od pacienta a nechránily ho tak před bakteriemi, které studenti přenášeli. Z tohoto důvodu jsou i dnes tyto operační sály v mnoha zemích světa označovány pojmem „operační divadla“ (*Obr. 4*). Mnoho bakterií nezadržela ani samotná dřevěná podlaha a bez kontaminace se neobešla ani zařízení sálu (umyvadla, lavory, viditelné potrubí, nástroje atd.). [4]



*Obr. 4 Operační sál z roku 1890 [4]*

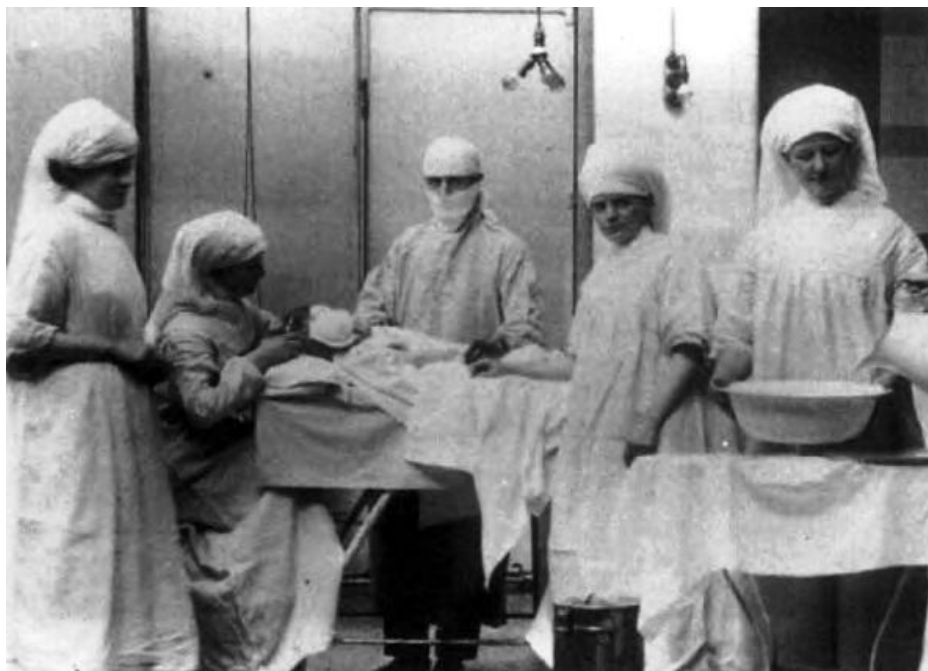
V průběhu operací, kde se používalo i Listerovy dezinfekční metody, došel jistý Sir William Macewan k názoru, že mnohem efektivnější by bylo bakterie předem nepustit do rány pacienta než je později v ráně ničit. Posunul tak samotnou dezinfekční metodu k jistému začátku metody sterilní. V roce 1900 byly představeny další prostředky pro zajištění čistoty. Byly to zejména [4]:

- Chirurgické rukavice
- Ochranné obličejové masky
- Ochranné pláště

Všechny tyto prostředky byly před každou operací sterilizovány pomocí páry, ačkoliv pára měla nižší teplotu a tlak než ta užívaná pro sterilizaci dnes. Tyto prostředky a postupy tak daly základ dnes hojně využívaným technikám čistých prostorů. [4]

Na dobové fotografii z roku 1907 (*Obr. 5*) vidíme značný pokrok. Zavedení elektřiny a zejména ochranné rukavice a rouška, které měl doktor na sobě, znamenal velice efektivní krok vpřed. Také materiály stěn a podlahy byly voleny tak, aby byly snadno omyvatelné. [7]



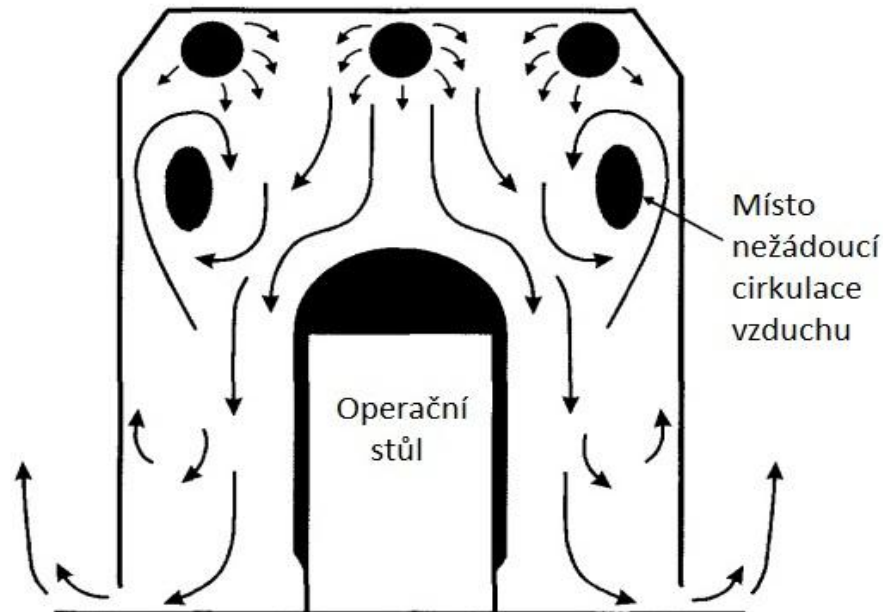


*Obr. 5 Operační sál z roku 1907 [7]*

(pozn.: na *Obr. 5* rouška doktora nasazená pod nosem, od roku 1930 již nasazována přes nos). [7]

### **2.2.2 Ventilované operační sály**

Přestože operační sály měly některé kontroly čistoty podobné jako ty dnešní, chyběla jim stále jedna důležitá složka a tou byla ventilace a filtrace vzduchu. Koncem druhé světové války (1945) byla ventilace v nemocnicích prosazena jako součást kontroly čistoty. Nebezpečí nedostatečné kontroly vzduchu narůstalo s používáním biologických zbraní, i z toho důvodu probíhaly další intenzivní studie. Ty byly zaměřeny na prostory jako protiletectké kryty, armádní budovy, prostory ponorek atd. V roce 1960 využili v Middlesborough (Anglie) pánové Blowers a Crew proud vzduchu (jednosměrný tok vzduchu, ten však nebyl zatím znám) filtrovaného skrze celý stropní systém. Tuto metodu vylepšili později pánové Charnley a Howorth tím, že proud vzduchu použili pouze pro malý uzavřený prostor. Zajistili tak docela slušné, rovnoměrné proudění vzduchu. Výsledek můžeme vidět na průřezu tohoto prostoru (*Obr. 6*). [7]



Obr. 6 Průřez proudění vzduchu v prostoru doktora Charnleyho [7]

Tento jednosměrný tok vzduchu, užívaný v uzavřeném prostoru s odpovídajícími podmínkami, dokázal zredukovat otravu krve až o jednu čtvrtinu oproti stejnému prostoru s vířivým tokem vzduchu, vše díky kvalitnímu odvětrávání a filtrování částic. [7]

### 2.2.3 Průmyslová výroba

V průmyslu a inženýrství probíhal vývoj „cleanroom“ prostorů podobně jako u ventilovaných operačních sálů ve zdravotnictví. Odstartoval v průběhu druhé světové války a zaměřil se zejména na spolehlivost techniky v oblasti zbrojního průmyslu, letectví nebo výroby tanků. Před vývojem totiž docházelo k častým selháváním důležitých součástí, např. zaměřovačů pro shazování pum. [2]

Základem byla ventilace průmyslových hal a místností, která bohužel nebyla dostatečně oceněna. Čerstvý vzduch se tak dodával jen několikrát do hodiny a používalo se spíše velkého množství dezinfekčních prostředků, pro které byly přizpůsobeny stěny i podlahy vybavené žlaby a odtoky. [2]

Teprve v letech 1955 až 1960 byly postaveny první budovy a tovární haly, do kterých byl pomocí HEPA filtrů dodáván velmi čistý vzduch. Jako příklad můžeme uvést americkou firmu Western Electric Company, jejíž hlavním výrobním artiklem byly gyroskopy (setr-

vačníky) pro řízené střely. 99 ze 100 gyroskopů bylo po výrobě vráceno kvůli závadám, které byly přičítány prachovým částicím. Po dokončení přestavby v roce 1955 bylo ze vzduchu odstraněno až 99,95% částic o velikosti 0,3  $\mu\text{m}$  a větší. Minimalizaci znečištění dopomohlo také osvětlení instalované do výklenku, dále oblečení a ochranné prostředky zaměstnanců, stěny a podlaha ze snadno umyvateľných materiálů. [2]

#### 2.2.4 Prostory s jednosměrným tokem vzduchu

Samostatná kapitola je věnována prostoru s konceptem jednosměrné ventilace. Jeho vynález v USA roku 1961 znamenal obrovský mezník v celkovém vývoji „cleanroom“ prostorů.

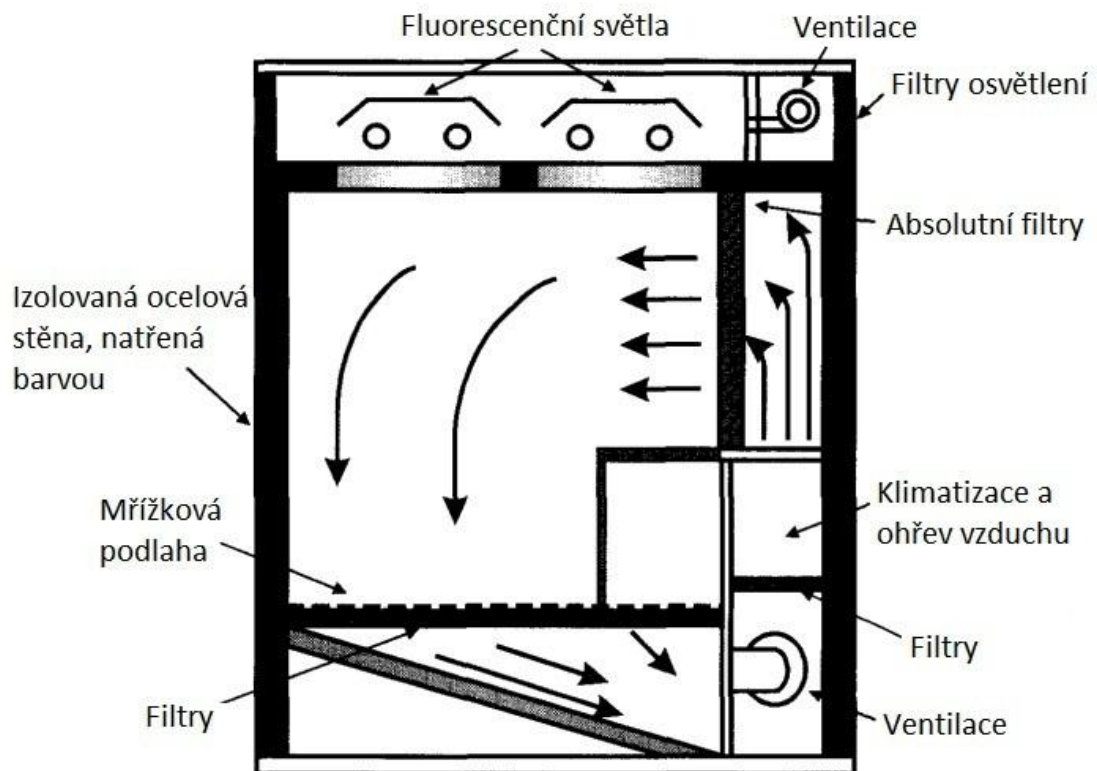
O tento mezník se postaral tým vědců v čele s Willisem Whitfieldem (*Obr. 7*) v laboratořích Sandia laboratories v Albuquerque (Nové Mexiko, USA).



*Obr. 7 Willis Whitfield s vlastní sochou a památníkem [11]*

Své poznatky aplikoval v místnosti o rozměrech 1,8 m (šířka) x 3 m (délka) x 2,1 m (výška). Namísto vzduchu dodávaného ze stropních rozptylovačů použil řadu HEPA filtrů. Ty zajistily rovnoměrné proudění celou místností od stropu až po mřížkovou podlahu, kudy se vzduch dostával z místnosti. Z průřezu (

*Obr. 8*) vidíme, že pracovník u stolu nemohl nijak znečistit pracovní prostor před sebou, jelikož veškerá nečistota byla ventilována směrem za záda pracovníka. [7]



*Obr. 8* Schéma proudění a filtrace vzduchu podle Willise Whitfielda [7]

### 3 TYPY PROSTORŮ A JEJICH NORMY

Prostory typu „cleanroom“ jsou díky svým unikátním sterilním vlastnostem využívány v nejrůznějších odvětvích pokročilého průmyslu. Jak ukazuje *Tabulka 1*, jedná se o oblasti, které pracují s elektronikou a optikou, lékařskými prostředky a nástroji, potravinami a nápoji a jinými. Jednotlivých odvětví je samozřejmě mnohem více a s postupem času budou další přibývat, zde je uvedeno jen pár z nich.

*Tabulka 1 Některé odvětví pro aplikaci „cleanroom“ prostorů*

Odvětví	Typy výrobků
Elektronika	Počítače, TV trubice, Ploché obrazovky
Polovodiče	Výroba integrovaných obvodů pro paměť a řízení počítače
Mikromechanika	Setrvačníky, miniaturní ložiska, CD přehrávače
Optika	Čočky, fotografický film, laser a jeho vybavení
Biotechnologie	Výroba antibiotik, genetické inženýrství
Farmacie	Léky, pomůcky na jedno použití
Lékařské přístroje	Srdeční pumpy, srdeční systémy by-pass
Potraviny a nápoje	Výroba piva, nezávadné potraviny a nápoje

Z *Tabulka 1* lze vyčíst dvě hlavní skupiny odvětví (odděleny čárkovaně), kde pro každou skupinu je specifické jiné kritérium.

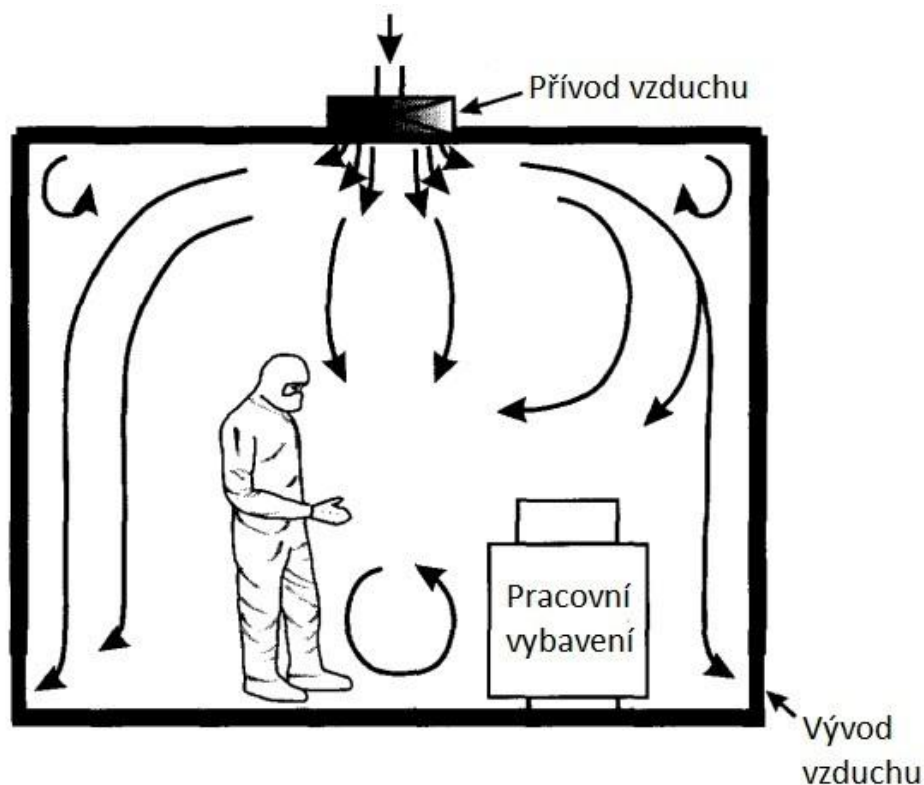
První skupina se zaměřuje na minimalizaci výskytu prachových částic, které způsobují nefunkčnost nebo nepříznivě ovlivňují délku efektivního užívání výrobků. Např. u polovodičů způsobují tyto částice elektrické zkraty a následné zničení integrovaných obvodů a tím celého produktu.

Druhá skupina vyžaduje ochranu výrobků před živými mikroorganismy, které se mohou množit a způsobovat infekci. Těm musí předejít i veškeré zdravotní zařízení a zajistit tak, aby se mikroorganismy a špína nedostaly do rány pacienta a nezpůsobily nákazu.

### 3.1 Typy prostorů podle použité ventilace

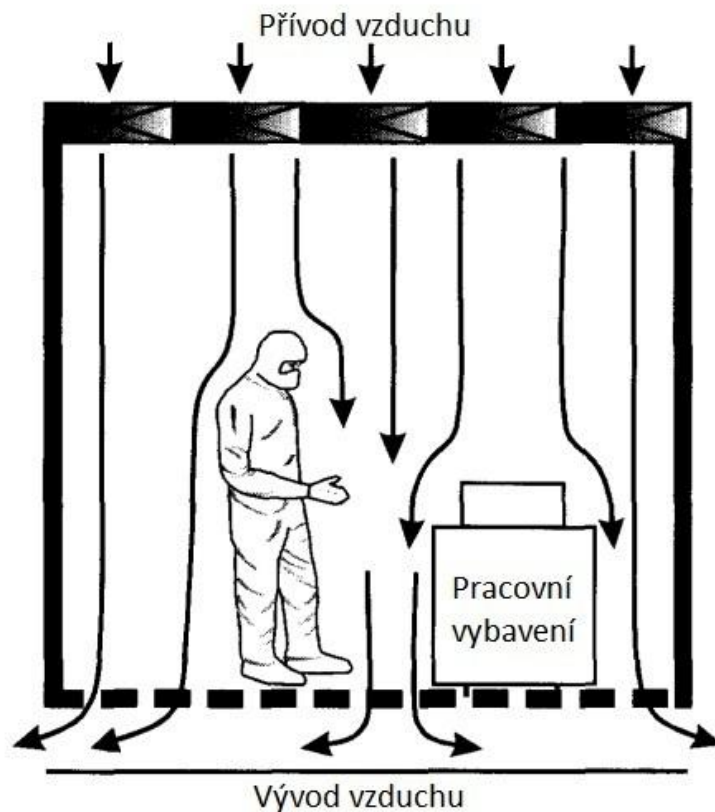
Čisté prostory se vyvinuly do dvou prioritních skupin [7]:

- **Prostory s turbulentní ventilací (vířivý proud vzduchu)** – Filtrovaný vzduch je přiváděn do místnosti skrze ventilaci umístěnou uprostřed na stropě, smíchává se s vzduchem v prostoru a ven se dostává pomocí otvorů ve spodních částech stěn. K výměně vzduchu dochází, podle potřeby, nejvýše dvacetkrát za hodinu. Spotřeba vzduchu je nižší než u typu s ventilací laminární.



Obr. 9 Místnost s turbulentní ventilací [7]

- **Prostory s laminární ventilací (jednosměrný proud vzduchu)** - Filtrovaný vzduch je přiváděn do místnosti skrze ventilaci umístěnou po celé stropní ploše a ven se dostává mřížkovým podlahovým systémem. Rychlost proudění se pohybuje kolem 0,4 m/s. Tato metoda spotřebovává mnohem více vzduchu než typ s ventilací turbulentní, zato však poskytuje mnohem efektivnější čištění vzduchu díky lineárnímu směru proudění a rozsáhlejším vývodům.



Obr. 10 Místnost s laminární ventilací [7]

### 3.2 Klasifikace úrovně čistoty dle norem

Na začátku je potřeba zmínit, v jakém měřítku se pohybují normy pro čisté prostory. Základní měřenou jednotkou je jeden mikrometr ( $1\ \mu\text{m}$ ), což je jedna miliontina metru. Pro představu, lidský vlas má průměr přibližně  $70\text{-}100\ \mu\text{m}$  a zdravé lidské oko je schopno vnímat předměty o nejmenší velikosti až  $20\ \mu\text{m}$ . Normy čistoty se však v prostoru zabývají částicemi o rozměrech  $0,1\ \mu\text{m}$  a větší. [2]

Jednotlivé třídy norem jsou tedy sestaveny podle čistoty vzduchu. První taková norma vznikla v USA a byla to norma **Federal Standard 209**, se kterou se můžeme setkat i v dnešních dobách, ale kterou zastínila mezinárodní norma **ISO 14644-1**, používaná nejen ve státech Evropské Unie.

### 3.2.1 Norma Federal Standard 209 (FS 209)

První norma vyšla v roce 1963. Nejnovější novela normy Federal Standard 209 E (*Tabulka 2*) používá pro určení koncentrace částic ve vzduchu kromě angloamerických jednotek (ft<sup>3</sup>) i jednotky metrické (m<sup>3</sup>). [7]

M třídy soustavy SI nesou číslo podle výsledku dekadického logaritmu počtu částic  $\geq 0,5 \mu\text{m}$  na m<sup>3</sup> vzduchu. Příklad: Třída M 3 může mít počet částic  $\geq 0,5 \mu\text{m}$  nejvýše 1000/m<sup>3</sup>. Dekadický logaritmus 1000 je roven 3, odtud třída M 3 (modré označení v *Tabulka 2*). [7]

Třídy anglické soustavy jsou odvozeny podle množství částic  $\geq 0,5 \mu\text{m}$  na ft<sup>3</sup> vzduchu (červené označení v *Tabulka 2*). [7]

*Tabulka 2 Klasifikace normy Federal Standard 209 E (1992) [7]*

Třída		Velikosti částic, objemové jednotky, maximální počet částic/objemová jednotka									
SI	anglická	$\geq 0.1 \mu\text{m}$		$\geq 0.2 \mu\text{m}$		$\geq 0.3 \mu\text{m}$		$\geq 0.5 \mu\text{m}$		$\geq 5 \mu\text{m}$	
		(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )
M 1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10	0.283	--	--
M 1.5	1	1 240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1	--	--
M 2		3 500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	--	--
M 2.5	10	12 400	350	2 650	75.0	1 060	30.0	353	10	--	--
M 3		35 000	991	7 570	214	3 090	87.5	1 000	28.3	--	--
M 3.5	100	--	--	26 500	750	10 600	300	3 530	100	--	--
M 4		--	--	75 700	2 140	30 900	875	10 000	283	--	--
M 4.5	1 000	--	--	--	--	--	--	35 300	1 000	247	7.00
M 5		--	--	--	--	--	--	100 000	2 830	618	17.5
M 5.5	10 000	--	--	--	--	--	--	353 000	10 000	2 470	70.0
M 6		--	--	--	--	--	--	1 000 000	28 300	6 180	175
M 6.5	100 000	--	--	--	--	--	--	3 350 000	100 000	24 700	700
M7		--	--	--	--	--	--	10 000 000	283 000	61 800	1 750

### 3.2.2 Norma ISO 14644-1

Vydána v roce 1999 pod názvem „Klasifikace čistoty vzduchu“ jako první z 8 částí normy ISO 14644. Zbylé části popisují ostatní potřeby čistých prostor a jejich názvy jsou uvedeny na konci této kapitoly. Jednotlivé třídy normy ISO 14644-1 najdete níže v *Tabulka 3*. Počet částic v příslušné třídě je vypočten pomocí vzorce a tento vzorec platí obecně pro všechny třídy i velikosti částic.



Tabulka 3 Klasifikace normy ISO 14644-1 [7]

Třída	Maximální koncentrace (částice/m <sup>3</sup> ) pro jednotlivé velikosti částic					
	≥ 0.1 μm	≥ 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

Tabulka 4 Porovnání jednotlivých tříd dvou hlavních norem FS 209 a ISO 14644-1

Norma	Třída								
FS 209	--	--	Třída 1	Třída 10	Třída 100	Třída 1 000	Třída 10000	Třída 100000	--
ISO 14644-1	Třída 1	Třída 2	Třída 3	Třída 4	Třída 5	Třída 6	Třída 7	Třída 8	Třída 9

Tabulka 4 uvádí shodu jednotlivých tříd mezi sebou (např. třída 100, FS 209 = třída 5, ISO 14644-1). Norma ISO má navíc dvě třídy čistější než je třída 1 u normy FS 209 a jednu třídu méně čistou než je třída 100 000 u normy FS 209.

#### Názvy všech částí normy ISO 14644:

- ISO 14644-1 - Klasifikace čistoty vzduchu
- ISO 14644-2 - Testování a monitorování při dodržení správnosti ISO 14644-1
- ISO 14644-3 - Metrologie a testovací metody
- ISO 14644-4 - Návrh, konstrukce a uvádění do provozu
- ISO 14644-5 - Provozování
- ISO 14644-6 - Podmínky a definice
- ISO 14644-7 - Oddělovací zařízení (rukávcové boxy, izolátory, mini prostředí)
- ISO 14644-8 - Klasifikace molekulárního znečištění vzduchu

## 4 KONSTRUKCE A POUŽITÉ MATERIÁLY

Čisté prostory jsou z hlediska konstrukce a použitých materiálů mnohem náročnější než většina ostatních budov. Důvody jsou tyto [7]:

- Čistý prostor by měl být vzduchotěsný
- Povrchy interiéru by měly být hladké a snadné na údržbu
- Povrchy interiéru by měly být dostatečně pevné, aby odolaly odlamování a drolení při nárazech či odírání
- Některé chemické procesy, čisticí a dezinfekční prostředky i voda mohou napadnout a proniknout do povrchových úprav průměrné kvality
- V některých čistých prostorech je požadováno použití antistatických materiálů
- V některých čistých prostorech je požadováno použití materiálů, které vylučují minimum plynů do okolí, tzv. molekulární znečištění

Konstrukce čistých prostorů se dělí do dvou hlavních směrů, ačkoliv možností samotné konstrukce je více a ne všechny spadají do těchto dvou skupin. [7]

### 4.1 Konvenční stavební metody

Tyto metody konstrukce se – až na malé obměny – příliš neliší od stavby klasických domů. V místnostech jsou podlahy, stropní systémy. Stěny jsou postaveny z cihel a na ně je nanášena mokrá omítka nebo suché obložení (častější varianta). Toto obložení zabere méně času na konstrukci, lze ho snadno opravit, a umožňuje, aby veškeré elektrické rozvody, vzduchotechnika a další potřebné věci byly vedeny za tímto obložením. Ve finále jsou závrtnými šrouby uchyceny sádkartonové desky, které jsou zároveň připevněny jedna k druhé, natřeny základním nátěrem a nabarveny. Barva je volena na základě požadavků čistého prostoru, např. barva na epoxidové bázi.

Jelikož ostré rohy a hrany jsou špatně dostupné, mohla by se zde držet nečistota a mikroorganismy, které by se navíc mohly začít množit. Pro snadné a kvalitní čištění jsou spojnice stěn a spojnice stěny s podlahou a stěny se stropním systémem zaobleny příslušným poloměrem (příklad na *Obr. 11*).



*Obr. 11 Zaoblení stěn a stropního systému (hliníkové provedení) [12]*

Konvenční metodou lze dosáhnout pro svou jednoduchost při nejlepší čistoty třídy ISO 8 (třídy 100 000), z toho důvodu se používají spíše jako vstupní chodby a kontrolní místnosti.

## **4.2 Modulární stavební metody**

Stavební metody, při kterých jsou jednotlivé hotové komponenty dováženy a sestavovány na požadovaném místě. Modulární konstrukce nabízí širokou škálu komponent od firem specializujících se na tuto problematiku, jejich cena se však pohybuje mnohem výše než u konvenční metody.

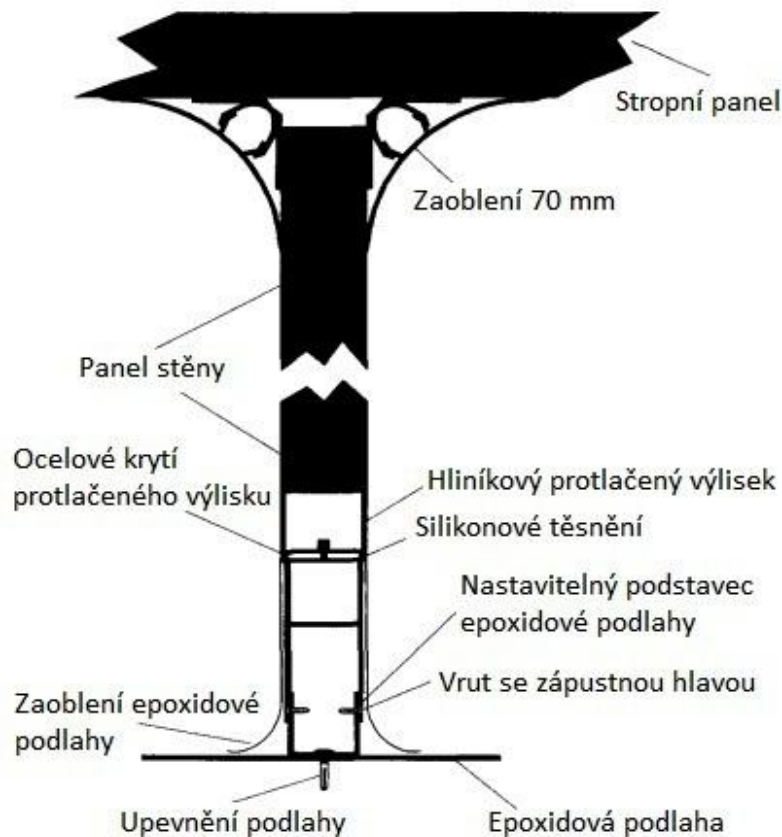
Pro své snadné zkompletování, příjemný vzhled, robustnost a bezproblémový chod patří k nejkvalitnějším, ale zároveň k těm nejdražším komponentům určeným pro čisté prostory. Proto je potřeba volit rozumně a vyvážit kvalitu a cenu tak, aby systém přinesl co nejvíce výhod.

Tato metoda se dále dělí do dvou skupin [7]:

- **Systém bezrámových příček**
- **Rámový systém**

#### 4.2.1 Systém bezrámových příček

Stropy a podlahy jsou konstruovány z tuhých desek o tloušťce 50 mm, které jsou zasazeny do předem připravených dráh. Tyto dráhy se vyrábí z hliníku procesem vytlačování. Jednotlivé komponenty systému jsou zobrazeny na *Obr. 12*.

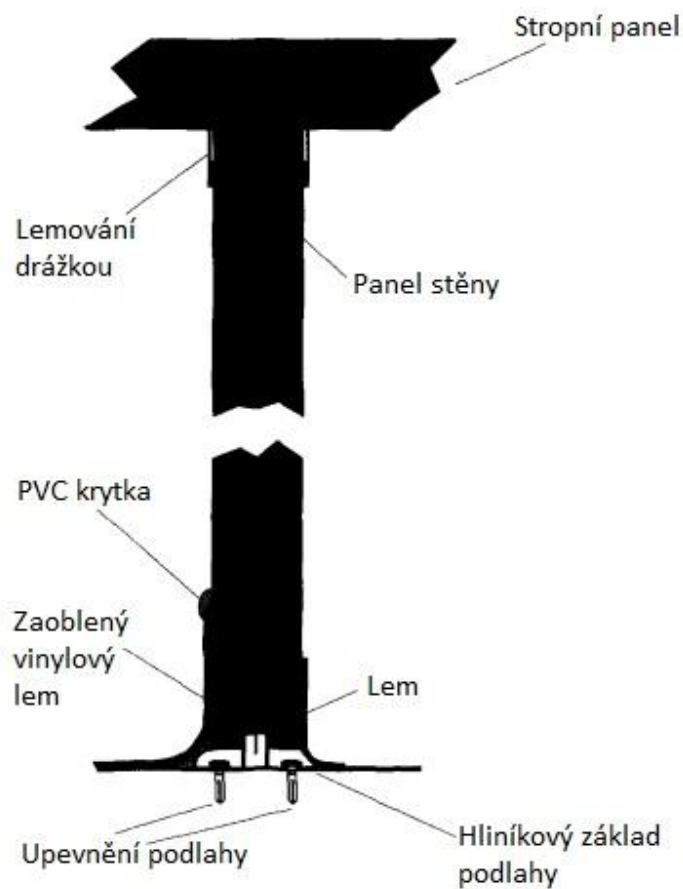


*Obr. 12 Průřez modální metody o vysoké kvalitě [7]*

Panely jsou pokrývány z vnějších stran materiály vhodnými pro čisté prostory, z vnitřních stran materiály dostatečně zpevňující strukturu jádra. Pro vnější strany lze použít plastovou fólii, hliník (anodizovaný, pokrytý práškem nebo smaltovaný) nebo vhodně upravenou měkkou ocel. Jádro může být z omítky, ze skládaných desek, z překližky, z voštiny atd.

#### 4.2.2 Rámový systém

Tento systém se používá například tam, kde je samotný výrobní proces oddělen od zbytku místnosti (izolátory, mini-prostředí). Panely stěny jsou vyráběny z hliníku, skla nebo čirého plastu a jsou vkládány do hliníkových rámců a upevňovány speciálním snadno omyvatelným těsněním.



Obr. 13 Průřez modulární metody o nízké kvalitě [7]

## 5 SOUČÁSTI ČISTÝCH PROSTOR

### 5.1 Dveře a okna

Nejpoužívanějším typem dveří jsou buď plastové s dřevěným jádrem, nebo s povrchem krytým měkkou ocelí a povrchovým nátěrem. Absence dveřních klik je užita tam, kde je potřeba zkvalitnit hygienu a minimalizovat kontaminaci rukou. [6]

Dveře bývají v mnoha případech pouze nasazeny v pantech, pozitivní tlak v místnosti je pak udržuje zavřené. Avšak pro případ otevření (například zatlačením tělem pracovníka) je nutné instalovat systém automatického zavírání dveří. [6]

Jemná tolerance dveří brání průniku vzduchu. To je zvláště užitečné v prostorech s negativním tlakem, kam se nedostane znečištěný vzduch z okolí. Naopak v prostorech s pozitivním tlakem není tato tolerance žádoucí. Brání totiž vzduchu, aby cíleně proudil skrze dveřní otvor. [7]

Prosklené dveře poslouží dobře ke kontrole při přemísťování předmětů ve vzduchové kapse a všude, kde je nutné udržet podtlak. Mimo prosklené je možno instalovat i celoskleněné dveře, které jsou rovněž snadné na údržbu.

K čistým prostorům patří i okna. Odrazují návštěvníky od toho, aby se dovnitř dívali vchodovými dveřmi. Umožňují pozorovatelům sledovat průběh procesu bez jakékoliv změny podmínek a bez nutnosti složitějšího převlékání se do vhodných oděvů. Počet oken by se ale měl držet na co nejnižším možném počtu v rámci daného prostoru.

### 5.2 Podlahy

Pro základ podlahy do čistých prostor lze použít klasický beton. Na něj se pokládá hladká, nepropustná vrstva odolná vůči nejrůznějším chemikáliím. Další požadavky jsou protisklu-zové, elektrostatické vlastnosti a minimum odlučovaných plynů z podlahy. [3]

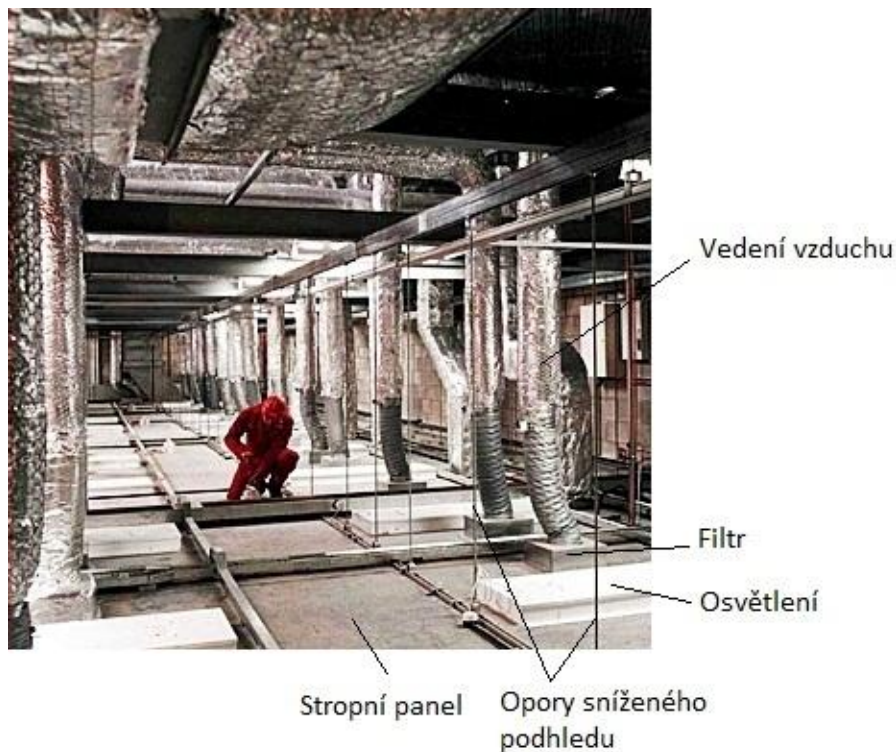
Nejběžnější metoda pokládání podlahy je spájení jednotlivých tenkých vinylových desek k sobě. Ty ovšem nelze použít například při výrobě polovodičů, právě kvůli zmíněnému odplyňování. Méně často se pak používají podlahy typu teraco, které však také plní dobře svou úlohu. [3]

V prostorech s jednosměrným tokem vzduchu, kde vzduch proudí skrze podlahu, se jednotlivé dlaždice pokládají na podstavce.

### 5.3 Stropy

Jedna z nejdůležitějších součástí, která v sobě nese vzduchotechniku včetně některých filtrů, veškeré potrubí, elektrické rozvody anebo integrované osvětlení.

V prostorech s vířivým tokem vzduchu je strop tvořen panely, které těsně lemují uchycení a zabraňují průniku vzduchu. Nad těmito panely se nachází volný prostor, který by měl snést i pohyb osob. Jednotlivé komponenty jsou popsány na *Obr. 14*. [7]



*Obr. 14 Stropní konstrukce (vířivý tok vzduchu) [7]*

Na rozdíl od toho v prostorech s jednosměrným tokem vzduchu je stropní systém tvořen celý z jednotlivých filtrů, které se zasazují do hliníkových rámců a tvoří tak jakýsi kompaktní celek, který zachytává veškeré částice ze vzduchu proudícího do pracovního prostoru.

## 5.4 Vzduchové filtry

Vzduch dodávaný do čistých prostorů musí být filtrován tak, aby byl zbaven částic a mikroorganismů. V 80. letech 20. století byly nejpoužívanější a zároveň nejúčinnější tzv. HEPA filtry (HEPA = High Efficiency Particulate Air). Tento typ vzduchového filtru je schopen ze vzduchu s minimálně 99,97% účinností odstranit částice o velikosti 0,3  $\mu\text{m}$  (částice této velikosti jsou pro HEPA filtry nejobtížněji filtrovatelné). Větší a menší částice jsou filtrovány s ještě vyšší účinností. [7]

S vývojem nahradily HEPA filtry účinnější ULPA filtry (ULPA = Ultra Low Penetration Air). Účinnost těchto filtrů je nejméně 99,999% u částic o průměru 0,1 – 0,2  $\mu\text{m}$ . [7]

Obecně platí, že [7]:

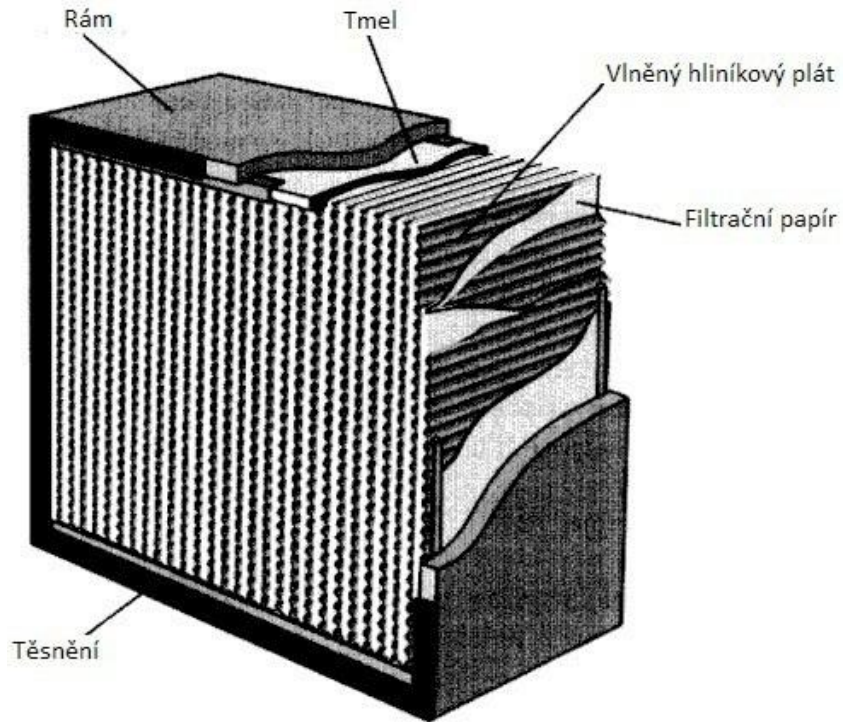
- Pro čisté prostory ISO třídy 6 (US třídy 1000) a horší se používá turbulentní tok vzduchu za přispění HEPA filtrů
- Pro čisté prostory ISO třídy 5 (US třídy 100) se používá jednosměrný tok vzduchu za přispění HEPA filtrů, které tvoří kompletní stropní systém
- Pro čisté prostory ISO třídy 4 (US třídy 10) a lepší se používá jednosměrný tok vzduchu za přispění ULPA filtrů

### 5.4.1 Konstrukce vzduchových filtrů

Konstrukce se dělí do dvou hlavních metod [7]:

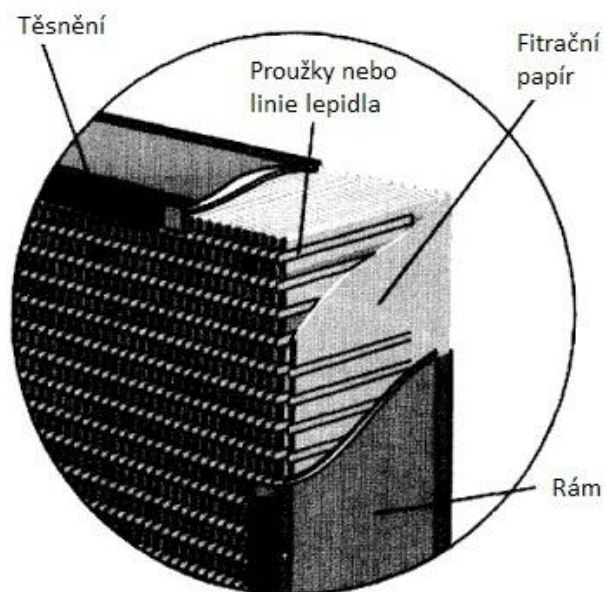
- Hluboké skládané filtry – Role filtračního papíru je překládána přes vlněné hliníkové separační pláty a celý systém je pak vlepen do plastového, dřevěného či kovového rámu. (*Obr. 15*)
- Mini skládané filtry – Obdoba hlubokých skládaných filtrů, avšak místo vlněných hliníkových plátů jsou k překládání použity proužky, nanášené linie lepidla a vytáhnuté zahloubení. Tato metoda zajišťuje 2,5x až 3x více ohybů a tím i větší hustotu skládání. Metoda mini skládaných filtrů je mnohem používanější v prostorech s jednosměrným tokem vzduchu. (*Obr. 16*)





Obr. 15 Řez hluboce skládaného filtru [7]

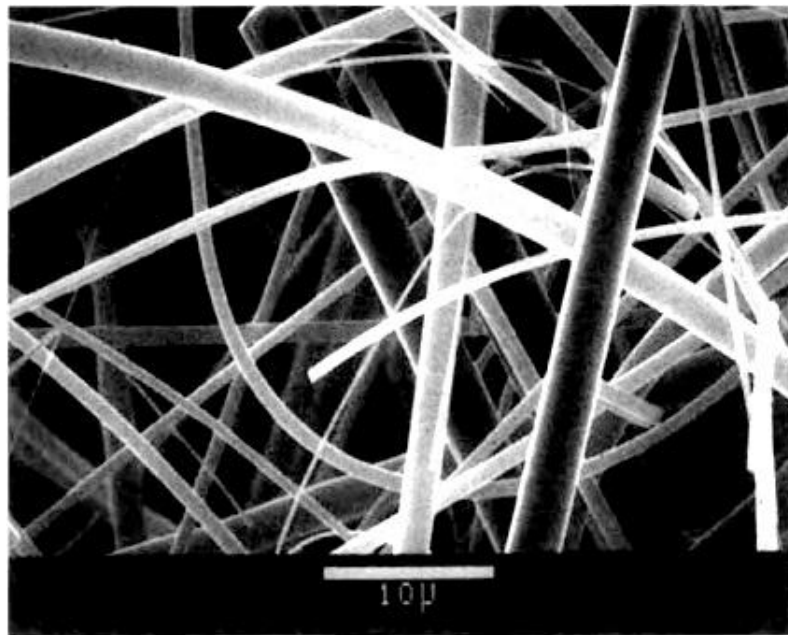
Pokles tlaku v okolí filtru je závislý na rychlosti proudění vzduchu a typu konstrukce filtru. Za nominální hodnotu proudění skrze filtr je považována rychlost 0,5 m/s. Při této rychlosti by se pak měl tlak v okolí filtru pohybovat mezi 120 Pa až 170 Pa. K výměně starého filtru dochází zpravidla při poklesu tlaku o trojnásobek normálního tlaku. [7]



Obr. 16 Řez mini skládaného filtru [7]

#### 5.4.2 Mechanismus odstranění částic ze vzduchu

Vysoce účinné filtry slouží k odstraňování částic o velikosti okolo 2  $\mu\text{m}$  a menší. Pre-filtry zachytávají i větší částice, jsou levnější a dále se jimi zabývat nebudeme. Médium filtrů je vyrobeno ze sklených vláken o průměru od 0,1  $\mu\text{m}$  do 10  $\mu\text{m}$ . Jednotlivá vlákna od sebe bývají vzdáleny o moc více, než je velikost zachycené částice. ULPA filtry obsahují vyšší počet jemných vláken než je tomu u HEPA filtrů. [7]



*Obr. 17 Mikrosnímek média vysoce účinných filtrů [7]*

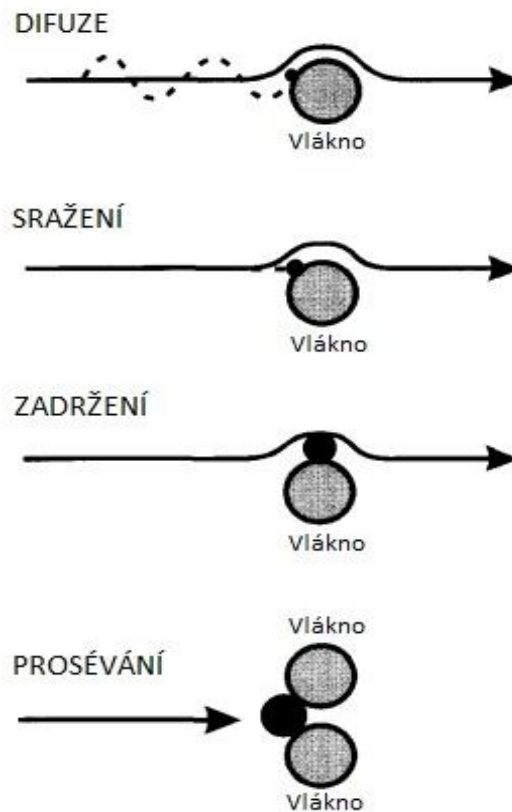
Vlákna nepravidelně a náhodně křížují strukturu filtru a šířka jednotlivých pórů mezi vlákny je tak velice různorodá (viz *Obr. 17*). Při pohybu částic skrze filtr dochází k jejich nárazům do vláken, případně do částic, které již mezi vlákny uvízly. K zachycení částice dojde při nárazu, kdy se vytvoří silné vazby (např. Van der Waalsovy) mezi částicemi a vlákny. [7]

Na *Obr. 18* jsou znázorněny 4 základní možnosti, jak lze zachytit částice ve filtru [7]:

1. **Difuze** – pohyb malých částic probíhá náhodně. Tyto pohyby jsou způsobeny nárazy do ostatních částic, které se ve vzduchu nacházejí.
2. **Sražení** – při průchodu dojde k nárazu částice do vlákna a k jejímu zachycení

3. **Zadržení** – podobné jako sražení, po srážce s vláknem dojde k průchodu částice a jejímu následnému zadržení
4. **Prosévání** – k tomuto jevu dochází, pokud prostor mezi jednotlivými vlákny je menší než samotná velikost částice. V tom případě dojde k zachycení částice.

Největší částice se zachytí při sražení svým setrvačným pohybem, střední částice jsou ze vzduchu odstraněny pomocí přímého zadržení a ty nejmenší částice neprojdou díky difuzi. Zajímavý je fakt, že HEPA filtry jsou při průniku všech částic mnohem efektivnější při zachytávání těch nejmenších a to právě díky difuzi. [7]



Obr. 18 Mechanismy odstranění částic [7]

K testování filtrů dochází po jejich výrobě v určených prostorech. Zde se podrobují testům měření jejich účinnosti při zachycení částic. Podrobnější informace a příklady metod měření naleznete v odborné literatuře a v normách určených pro tyto účely. Dále zde naleznete například jak často je potřeba filtry čistit a měnit v závislosti na dané normě čistoty prostoru.

## 6 ZÁSADY ČISTÝCH PROSTORŮ

### 6.1 Testování a kontrola

Po předání zhotoveného čistého prostoru kupujícímu nebo po odstavení a znovuotevření již umístěného čistého prostoru je vždy zapotřebí provést zahajovací testy tohoto prostoru. Tyto testy zajistí správný chod a dosáhnou toho, aby případná kontaminace byla v normě vzhledem k danému typu čistého prostoru. [5]

Další důvod zahajovacího testování je vytvoření jakýchsi výstupních hodnot, které mohou být v budoucnu užitečné. Při běžné kontrole nebo při náhlém problému lze snadno tyto hodnoty dohledat a dále se jimi řídit. [2]

V neposlední řadě je zahajovací testování zároveň i komplexním seznámením obsluhujícího personálu s chodem čistého prostoru. Toto testování je jejich největší, a možná také jediná, šance na pochopení, jak jejich čistý prostor funguje a na naučení metod, které zajistí stálou funkčnost prostoru. [2]

#### 6.1.1 Principy testování

Předvést, že čistý prostor pracuje uspokojivě, vyžaduje dodržování určitých pravidel [2]:

- Vzduch, dodávaný do prostoru, musí být v dostatečném množství na to, aby adekvátně zmírnil nebo odstranil kontaminaci vznikající v prostoru.
- Vzduch uvnitř čistého prostoru by se měl pohybovat od nejčistších míst až po ty nejméně čisté. Tak zajistíme, aby se kontaminovaný vzduch zbytečně nešířil prostorem. Vzduch by se měl pohybovat správnými směry skrze vstupní dveře a konstrukci prostoru.
- Kvalita dodávaného vzduchu do čistého prostoru musí být na takové úrovni, aby více neznečistil vnitřní prostor.
- Pohyb vzduchu uvnitř čistého prostoru musí být takový, aby byla zajištěna jeho stálá čistota a nevyskytovala se zde místa s vyšší koncentrací kontaminace.

### 6.1.2 Jednotlivé testy čistých prostor

1. **Množství dodávaného a odváděného vzduchu:** V případě turbulentního pohybu vzduchu měříme přímo jeho objem, u jednosměrného toku vzduchu měříme jeho rychlost průtoku.
2. **Kontrola pohybu vzduchu mezi prostory:** Zjišťuje, je-li správný tlak mezi jednotlivými prostory, a s tím související pohyb vzduchu, který by měl být od nejčistších po nejméně čisté prostory.
3. **Testy těsnosti instalovaných filtrů:** Zajišťují, aby se kontaminace nedostala skrze poškozený filtr, skrze filtr a jeho upevnění nebo jinou část instalovaného filtru.
4. **Testy těsnosti konstrukce prostoru:** Starají se o to, aby nedošlo k vniknutí kontaminovaného vzduchu skrze jakoukoliv část konstrukce.
5. **Kontrola pohybu vzduchu uvnitř prostoru:** Záleží na typu pohybu vzduchu. U turbulentního pohybu vzduchu sledujeme jeho dostatečný pohyb v celém prostoru. U jednosměrného pohybu vzduchu sledujeme jeho průtokovou rychlost a směr, který byl předem navržen pro tento prostor.
6. **Koncentrace částic ve vzduchu a mikrobiální koncentrace:** Finální měření, zaměřující se na počet částic, případně na počet mikroorganismů ve vzduchu. Toto měření musí odpovídat stanoveným hodnotám příslušného prostoru.
7. **Dodatečné testy:** Tyto testy zahrnují kontrolu teploty, relativní vlhkosti, schopnosti topení a chlazení, úroveň hluku, úroveň osvětlení a úroveň vibrací.

## 6.2 Pokyny pro pracovníky v „cleanroom“ prostorech

Tato kapitola stručně shrnuje hlavní požadavky na personál, který se chystá vstoupit do čistého prostoru. S podrobnějším návodem, jak správně postupovat a jak se chovat před vstupem do prostoru, uvnitř prostoru i po výstupu z něj, je možné seznámit se v odborné literatuře.

Lidé mohou ze své kůže a oblečení rozptýlit až několik milionů částic a několik tisíc bakterií. Je proto důležité, aby do prostoru vstupovali v oblečení, které minimalizuje toto rozptýlení.

Oblečení, vhodné pro čisté prostory, je vyrobeno z látek, které se nerozpadají a netvoří chomáče. Zároveň slouží jako ochrana proti částicím, které se mohou odloučit z kůže pracovníka a dostat se do okolí. K těmto kombinézám dále přísluší plášť, kukla, rouška, boty ke kolenům a rukavice. Je důležité dbát na čistotu veškerého oblečení i příslušenství. Některé součásti lze použít opakovaně, jiné jsou určeny pouze k jednomu použití. [7]

Pokud není pro vstup určena speciální obuv a použitá venkovní obuv není jakkoliv krytá, umísťuje se před vstup do šaten speciální lepkavá podložka, na kterou se při průchodu nalepí nečistoty z podrážek bot (*Obr. 19*). Existují dva základní typy podložek. První je tvořena z tenkých lepkavých vrstev (při znečištění se odstraní svrchní vrstva a podložka s novou vrstvou je opět připravena k použití) a druhá pouze z jedné tenké vrstvy syntetického lepidla (při znečištění lze povrch podložky očistit a znovu použít).



*Obr. 19 Speciální lepkavá podložka [13]*

Důležitá je také osobní hygiena pracovníka. Ovšem jak často je potřeba se sprchovat není zcela jasné. Samozřejmostí je omytí například po střihání vlasů. Existují navíc i typy lidí, kterým se při sprchování smývají kožní mazy a tím se zvyšuje suchost pokožky. Následnému zvýšenému odlupování je možno zabránit dodatečným použitím tělových krémů. [7]

Personál by se měl vyvarovat použití kosmetiky, vlasových sprejů, laků na nehty a jiných chemických přípravků, které by mohly kontaminovat prostředí čistého prostoru. V případě, že některé z těchto přípravků použil, je nutné je důkladně odstranit. Před samotným vstupem je také potřeba odložit prstýnky, řetízky, hodinky a jiné cennosti. [7]

Před samotným oblékáním speciálního oděvu by se měl pracovník vysmrkat (uvnitř prostoru již nelze toto vykonat, musel by vyjít ven) a zajít si na záchod, aby později nemusel podstupovat zbytečnou proceduru kompletního svlékání a zpětného oblékání oděvu. [7]

### 6.3 Čistota a údržba čistých prostorů

K údržbě čistých prostorů patří i jejich pravidelné čištění. Přestože zde lidé vstupují ve speciálním oděvu, nezabrání rozptylování v počtu až 100 000 částic  $\geq 0,5 \mu\text{m}$  a přes 10 000 částic  $\geq 5 \mu\text{m}$ . Také stroje rozptýlí milióny částic. Mnoho větších částic tak pomocí gravitační síly ulpí na vodorovných površích. [6]

Lidské oko je schopné zachytit částici o velikosti  $50\mu\text{m}$ , proto i zdánlivě čistý prostor může být na své poměry velice znečištěn. Toto znečištění můžeme zpozorovat jen při velkých koncentracích a hromadění. Pokud se tak skutečně stane, tento prostor již dávno není přijatelně čistý. [6]

Aby prostor opravdu čistý byl, používá se pro pravidelný úklid jedna i více následujících možností [7]:

#### 1. Vysávání

##### 1.1. Suché vysávání

Účinnost vysávání je závislá na síle sání. Ani při největší síle však nedokáže zcela vysát menší částice (asi 25% úspěšnost vysání částic o velikosti  $10 \mu\text{m}$ ). Zato zcela odstraní částice kolem  $100 \mu\text{m}$ . S rostoucí velikostí částic se tak úspěšnost na jejich vysátí zvyšuje.

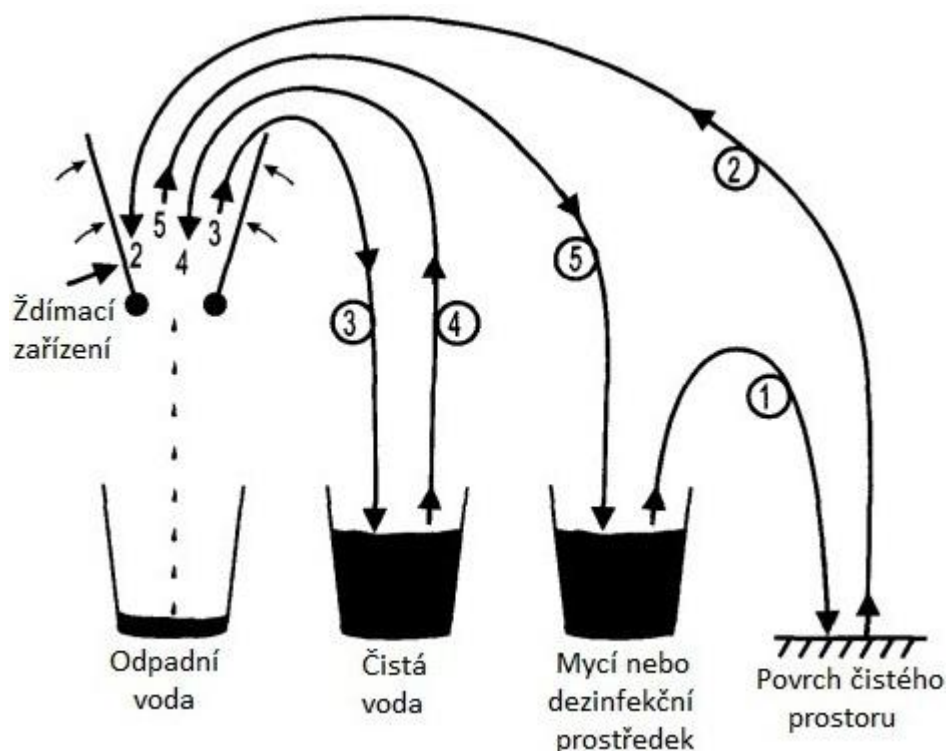
##### 1.2. Mokré vysávání

Obdoba suchého vysávání, jen s rozdílem použití kapaliny, která je účinnější při porušování různých typů soudržných sil, které působí na nečistoty.

## 2. Vytírání

### 2.1. Vytírání mopem

Použití hlavně na podlahy. Zaručují přímý kontakt mezi mopem a částicemi, které ulpí na povrchu. Mokrý vytírání je účinnější než suché, speciální vlákna mopu lépe odstraní nečistoty. Pro velmi efektivní úklid možno použít dvou nebo i tři kbelíkový systém (Obr. 20).



Obr. 20 Postup úklidu se tři kbelíkovým systémem [7]

### 2.2. Utírání vlhčeným ubrouskem

Ubrousky jsou napuštěny mycím nebo dezinfekčním prostředkem a slouží pro odstranění nečistot z méně dostupných míst a menších ploch. Zároveň s nimi můžeme očistit i produkty vyrobené uvnitř prostoru.

## 3. Zachytávání pomocí lepkavého válečku

Velikostí i vzhledem připomíná natěračský váleček. Povrch válečku je lepkavý a po přejetí přes znečištěný povrch zachytává částice.





*Obr. 21 Lepkavý váleček [14]*

Odstavce, uvedené v kapitole 6.2, jsou úzce spjaty s touto kapitolou. Právě díky těmto (a v odborné literatuře i dalším) zásadám a pokynům je možné udržet čistý prostor v takovém stavu, pro jaký byl navržen a zkonstruován. Jeho pravidelné monitorování a testování čistoty vzduchu pomůže včas odhalit technickou závadu, případně i potenciálně nebezpečné pracovníky, kteří nedbají pravidel a příkazů týkajících se práce v čistém prostoru.

### **6.3.1 Kapaliny určené pro úklid čistých prostor**

Ideální kapalina určená pro úklid by měla splňovat tato kritéria: Netoxická pro člověka, nehořlavá, rychle schnoucí (ne však nežádaně), neškodná pro povrchy, nezanechávající kontaminaci, efektivní v odstraňování nežádoucí kontaminace, cenově dostupná. [7]

Avšak taková kapalina, která by splňovala všechna kritéria najednou, neexistuje. Proto je potřeba dělat určité kompromisy podle dané situace a potřeby. Například velmi čistá voda splňuje mnoho z výše uvedených požadavků, dochází však díky ní ke korozi a bez použití příměsí saponátů je velice neúčinná při úklidu. [3]

V odborné literatuře lze dohledat typy prostředků a jejich použití pro jednotlivé povrchy a nečistoty, ať už se jedná o neživé částice nebo mikroorganismy. Správnost použití zaručí čisté prostředí pro další průběh výroby. Provoz čistého prostoru se musí řídit podle daných pravidel a každý, kdo přijde do kontaktu s tímto prostorem, by měl tato pravidla důkladně znát.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 KONCEPT

Celý koncept je zaměřen na jeho možnou realizaci v rámci Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Univerzita disponuje strojem pro vstřikování polymerů, který bude použit při tomto návrhu a o který se budou opírat nezbytná data pro vytvoření konceptu čistého prostoru. Samotný stroj však nelze použít v reálné situaci, protože nemá vhodné vybavení a tudíž není určen pro práci v čistých prostorech.

### 7.1 Vstřikovací stroj

Pro vstřikování polymerů v čistém prostředí je nezbytnou součástí vstřikovací stroj a jeho příslušenství. V této souvislosti se jedná o stroj firmy ARBURG, která se výrobou vstřikovacích strojů a širokým spektrem doplňků zabývá již od roku 1923. V *Tabulka 5* jsou uvedeny parametry použitého stroje (*Obr. 22*).

*Tabulka 5 Parametry vstřikovacího stroje*

Název stroje	ARBURG allrounder 420C 1000-350 advance	
Uzavírací síla	kN	1000
Otevřená délka zdvihu	mm	750
Vzdálenost mezi vodícími tyčemi	mm	420x420
Vstřikovaný objem	cm <sup>3</sup>	182
Vstřikovací tlak	bar	2000
Váha stroje	kg	4000



*Obr. 22 ARBURG Allrounder 420C 1000-350 advance [8]*

## 7.2 Speciální vybavení vstřikovacího stroje

### 7.2.1 Multilift H

Multilift H je ideální pro aplikace v čistých a bezprašných prostorech. Nízká hmotnost základního vybavení, servoelektrická osa pojezdu a pneumatická osa pojezdu zajišťují rychlé posuvy, minimální dobu zásahu a nízkou spotřebu energie. Polohu úchopu a odložení lze libovolně programovat. V tomto případě je vhodný zejména pro odebrání výstřiků na dopravní pás a pro separaci vtoků, které jsou v čistém prostoru nežádoucí. [8]



Obr. 23 Horizontální zařízení Multilift H [8]

### 7.2.2 Dopravní pás s krytím

Zajistí bezpečný přesun výrobku ze vstřikovacího stroje do čistšího prostoru a to hlavně díky tunelovému krytí kolem celého dopravního pásu.

### 7.2.3 Ionizační jednotka

Umístěná nad vstřikovací formou, zajistí stabilní přísun čistého vzduchu po celou dobu vstřikování. Při manipulaci s formou je možno ionizační jednotku jednoduše odklopit a s formou pohybovat.

Ionizace vzduchu minimalizuje vytváření statické elektřiny, pre-filtr a HEPA filtr zachytávají nečistoty. Vzduch je do ionizační jednotky vháněn pomocí instalovaných ventilátorů. Slangově se tomuto proudu ionizovaného vzduchu říká „tajfun“. Důležitý je také přetlak

v prostoru ionizační jednotky, o který se starají ventilátory a který zabraňuje vstupu částic do prostoru kolem vyhozených výstřiků.

#### 7.2.4 Další speciální vybavení

- **Zapouzdřené, kapalinou chlazené pohonné systémy** - použity namísto standardních vzduchem chlazených systémů, zamezují víření částic ve vzduchu.
- **Speciální barva stroje** - světlá barva (bílá nebo šedá), pro lepší viditelnost nečistot a celkový dojem čistoty.
- **Vyšší, antivibrační podložky** - zabraňují nechtěným vibracím stroje a současně jeho vyšší umístění umožňuje snadnější úklid pod strojem.
- **Centrální rozvod materiálu** - pro zajištění čistoty materiálu a prostředí, použit místo klasické násypky na granulát umístěné přímo na stroji.

### 7.3 Vstříkovaný materiál

Základní vstříkované materiály pro produkci v čistých prostorech se výrazně neliší od materiálů u klasického vstříkovaní. *Tabulka 6* uvádí pro příklad procentuální poměr spotřeby polymerů při celkovém využití a zvláště potom v medicíně.

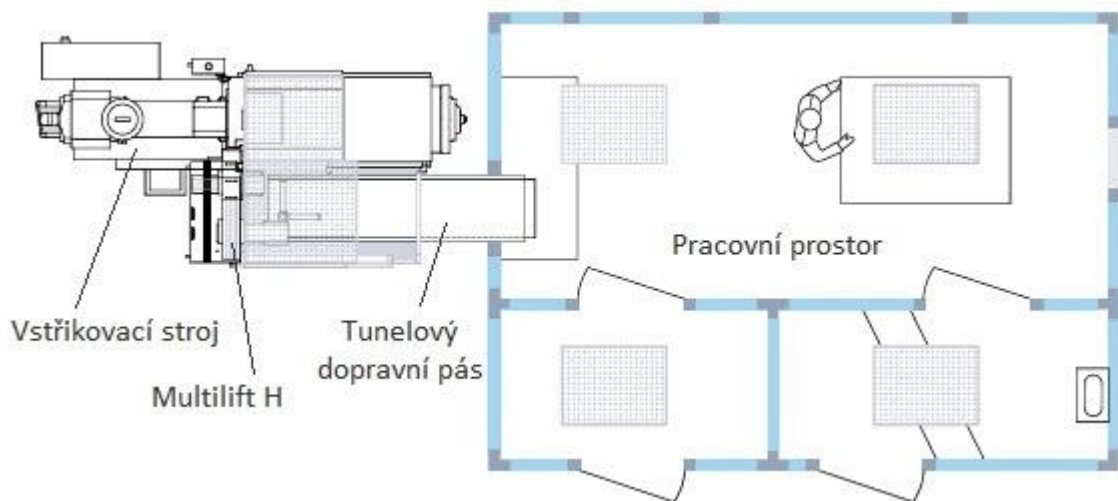
*Tabulka 6 Světová spotřeba polymerů celkově a v medicíně*

Druh plastu	svět v % (205 Mt) k roku 2003	medicína v % (2,76 Mt) k roku 1997
Polyvinylchlorid (PVC)	16,5	28
Polyethylén (PE)	32	23,6
Polypropylén (PP)	20	16
Polystyrén (PS)	12	13,8
Polyester (PBT, PET aj.)	5	3,75
ABS + SAN	3,6	3,02
Polykarbonát (PC)	1,25	2,47
Termoplastické elastomery (TPE)	-	2,47
Ostatní	9,65	6,89

Ve většině oborů však najdeme i výrobky, které vyžadují specifické fyzikální a chemické vlastnosti a kterým by běžné materiály již nevyhovovaly, případně vyžadují dodatečné povrchové úpravy pro získání požadovaných vlastností.

Čistých prostorů není pak zapotřebí jen při vstřikování, ale i při zmíněných dodatečných úpravách. Příkladem může být např. lakování automobilových světlometů, kde každá sebemenší nečistota ulpí na povrchu a následný nános vrstvy laku zviditelní nerovný povrch a znehodnotí tak samotný světlomet.

#### 7.4 Schéma umístění vstřikovacího stroje



Obr. 24 Umístění stroje vůči čistému prostoru [8]

Samotný vstřikovací stroj je umístěn mimo pracovní prostor, proto při jakémkoliv seřizování nebo při problémech se strojem nedochází ke kontaminaci uvnitř prostoru. Při vstřikování v souvislosti s čistým prostorem je zapotřebí, aby výstřik nepřišel do kontaktu s prachovými částicemi. Ihned po vyhození z formy putuje dopravním pásem přímo do čisté zóny, kde je možná další manipulace s výrobkem. Výrobky jsou zde odebírány a:

1. Baleny po jednom nebo i po více kusech tak, aby nedošlo k jejich znečištění nebo poškození. Po správném zabalení jsou připraveny k transportu do míst, kde jsou použity k dalším účelům. O dalších postupech případně rozhodne odběratel.
2. Kompletovány spolu s do prostoru dodanými komponenty přímo na místě. Poté mohou být baleny stejně jako v předchozím případě.

## 8 ČISTÝ PROSTOR

Pro návrh čistého prostoru se uvádí pár užitečných rad, která se liší podle daného odvětví výroby. Při použití výrobků pro mikroelektronický průmysl je doporučeno:

1. Zajistit kontrolovaný vstup pro případná další přípojná zařízení bez nutnosti vypnutí jednotlivých systémů nebo celého čistého prostoru.
2. Zajistit adekvátní rychlost vzduchu tak, aby předcházela jeho nepohyblivosti a víření nečistot.
3. Předcházet kolísání tlaku za chodu. Týká se to všech procesů spojených s dodáním a výdejem, např.:
  - Přísun a odvod plynů.
  - Přítok a odtok kapalin.
  - Přívod elektrické energie a její uzemnění.
4. Pravidelně kontrolovat přípojná body a ventily pro všechny plyny a kapaliny, aby nedošlo ke kontaminaci během aktivního procesu. Případnou kontaminaci nelze zpětně odstranit.

### 8.1 Stavební metoda

Výstavba, včetně stěnových, stropních a podlahových prvků by měla vyhovovat předpisům ohledně požární ochrany, zvukové a tepelné izolace. Úpravy povrchů a veškeré spojovací prvky by pak měly být kompatibilní při použití konkrétních čistících metod.

Existuje mnoho přijatelných metod a materiálů pro konstrukci čistých prostorů od ‘on site‘ metody až po plně zkompletovaný prostor dodaný na místo určení. Volba metody konstrukce závisí především na místě určeném pro čistý prostor (např. přístupové rozměry prostoru, nosná kapacita, odchylky struktur atd.)

Metoda, kterou bude v našem případě čistý prostor zkonstruován, je dnes i jednou z nejčastěji používaných metod. Jedná se o sestavení čistého prostoru přímo na místě, tzv. metoda ‘on site‘. Jednotlivé komponenty jsou již zhotoveny, dovezou se na místo sestavení a postupně se upevňují do celku. Specializované firmy zajistí veškeré potřebné vybavení včetně realizace a sestavení na požadovaném místě.

Tyto modulární, samostatně stojící konstrukce mají nesporné výhody oproti jejich pevným, vestavěným protějškům:

- Výrazně snižují čas stavby a náklady na stavbu (méně designování, budování a konstrukce).
- Lze je kdykoliv rozložit, rozšířit, změnit jejich polohu, velikost a v neposlední řadě je můžeme v případě potřeby prodat jako připravené celky.
- Všechno vybavení spojené se vzduchem a jeho filtrací je vestavěno přímo do stropní části konstrukcí.
- Veškeré elektrické rozvody jsou předem instalovány jako součást inženýrského návrhu.

## 8.2 Velikost prostoru

Velikost prostoru se odvozuje od skutečného využitého místa. Reálná simulace procesů probíhajících v prostoru nám mohou pomoci vyměřit jeho velikost. V první fázi je třeba rozvrhnout umístění vybavení, to znamená ustavit stoly, stolky, židle, sběrné koše pro materiál, případné další dodané komponenty. V druhé fázi zajistit dostatek volného prostoru pro pohyb osob, případný dodatečný prostor pro odklad či přesun vybavení. Obecně se říjíme pravidlem čím méně, tím lépe. To znamená omezit počet a pohyb osob, vybavení, výrobků. Snížení objemu prostoru znamená méně použitých HEPA filtrů, menší objem vyměněného vzduchu, méně použitých čisticích prostředků, zkrátka menší náklady na nákup vybavení a následný provoz prostoru.

## 8.3 Charakter proudění vzduchu

Cirkulovaný či necirkulovaný vzduch je jedním ze základních charakterů proudění vzduchu. Cirkulovaný vzduch zajistí stálou čistotu vzduchu, chrání před smícháním s okolním vzduchem a lépe se dá kontrolovat teplota a vlhkost prostoru. Filtry navíc filtrují už filtrovaný vzduch, proto mají delší životnost.

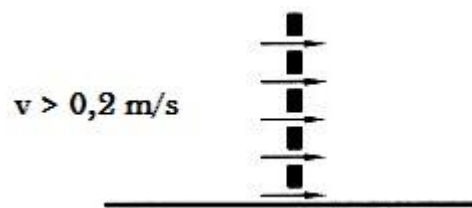
Vzduch vedený v návrhu čistého prostoru není cirkulovaný, čili je dodáván z okolního prostoru a poté do něj opět vypouštěn a míchán spolu s čerstvým vzduchem. Ušetří se tím náklady na nákup a instalaci cirkulační soustavy a další práci se vzduchem.



### 8.3.1 Bariéry k zabránění kontaminace prostoru

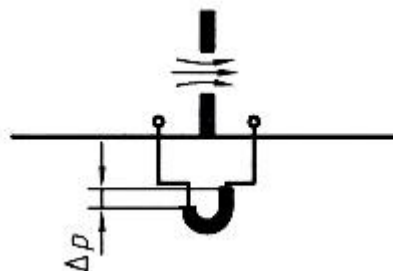
Pro zajištění kvalitní čistoty vzduchu v prostoru můžeme využít potenciál samotného proudícího vzduchu, případně od sebe prostory fyzicky zcela oddělit. Známe 3 základní koncepty pro dosažení izolovaného prostoru [15]:

1. **Koncept vytlačení (nízký tlakový rozdíl, vysoká rychlost proudění)** - tento koncept oddělí jednotlivé prostory podle potřeby, rychlost proudění by měla být vyšší než 0,2 m/s a vzduch by měl být veden od nejčistšího po nejméně čistý prostor.



Obr. 25 Koncept vytlačení [15]

2. **Koncept rozdílných tlaků (vysoký tlakový rozdíl, nízká rychlost proudění)** - pomocí techniky lze zajistit stabilní přetlak v místnosti, kam se nedostanou žádné částice. Hodnoty tlaku se pohybují mezi 5 až 20 Pa, aby bylo možné otevřít dveře.



Obr. 26 Koncept rozdílných tlaků [15]

3. **Koncept fyzické bariéry** - tento koncept zahrnuje použití nepropustných bariér k zabránění přenosu kontaminace z méně čistých do čistších prostorů.

(Pozn.: Všechny tři uvedené koncepty je možné použít v odvětvích kosmetiky, výroby polovodičů, potravin a v jiných průmyslových odvětvích)

### 8.3.2 Příklady klasifikace čistých prostorů

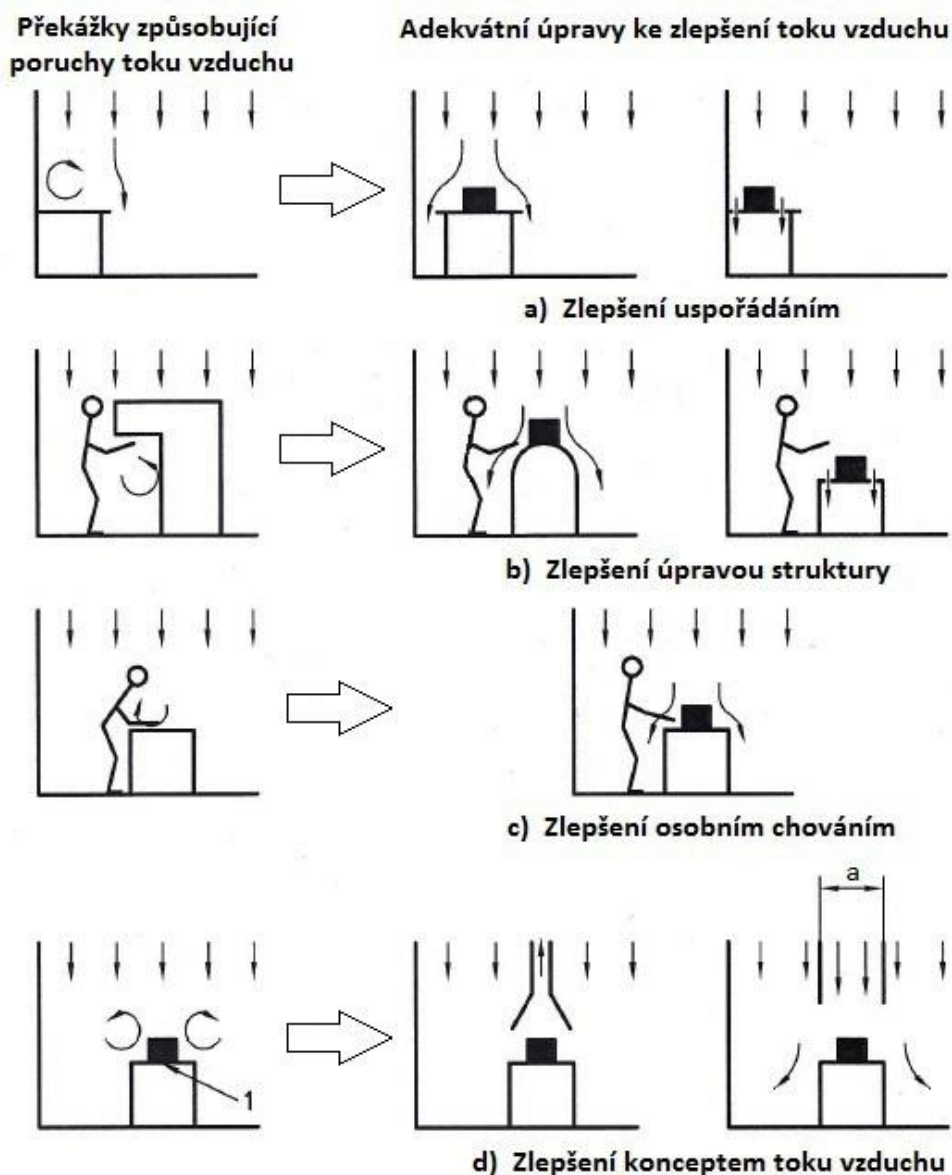
Tabulka 7 uvádí klasifikaci do jednotlivých ISO norem u prostorů vymezených pro práci s mikroelektronikou. Čistší prostory vyžadují laminární proudění, naopak u méně čistých je turbulentní proudění dostačující. Tomu odpovídá i rychlost proudění (laminární) nebo objem vyměněného vzduchu v prostoru za jednotku času (turbulentní).

Tabulka 7 Směrnice pro čisté prostory pracující s mikroelektronikou [15]

Třída čistoty vzduchu <sup>a</sup> (ISO)	Typ proudění vzduchu <sup>b</sup>	Průměrná rychlost proudění vzduchu <sup>c</sup> (m/s)	Počet výměn vzduchu za hodinu <sup>d</sup> (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · h)	Příklady využití prostoru
2	U	0,3 až 0,5	na	Fotolitografie (ofset), zóna výroby polovodičů <sup>e</sup>
3	U	0,3 až 0,5	na	Pracovní zóny, zóna výroby polovodičů
4	U	0,3 až 0,5	na	Pracovní areály, výroba vícevrstevných ochran, výroba kompaktních disků, zóna údržby a opravy polovodičů, užitkové prostory
5	U	0,2 až 0,5	na	Pracovní areály, výroba vícevrstevných ochran, výroba kompaktních disků, zóna údržby a opravy polovodičů, užitkové prostory
6	N nebo M <sup>f</sup>	na	70 až 160	Užitkové prostory, výroba vícevrstevných ochran, zóna údržby a opravy polovodičů,
7	N nebo M	na	30 až 70	Prostory pro opravy a údržbu, úpravy povrchů
8	N nebo M	na	10 až 20	Prostory pro opravy a údržbu
na = nelze aplikovat				
a Státy spojené s třídou ISO definovaly a předem souhlasily s ustanovením optimálních podmínek.				
b Uvedený typ proudění odpovídá čistému prostoru dané třídy: U = unidirectional (jednosměrný, laminární); N = non-unidirectional (nejednosměrný, turbulentní); M = mixed (kombinace U a N).				
c Průměr rychlosti proudění vzduchu je obvyklá specifikace jednosměrného toku vzduchu v čistých prostorech. Nároky na tento průměr závisí na parametrech prostoru (např. geometrie, teplotní stav, atd.)				
d Počet výměn vzduchu za hodinu je obvyklá specifikace nejednosměrného toku vzduchu v čistých prostorech. Předpokládaný počet výměn vzduchu je vztažen na prostor o výšce 3 metry.				
e Zvážena by měl být i technika zcela neprostupné bariéry.				
f S efektivním oddělením zdroje kontaminace od chráněné zóny. Může být vytvořena jak fyzická, tak i proudem vzduchu vytvořená bariéra.				

### 8.3.3 Řešení problémů u laminárního proudění vzduchu

Proudění laminárnímu je nutno přizpůsobit i ustavení vybavení a chování personálu uvnitř prostoru (příklady na *Obr. 27*). Tato zlepšení napomůžou přesnému toku vzduchu bez vzniku nežádoucích vírů a kontaminace částicemi. Kvůli laminárnímu proudění je navíc třeba nakoupit speciální tvarově a funkčně vyhovující vybavení.



#### Vysvětlivky

- 1 Zdroj tepla
- a Lokální zvýšení rychlosti toku vzduchu

*Obr. 27 Úpravy pracovního prostředí pro zlepšení toku vzduchu [15]*

## 8.4 Výběr ISO normy

Při volbě vhodné normy je zapotřebí uvědomit si, co vše se bude v prostoru provádět, jaký maximální počet osob se bude v prostoru pohybovat, velikost prostoru, vybavení prostoru (židle, stoly, materiál, výrobky, atd.), náchylnost výrobků ke kontaminaci a další.

Pro větší prostor není v našem případě zapotřebí vysoké kvality ovzduší. V tomto prostoru je vstřikovací stroj chráněn svým krytím, je pouze potřeba udržet stroj v dostatečné čistotě. Toho v případě potřeby docílíme přidavným čistým prostorem s měkkou stěnou (*Obr. 28*), ve kterém bude stroj umístěn. I přesto je však nutné udržovat neustálý pořádek a čistotu tak, aby byla zajištěna dlouhá životnost HEPA filtrů bez nutnosti jejich časté výměny.



*Obr. 28 Čistý prostor s měkkou stěnou [9]*

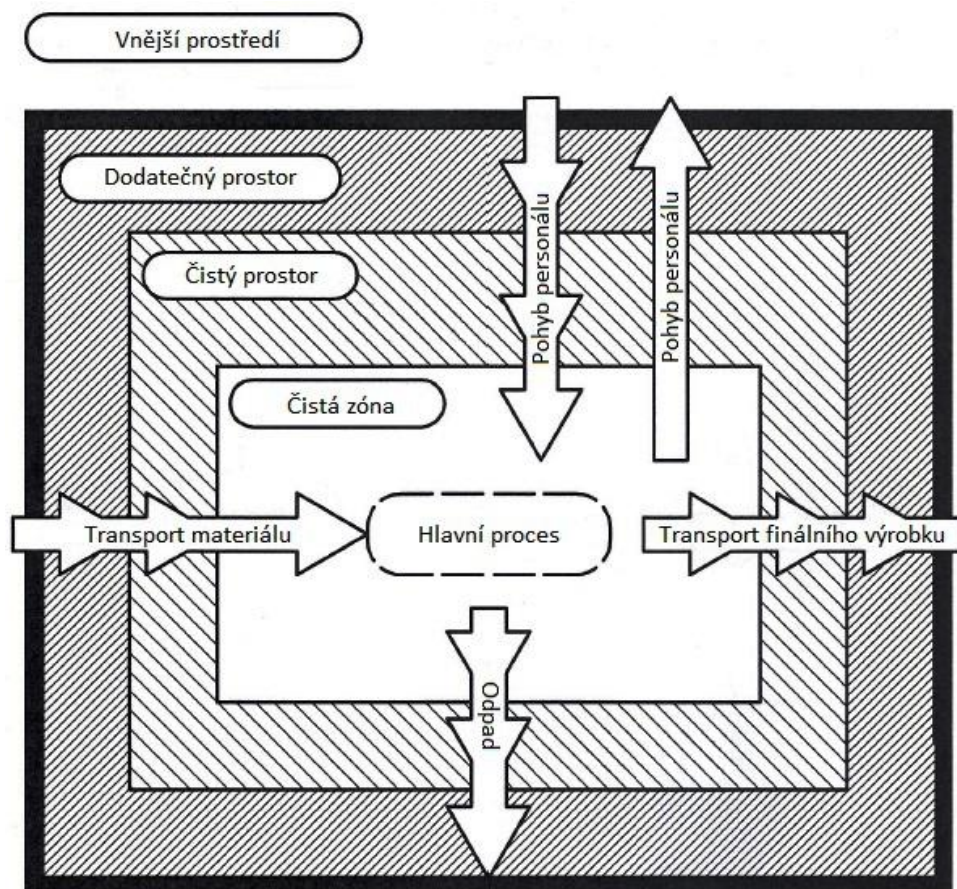
Pro čistý prostor jsem zvolil normu ISO 5, jelikož zde přímo dochází k manipulaci s výrobkem. Částečně teplý povrch výrobku je elektricky nabitý a stále přitahuje částice. Proto je vhodné před výstupem výrobku z dopravníku umístit další sprchu s ionizovaným vzduchem, který vybijí statickou elektřinou nabitý výstřik. Stabilní jednosměrný tok vzduchu obstará dostatečný počet výkonných ventilátorů umístěných ve stropní části.

Vhodně zvolenou normu je samozřejmě zapotřebí řádně odzkoušet, další zkoušky je poté nutno provádět pravidelně tak, jak doporučují samotné normy ISO pro testování a kontrolu čistých prostorů.

## 9 DODATEČNÉ PROSTORY A VYBAVENÍ

Ohledy by měly být brány i na doplňkové prostory a vybavení k prostorům čistým. Bez těchto prostorů a vybavení by nemohl čistý prostor sloužit tak, jak by měl. Mezi ně patří např. prostory pro údržbu a opravu, prostory pro čisticí prostředky, přípravné prostory, toalety a prostory pro občerstvení. Všechny prostředky a činnosti spojeny s výše jmenovanými prostory se musí pojit s čistým prostorem tak, aby nebyl žádným způsobem omezován v provozu právě v důsledku možné kontaminace. Jejich umístění a sloučení by proto mělo být bráno na zřetel.

*Obr. 29* poukazuje na logické propojení všech místností. Ve středu schématu je prostor nejčistší, na okraji je pak nejméně čistý prostor a dále běžné životní prostředí. Mezi prostory jsou zakresleny pohyby osob i materiálů. Mezi jednotlivými prostory je navíc nezbytné udržovat stálý tlakový rozdíl (viz. Bariéry k zabránění kontaminace prostoru).



*Obr. 29* Schéma skladby prostorů [15]

## 9.1 Vstupní a výstupní prostory

Počet spojovacích prostorů mezi čistým prostorem a ostatními by měl být minimální. Účinné prostředky by měly zamezit kontaminaci při vstupu nebo výstupu osob, materiálu nebo samotného vzduchu. Klasický vstup by pak měl být veden skrze průchod nebo vzduchový uzávěr (platí pro osoby i personál).

U vzduchových uzávěrů bychom měli dbát na to, aby nebyl zároveň otevřen vstup i výstup. Okna ve dveřích slouží k vizuální kontrole mezi dveřmi. Problémům je možné předejít instalací automatického blokování dveří včetně audio-vizuálních ukazatelů.

Nouzové východy by měly být opatřeny indikátory, které upozorní na jejich případné otevření.

## 9.2 Šatny

Šatny jsou specializované vzduchové uzávěry pro vstup a výstup personálu. Velikost šatny by měla být dostatečně prostorná a vybavená pro úkony v šatně probíhající. Mimo jiné k nim mohou náležet také vzduchové sprchy, čističe bot, lepkavé podložky a další.

Dostatečné vybavení šatny by se mělo odvíjet od požadované čistoty čistého prostoru, stejně jako čistota šatny. Pro udržení požadované ochrany je třeba dělit šatnu na tři hlavní funkční zóny [15]:

- a) vstupní zóna: vyčleněna pro odložení, uschování, zlikvidování a/nebo úpravu oblečení a těch osobních věcí, které jsou v čistém prostoru zakázány;
- b) přechodná zóna: prostor, ve kterém se nachází oblečení a osobní vybavení určené pro čistý prostor. Zde je možno se obléct, vysvléct, upravit oblečení a jiné;
- c) kontrolní zóna: finální část, kde probíhá poslední kontrola správnosti oblečení a kde se nachází vstup do čistého prostoru.

Tyto tři zóny mohou být odděleny také fyzickou bariérou (např. lavička pro překročení nebo vzduchový uzávěr). Všechny zóny by měly být navrhnuty tak, aby zóna nejbližší čistému prostoru zajistila co největší stupeň jistoty proti kontaminaci.

### 9.2.1 Vlastní vybavení

Doporučené vybavení, kterým by měla být šatna opatřena, jsou [15]:

- úschovna oblečení
- úschovna potravin a věcí (např. rukavice, masky, ochranné brýle, přezůvky)
- úschovna osobních věcí a cenností
- umyvadla a vysoušeče rukou či jiné dekontaminační prostředky
- ukázka a demonstrace (např. plakát) jednotlivých sekvencí oblékání s jasnými popisky jednotlivých kroků
- zrcadlo plné délky, sloužící k osobní kontrole správnosti oblečení

### 9.3 Pomocné vybavení

**Systémy požární ochrany** představují speciální problém, který je potřeba řešit v místech výskytu a použití zejména chemikálií, hořlavých plynů a dalších vznětlivých látek. Řešení nabízí instalace tzv. **sprinklerů**, které by měly být designovány tak, aby co nejméně znemožnily úklid v místech jejich instalace a zároveň plnily adekvátně svou funkci.

**Komunikační systémy** je vhodné použít všude tam, kde je potřeba zajistit co nejmenší pohyb osob z prostoru a zpět. Mezi tyto prostředky patří např. okna, telefony, vysílačky, datové spojení a jiné komunikační prostředky.

Mimo pracovní prostor je umístěna **větší násypka** s materiálem, která se kromě zásobovací funkce zároveň stará o dokonalé vysušení materiálu pomocí výhřevu. Menší násypka se nachází na samotném vstřikovací stroji, která slouží jako dočasný zásobník pro materiál.

O přesun vstřikovacích forem a dalších těžkých součástí se stará **pohyblivý jeřáb**, který by měl splňovat normy dovoleného zatížení podle hmotnosti daných břemen.

## ZÁVĚR

Cílem praktické části bakalářské práce je správně navrhnout ekonomicky a funkčně vhodný čistý prostor, ve kterém bude zajištěna spolehlivá výroba plastových součástí pro další využití v elektronickém průmyslu, případně i v jiných průmyslových odvětvích. Firmy, zabývající se komplexním řešením v této oblasti, se postarají o konstrukci i vhodnou úpravu designu podle požadavků zákazníka. Aby však mohl být prostor navržen, musí zákazník dodat své požadavky a další nezbytné informace.

Podle typu výrobku a výroby se určí norma čistoty v daném prostoru. Rozhoduje především náchylnost výrobku vůči kontaminaci. Je proto potřeba určit normu tak, aby výrobek nebyl v prostředí znehodnocen. Čistota ovzduší by však současně neměla být - hlavně z ekonomických důvodů - vyšší než je nezbytně nutná.

Předem bychom měli promyslet, v jaké formě se bude nacházet materiál, ze kterého výrobek následně vzniká. Práškové materiály (a do jisté míry i granulované) mohou způsobit zvýšenou kontaminaci a je tak potřeba izolovat je od pracovního prostředí.

Teplota a vlhkost vzduchu v prostoru by se měly udržovat na stálých hodnotách, které vyhovují jak strojům, výrobkům, tak i pracovníkům. Pro ochlazování či oteplování vzduchu je potřeba znát výkony strojů, jejich tepelné ztráty do okolí, i veškeré ostatní výdaje tepla (= oteplování vzduchu v prostoru). Svou roli pak hrají v některých případech i změny počasí. Proti vzniku možných nežádoucích turbulencí je pak u všech objektů šířících teplo dobré použít chlazení kapalinou namísto chlazení vzduchem.

Manipulace s výrobkem v čistém prostoru ovlivňuje množství generovaných částic. Pohyb výrobku by měl být pravidelný a identický, pro zachování stálé čistoty také co nejkratší. Pokud nám to finanční rozpočet dovolí a pokud je zde vhodné použití, pak nejlépe tuto manipulaci zajistí robotický mechanismus. Je přesný a oproti člověku generuje nesrovnatelně méně částic.

Velikost prostoru je dimenzována s ohledem na všechno vybavení a veškerý přesun osob a materiálů. Kvůli finančnímu rozpočtu je pak snahou vytvořit co nejmenší možný prostor, který splní dokonale svou funkci. Všechny požadované funkce je potřeba po montáži důkladně otestovat. Bližší specifikace požadavků zákazníka usnadní návrh, konstrukci a provoz čistého prostoru a eliminuje možný vznik chyb v průběhu produkce v čistém prostoru.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### Monografie

- [1] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno : UNIPLAST, 1999. 134 s. ISBN není
- [2] LIEBERMAN, A. *Contamination control and cleanrooms: problems, engineering solutions and applications*. New York : Van Nostrand Reinhold, 1992. 411 s. ISBN 0-442-00574-1
- [3] LJUNGVIST, B. ; REINMÜLLER B. *Clean room design: minimizing contamination through proper design*. Buffalo Grove, IL 60089, USA : Interpharm Press, 1996. 145 s. ISBN 1-57491-032-9
- [4] RAMSTORP, M. *Contamination control and cleanroom technology: an introduction*. Wiley VCH, 2000. 179 s. ISBN 3-527-30142-9
- [5] SCHNEIDER, R. K. *Practical Cleanroom Design*. Troy, MI, USA : Business News Publishing Company, 1995. 143 s. ISBN 1-885863-03-9
- [6] WHYTE, W. *Cleanroom design*. 2. vyd. Chichester, UK : Wiley, 2001. 322 s. ISBN 0-471-94204-9
- [7] WHYTE, W. *Cleanroom technology: fundamentals of design, testing and operation*, 1. vyd. Chichester, UK : Wiley, 2001. 309 s. ISBN 0-471-86842-6

### Internetové zdroje

- [8] Arburg [online]. 2005- [cit. 2011-01-05]. Dostupný z WWW: <[www.arburg.com](http://www.arburg.com)>
- [9] Wikipedia commons [online]. 2004- [cit. 2011-01-07]. Dostupný z WWW: <[www.goo.gl/0WX9W](http://www.goo.gl/0WX9W)>
- [10] Top Clean Silicone [online]. 2005- [cit. 2011-01-07]. Dostupný z WWW: <[www.tcsilicone.com](http://www.tcsilicone.com)>
- [11] Flickr [online]. 2011- [cit. 2011-01-06]. Dostupný z WWW: <[www.goo.gl/7dFcp](http://www.goo.gl/7dFcp)>
- [12] ClearSphere [online]. 2010- [cit. 2011-01-05]. Dostupný z WWW: <[www.goo.gl/jKDPb](http://www.goo.gl/jKDPb)>

- [13] Angstrom Technology Ltd. [online]. 2003- [cit. 2011-01-06]. Dostupný z WWW: <[www.goo.gl/nkrsi](http://www.goo.gl/nkrsi)>
- [14] ECPlaza Network Inc. [online]. 1996- [cit. 2011-01-06]. Dostupný z WWW: [www.goo.gl/RfQ0o](http://www.goo.gl/RfQ0o)

### **Technické normy**

- [15] ČSN EN ISO 14644-4. *Čisté prostory a příslušné řízené prostředí - Část 4: Návrh, konstrukce a uvádění do provozu*. Praha : Český normalizační institut, 2001. 64 s.
- [16] ČSN EN ISO 14644-5. *Čisté prostory a příslušné řízené prostředí - Část 5: Provozování*. Praha : Český normalizační institut, 2005. 60 s.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

HEPA High Efficiency Particulate Air

ULPA Ultra Low Penetration Air

$\mu\text{m}$  Mikrometr

Mt Megatuna

$v$  Rychlost [ $\text{ms}^{-1}$ ]

$\Delta p$  Rozdíl tlaku [Pa]

ABS Akrylonitrilbutadienstyren

SAN Styrenakrylnitril

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 Vstřikovací stroj firmy Arburg [8]</i> .....	12
<i>Obr. 2 Vstřikovací stroj a pracovník v "cleanroom" prostoru [10]</i> .....	13
<i>Obr. 3 Joseph Lister (uprostřed), zakladatel dezinfekční chirurgie [7]</i> .....	15
<i>Obr. 4 Operační sál z roku 1890 [4]</i> .....	16
<i>Obr. 5 Operační sál z roku 1907 [7]</i> .....	17
<i>Obr. 6 Průřez proudění vzduchu v prostoru doktora Charnleyho [7]</i> .....	18
<i>Obr. 7 Willis Whitfield s vlastní sochou a památníkem [11]</i> .....	19
<i>Obr. 8 Schéma proudění a filtrace vzduchu podle Willise Whitfielda [7]</i> .....	20
<i>Obr. 9 Místnost s turbulentní ventilací [7]</i> .....	22
<i>Obr. 10 Místnost s laminární ventilací [7]</i> .....	23
<i>Obr. 11 Zaoblení stěn a stropního systému (hliníkové provedení) [12]</i> .....	27
<i>Obr. 12 Průřez modulární metody o vysoké kvalitě [7]</i> .....	28
<i>Obr. 13 Průřez modulární metody o nízké kvalitě [7]</i> .....	29
<i>Obr. 14 Stropní konstrukce (vířivý tok vzduchu) [7]</i> .....	31
<i>Obr. 15 Řez hluboce skládaného filtru [7]</i> .....	33
<i>Obr. 16 Řez mini skládaného filtru [7]</i> .....	33
<i>Obr. 17 Mikrosnímek média vysoce účinných filtrů [7]</i> .....	34
<i>Obr. 18 Mechanismy odstranění částic [7]</i> .....	35
<i>Obr. 19 Speciální lepkavá podložka [13]</i> .....	38
<i>Obr. 20 Postup úklidu se tři kbelíkovým systémem [7]</i> .....	40
<i>Obr. 21 Lepkavý váleček [14]</i> .....	41
<i>Obr. 22 ARBURG Allrounder 420C 1000-350 advance [8]</i> .....	43
<i>Obr. 23 Horizontální zařízení Multilift H [8]</i> .....	44
<i>Obr. 24 Umístění stroje vůči čistému prostoru [8]</i> .....	46
<i>Obr. 25 Koncept vytlačení [15]</i> .....	49
<i>Obr. 26 Koncept rozdílných tlaků [15]</i> .....	49
<i>Obr. 27 Úpravy pracovního prostředí pro zlepšení toku vzduchu [15]</i> .....	51
<i>Obr. 28 Čistý prostor s měkkou stěnou [9]</i> .....	52
<i>Obr. 29 Schéma skladby prostorů [15]</i> .....	53

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1 Některé odvětví pro aplikaci „cleanroom“ prostorů.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka 2 Klasifikace normy Federal Standard 209 E (1992) [7] .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 3 Klasifikace normy ISO 14644-1 [7] .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 4 Porovnání jednotlivých tříd dvou hlavních norem FS 209 a ISO 14644-1 .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 5 Parametry vstřikovacího stroje.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 6 Světová spotřeba polymerů celkově a v medicíně.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 7 Směrnice pro čisté prostory pracující s mikroelektronikou [15] .....</i>	<i>50</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

P I CD-ROM disk