

Návrh pracovního prostoru „clean room“

Bc. Libor Silný

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Libor SILNÝ**
Osobní číslo: **T080368**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Návrh pracovního prostoru clean room**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma
2. Vypracujte návrh cleanroom pro proces vstříkování, aby bylo dosaženo minimálně třídy čistoty ISO 9 dle normy ISO 14644-1

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

14. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 12. května 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Ge Libor Vít

Obor: ETB

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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ 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, považuji 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 18.5.2011



.....

¹⁾ 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 nevdělečně 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 nahlázení 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.*

²⁾ *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, užíje-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).*

³⁾ *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). Odpirá-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 užit 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 jim 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 přihlížejne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem čistého pracovního prostoru. Teoretická část popisuje normy pro čisté prostory, problematiku konstrukce, filtrace a vzduchotechniky. Je popsána základní problematika procesu vstřikování a proces vstřikování v čistém prostoru.

Praktická část je věnována samotnému konstrukčnímu návrhu pracovního prostoru pro vstřikování, výběrem vhodných součástí pro automatizaci výroby v čistém prostoru.

Klíčová slova: čistý prostor, konstrukce, vstřikovací stroj, klasifikace, vzduchotechnika

ABSTRACT

This thesis deals with the draft of clean working room. The theoretical part describes standards for cleanrooms and issues of construction, filtration and air-conditioning system. It also describes the basic issue of injection process and the injection process in cleanroom.

The practical part gives attention to construction draft of working room for injection process, together with the selection of suitable parts for automatization production in cleanroom.

Keywords: clean room, construction, injection machine, clasification, air-conditioning system

Poděkování

Děkuji všem, kteří mi při psaní této práce pomohli a přispěli svými cennými radami. Především bych chtěl poděkovat svému vedoucímu doc. Ing. Miroslavu Maňasovi, CSc. za vstřícné jednání a odborné vedení.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně dne 20.5.2011

.....

podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
ÚVOD DO TEORIE CLEANROOM	12
1.1 HISTORIE	13
1.2 NORMY PRO ČISTÉ PROSTORY	14
1.2.1 Norma FS 209 E,D	14
1.2.2 Norma ISO 14644.....	15
1.3 PROUDĚNÍ VZDUCHU	21
1.3.1 Jednosměrné proudění vzduchu	21
1.3.2 Nejednosměrné proudění vzduchu	22
1.4 INTENZITA VÝMĚNY VZDUCHU	23
1.5 TLAKOVÝ SPÁD	23
1.6 KONSTRUKČNÍ A DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ ČISTÝCH MÍSTNOSTÍ	24
1.7 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MODULÁRNÍHO ČISTÉHO PROSTORU	27
1.7.1 Softwall Modular Cleanroom	27
1.7.2 Hardwall Modular Cleanrooms.....	28
1.8 FILTRACE VZDUCHU	28
1.8.1 Částice ve vzduchu čistých prostorů.....	28
1.8.2 Filtrace vzduchu vláknovými filtry.....	29
1.8.3 Klasifikace vzduchových filtrů.....	31
1.8.4 Kombinování vzduchových filtrů pro čisté prostory.....	32
2 MĚŘENÍ PODMÍNEK V CLEANROOM PRO SPLNĚNÍ NOREM	33
2.1 TESTOVÁNÍ VZDUCHOVÝCH FILTRŮ	33
2.2 MĚŘENÍ TLAKOVÝCH ROZDÍLŮ.....	33
2.3 MĚŘENÍ KONCENTRACE ČÁSTIC VE VZDUCHU.....	33
3 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ	36
3.1 ROZDĚLENÍ PLASTOVÝCH MATERIÁLŮ.....	36
Podle nadmolekulární struktury (stupně uspořádanosti):.....	36
3.1.1 Podle teplotního chování.....	37
3.2 POSTUP PŘI VSTŘIKOVÁNÍ.....	38
3.3 ČASY VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	40
3.3.1 Doba vstřikování.....	40
3.3.2 Doba dotlaku	40
3.3.3 Doba plastikace.....	40
3.3.4 Doba chlazení	41
3.4 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	41
3.4.1 Charakteristika vstřikovacího stroje.....	41
3.4.2 Uzavírací jednotka	42

3.4.3	Ovládání a řízení stroje.....	42
3.4.4	Vstřikovací forma	43
4	ŘEŠENÍ CLEANROOM V PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ.....	45
4.1	VÝBĚR SPRÁVNÉHO STROJE PRO VSTŘIKOVÁNÍ V ČISTÝCH PROSTORECH	45
4.2	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ČISTÉHO PROSTORU PRO PROCES VSTŘIKOVÁNÍ.....	48
4.2.1	Vstřikovací stroj v normálním prostředí.....	48
4.2.2	Vstřikovací stroj je umístěn v čisté místnosti	51
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	53
5	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	54
6	NÁVRH HARDWALL MODULAR CLEANROOM	55
6.1	ROZMĚROVÝ NÁVRH	56
6.1.1	Vstřikovací stroj ALLROUNDER 420C	57
6.1.2	Vzduchotechnika	58
6.1.3	Manipulační robot.....	59
6.2	FUNKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ	59
6.3	KONSTRUKCE.....	61
6.3.1	Obvodová konstrukce	62
6.3.2	Pomocná konstrukce uchycení ke stroji.....	71
6.3.3	Montáž	74
	ZÁVĚR	76
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	77
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	80
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	81
	SEZNAM TABULEK	83

ÚVOD

Cleanroom je čistý prostor s řízeným prostředím splňující normu ISO 11644. Tyto prostory se začínají stále více využívat v průmyslu a ne pouze v laboratorních podmínkách. Výroba v čistých prostorech má výrazný tržní potenciál v oblasti lékařského, automobilového, farmaceutického průmyslu, optické mikroelektronice a jiných odvětvích. Tyto odvětví mají nejvyšší požadavky na čistotu prostředí.

Čistý prostor již není pouze upravená místnost splňující podmínky normy ISO 11644, ale objevují se na trhu možnosti modulárního zařízení seskládaného přesně na daný problém nebo zakoupení softwall modulární konstrukce, pro rychlé vyřešení problému s čistým prostorem.

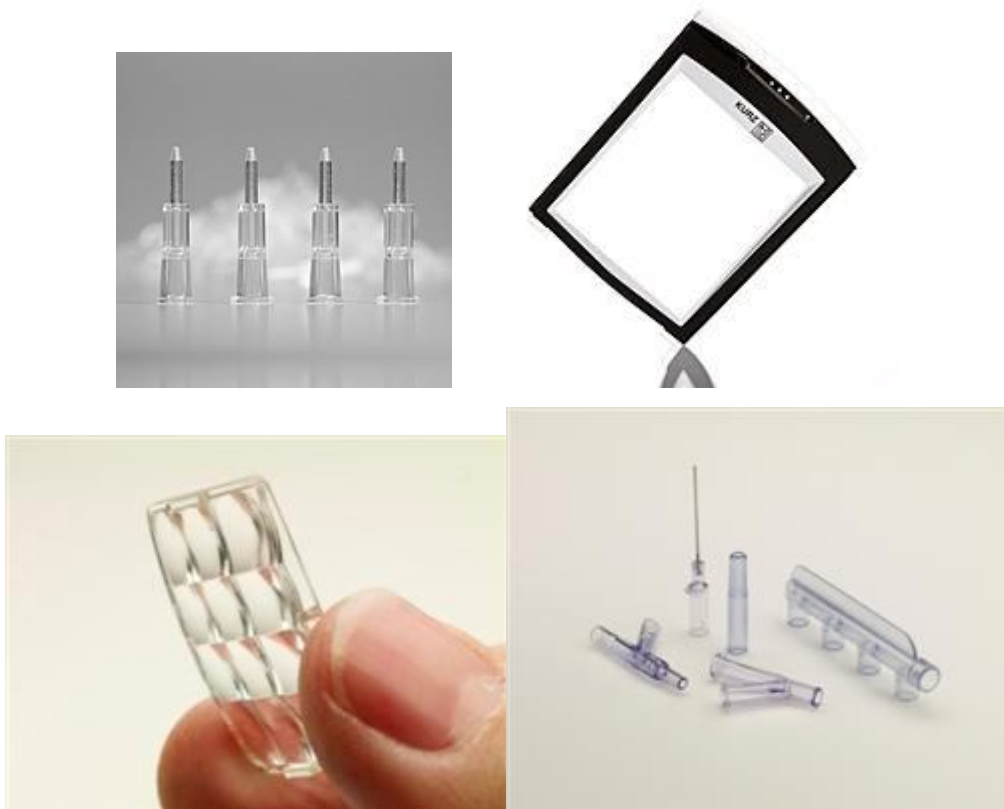
Řešení cleanroom nelze nicméně unifikovat pro všechny odvětví. Podmínky pro farmaceutický průmysl jsou odlišné od podmínek pro průmysl automobilový. Liší se požadavkem na třídu čistoty tedy možného použití laminárního nebo nelaminárního proudění. Se zvyšující se třídou čistoty se zvedá pořizovací cena a režijní náklady. Proto není ekonomicky výhodné se snažit dosahovat v návrhu konstrukce výrazně vyšší požadované třídy čistoty, než je dáno pro danou aplikaci.

Cílem této diplomové práce je navrhnout pracovní prostor pro proces vstřikování a dosáhnout minimální třídy čistoty ISO 9. Tedy spodní hranice čistoty, který je vhodný pro výrobu například některých transparentních výrobků. Většina výrobků pro lékařský průmysl musí splňovat třídu čistoty 8. Právě na třídu čistoty ISO 8 se budu snažit navrhnout pracovní prostor.

I. TEORETICKÁ ČÁST

ÚVOD DO TEORIE CLEANROOM

Cleanroom neboli čistý prostor je kontrolované prostředí, kde se vyrábějí produkty s nejvyššími požadavky na kvalitu. Je to místnost, ve které je kontrolována koncentrace vzdušných částic a jsou stanoveny limity počtu vzdušných částic na m^3 . Tento počet a velikost vzdušných částic nám dává třídu čistoty ISO daného prostoru. Odstranění mikročástic ze vzduchu je složitý proces, jelikož tyto částice se neustále generují výrobním zařízením, vybavením místnosti, procesem výroby, lidmi. Není proto možné dosahovat nejvyšších tříd čistoty u všech procesů. Jediný objektivní způsob kontroly znečištění je kontrola celkového prostředí čistého prostoru, a to velikost proudění vzduchu, směr, tlak, teplota a vlhkost. Všechny tyto vlastnosti musí být důkladně kontrolovány a dodrženy pro dodržení třídy čistoty. [1]



Obr. 1. Výrobky vytvořené v čistém prostředí [19]

1.1 Historie

V dnešní době si již nedovedeme představit výzkum a výrobu bez možnosti používat čisté prostory. Stala se součástí mnoha odvětví, například přesné strojírenství, výroba léčiv, výroba zdravotních pomůcek, výroba přesných měřících přístrojů, výroba polovodičů, mikroelektronika a mnoho dalších.

V první polovině dvacátého století se začaly používat systémy ventilace a klimatizace vzduchu ve zdravotnictví, průmyslu, v místech velkého seskupení lidí a ve speciálních podmínkách jako například na lodích či v ponorkách. Stanovil se parametr, kdy počet částic v jednotce objemu vzduchu nesmí převyšovat určenou hodnotu, přičemž velikost těchto částic se volí v rozmezí 0,1 – 0,5 μm . Zavedla se klasifikace čistoty vzduchu a vytvoření specifických postupů vytváření a provozování čistých prostorů. Nástup elektrotechnického průmyslu (především v USA) po 2. Světové válce a rychlá miniaturizace si vyžádaly výrobní prostory s přísně omezenou prašností vzduchu. Vývoj atomového průmyslu v té době stimuloval vývoj vysoce efektivních filtrů pro čištění vzduchu (HEPA filtry). Osvojení zásad čistých technologií ve strojírenství vedlo kvalitativně k nové hladině ukazatelů spolehlivosti a životnosti. Společnost General Motors začala výrobu přesných ložisek v prostředí čistého prostoru. Na konci 50-tých let se objevily první čisté prostory s recirkulací vzduchu, byly zahájeny atestace čistých prostorů. Tím byl položen základ k technologii čistých prostorů, vzniká sériová výroba základních prvků čistých prostorů (HEPA filtry, stavební konstrukce, čítače aerosolových částic a dalších prvků spojených s vytvářením a provozováním čistých prostorů). V roce 1961 vzniká v USA první čistý prostor s laminárním prouděním vzduchu. Základ k čistým prostorům vysokých tříd čistoty, v nichž jednosměrný proud vzduchu jde od stropních HEPA filtrů k odvodním otvorům v perforované podlaze. V 60-tých letech začal prudký rozvoj čistých prostorů v medicíně, výrobě léčiv a výrobě zdravotnické techniky. Dříve se čisté prostory hodnotily dle jednoho parametru – koncentrace prachových částic v jednotce objemu vzduchu. To již nebylo dostačující. Pro další obory se vyžadují navíc biologicky čisté prostory, kde kvalita čistoty vzduchu se hodnotí jak počtem prachových částic, tak i počtem mikroorganismů v jednotce vzduchu. V tomto období se v Americe a Evropě objevují první pravidla GMP - pravidla pro výrobu léčivých prostředků.

[1]

1.2 Normy pro čisté prostory

Ve světové praxi se používalo množství norem, které klasifikovaly čisté prostory. První normou pro čisté prostory byla klasifikace čistého prostoru ze Spojených států amerických US federál Standard 209A. Tato norma měla rozhodující vliv na rozvoj techniky čistých prostorů. Poprvé byla základní kvalitativní veličinou čistoty vzduchu koncentrace částic o velikosti rozměru 0,5 mikronu a větší v jedné kubické stopě. Následné úpravy této normy 209B, 209C, 209D daly dobrý přehled o problematice čistého prostoru. Díky své jednoduchosti, byla používána jako mezinárodní norma v průběhu několika let, bez ohledu na další národní normy. Později vstupuje v platnost mezinárodní norma ISO 14644, která v roce 2001 dokonce nahradila Federální normu 209E. [1]

1.2.1 Norma FS 209 E,D

Stanovuje meze pro danou třídu čistoty. Tyto třídy určují dané koncentrace částic ve vzduchu s rozměry, které jsou dány v tabulce klasifikace třídy čistoty FS 209 E. Označení třídy v jednotkách soustavy SI je dáno dekadickým logaritmem maximálního přípustného počtu částic ležících v intervalu velikosti ($0,5 \leq X < 5$) μm obsažených v kubickém metru vzduchu. [2]

FS 209 E udává testování čistých prostorů třemi způsoby:

- **Po montáži**

Čisté prostory stavebně dokončené, kde jsou připojena všechna obslužná zařízení, která jsou funkční a zapojeny jsou i všechny rozvody medií. V čistých prostorech však nejsou nainstalována technologická zařízení a není přítomen personál. [2]

- **S technologií v klidu**

Čisté prostory připravené pro spuštění provozu, kde jsou připojena obslužná zařízení, která jsou rovněž funkční, jsou nainstalována technologická zařízení, ale není přítomen personál. [2]

- **Za provozu**

Čisté prostory za normálního provozu, se všemi obslužnými a technologickými zařízeními v provozu a s pracovníky vykonávajícími svou pracovní činnost. [2]

Tab. 1. Třídy čistoty čistých prostorů podle FS 209 E, D [2]

Třídy čistoty		Meze pro danou třídu čistoty									
		0,1 μm ($0,1 \leq X < 0,2$)		0,2 μm ($0,2 \leq X < 0,3$)		0,3 μm ($0,3 \leq X < 0,5$)		0,5 μm ($0,5 \leq X < 1$)		5 μm ($5 \leq X$)	
FS 209 E SI	FS 209 D palcové	Objemové jednotky		Objemové jednotky		Objemové jednotky		Objemové jednotky		Objemové jednotky	
		(m^3)	(ft^3)	(m^3)	(ft^3)	(m^3)	(ft^3)	(m^3)	(ft^3)	(m^3)	(ft^3)
M1		350	9,91	75,7	2,14	30,9	0,88	10	0,28		
M1,5	1	1240	35	265	7,5	106	3	35,3	1		
M2		3500	99,1	757	21,4	309	8,75	100	2,83		
M2,5	10	12400	350	2650	75	1060	30	353	10		
M3		35000	991	7570	214	3090	87,5	1000	28,3		
M3,5	100			26500	750	10600	300	3530	100		
M4				75000	2140	3900	875	10000	283		
M4,5	1000							35300	1000	247	7
M5								100000	2830	618	17,5
M5,5	10000							353000	10000	2470	70
M6								1000000	28300	6180	175
M6,5	100000							3530000	100000	24700	700
M7								10000000	283000	61800	1750

1.2.2 Norma ISO 14644

ISO 14644 má název „Čisté prostory a příslušné řízené prostředí“ je složena z osmi částí

- ISO 14644-1 Klasifikace čistoty vzduchu
- ISO 14644-2 Specifikace zkoušení a sledování pro průběžné ověřování shody s ISO 14644- 1
- ISO 14644-3 Zkušební metody
- ISO 14644-4 Návrh, konstrukce a uvádění do provozu
- ISO 14644-5 Provozování
- ISO 14644-6 Termíny a definice
- ISO 14644-7 Oddělovací zařízení (boxy s čistým vzduchem, rukávcové boxy, izolátory a zařízení pro miniprostředí)
- ISO 14644-8 Klasifikace molekulárního znečištění vzduchu

Norma ISO 14644-1 Klasifikace čistoty vzduchu

Zabývá se klasifikací čistoty vzduchu, kde čistota je stanovena počtem prachových částic v 1 m^3 . Pro účely klasifikace jsou brány v úvahu jen statistické soubory částic, které mají kumulativní rozdělení rozmezí ležících v intervalu velikosti $(0,5 \leq X < 5) \mu\text{m}$ obsažených v kubickém metru vzduchu. v stejně jako norma FS 209 E, D. [3]

Základní definice:

Čistý prostor

Je prostor, ve kterém je koncentrace částic obsažených ve vzduchu řízena. Tento prostor je konstruován a používán tak, aby se minimalizoval vstup, vytváření a usazování částic uvnitř tohoto prostoru. Rovněž zde musí být podle potřeby řízeny parametry jako teplota, vlhkost a tlak.

Čistá zóna

Je vyhrazený prostor, ve kterém je koncentrace prachových částic řízena. Tento prostor je zkonstruován a používán tak, aby se minimalizoval vstup, vytváření a víření částic uvnitř této zóny. Rovněž zde musí být podle potřeby řízeny i jiné důležité parametry, např. teplota, vlhkost a tlak. Nemusí se jednat o čistý prostor.

Instalace

Instalace čistých prostor nebo jedna či více čistých zón spolu se všemi přidruženými stavebními konstrukcemi, vzduchotechnikou, službami a přívody médií.

Klasifikace

Je úroveň znečištění vzduchu částicemi, která je použitelná na čistý prostor nebo zónu. Vyjadřuje se jako ISO třída N, která reprezentuje maximální dovolené koncentrace částic uvažovaných velikostí.

Částice

Je pevný nebo kapalný objekt, který je zařazen do kumulativního statistického rozdělení s prahem v intervalu od $0,1 \mu\text{m}$ do $5 \mu\text{m}$.

Velikost částice

Je průměr částice ve tvaru koule, která v příslušném přístroji na měření částic vyvolá stejnou odezvu, jako částice měřená.

Koncentrace částic

Je počet jednotlivých částic v jednotce objemu vzduchu. [3]

Norma nám stanovuje průběžný stav obsazení:

Stavebně dokončený

Vlastní stavba čistých prostor je dokončená, všechny přívody médií jsou připojené a fungující, ale nejsou instalována výrobní zařízení, nejsou přítomni pracovníci, ani materiál.

Technologicky připravený

Vlastní stavba čistých prostor je dokončená i s instalací výrobního zařízení, toto je funkční v režimu schváleném zákazníkem a dodavatelem, ale bez přítomnosti pracovníků.

Provozní stav

Stav, kdy je instalace funkční ve specifikovaném režimu, s požadovaným počtem pracovníků pracujícími podle schválených provozních předpisů. Norma nám klasifikuje čisté prostory klasifikuje klasifikačním číslem tj. maximální povolenou koncentrací částic pro každou uvažovanou velikost prachové částice. [3]

$$C_N = 10^N \times \left(\frac{0,1}{D} \right)^{2,08} \quad [3]$$

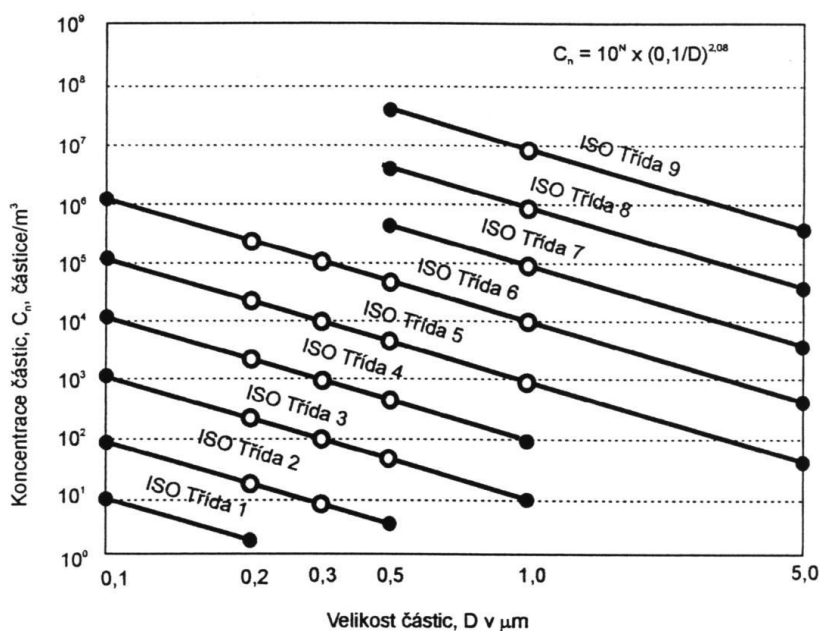
C_N - je maximální povolená koncentrace částic ve vzduchu (počet částic v krychlovém metru vzduchu), jejichž velikost je větší nebo rovna určité specifikované velikosti.

N - je klasifikační číslo ISO, které nesmí být větší než 9. Může se specifikovat i jemnější klasifikace ISO s nejmenším povoleným přírůstkem 0,1.

D - je uvažovaná velikost částice μm 0,1 je konstanta uváděná v μm.

Tab. 2. Třídy čistoty a odpovídající koncentrace částic [3]

Číslo klasifikace ISO (N)	Maximální meze koncentrace prachových částic (počet částic/m ³ vzduchu), jejichž velikost je větší nebo rovná velikosti částice uvedené níže					
	≥0.1 μm	≥0.2 μm	≥0.3 μm	≥0.5 μm	≥1 μm	≥5 μm
ISO 1	10	2				
ISO 2	100	24	10	4		
ISO 3	1000	237	102	35	8	
ISO 4	10000	2370	1020	352	83	
ISO 5	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO 7				352000	83200	2930
ISO 8				3520000	832000	29300
ISO 9				35200000	8320000	293000



Obr. 2. Třídy čistoty v grafické formě [3]

Tab. 3 Srovnávací tabulka mezinárodních norem [2]

Země platná norma	USA 209D	USA 209E	VB BS5295	Německo VDI2083	ISO 14644-1
	-	-	-	0	-
TŘÍDA ČISTOTY	1	M1.5	C	1	3
	10	M2.5	D	2	4
	100	M3.5	E - F	3	5
	1000	M4.5	G - H	4	6
	10000	M5.5	J	5	7
	100000	M6.5	K	6	8

Norma ISO 14644-2 Specifikace zkoušení a sledování pro průběžné ověřování shody s ISO 14644-1

Tato část normy nám specifikuje požadavky na zkoušení čistého prostoru nebo dané čisté zóny za účelem prokázání jeho shody s ISO 14644 pro stanovenou klasifikaci čistoty. Tyto požadavky vyžadují zkoušku popsanou v ISO 14644-1 pro klasifikaci čistého prostoru nebo čisté zóny. Jsou zde specifikovány doplňkové zkoušky, které mají být provedeny v souladu s požadavky této části ISO 14644. [4]

Norma ISO 14644–3 Zkušební metody Předmět normy

Tato část normy nám udává zkušební metody pro zjišťování specifických parametrů čistých místností. Zkoušky jsou specifikované pro dva typy proudění v čistých místnostech s jednosměrným prouděním a nejednosměrným prouděním a to pro všechny tři stavy obsazení čistých prostor – stavebně dokončený, technologicky připravený i provozní stav. Zkušební metody doporučují zkušební zařízení a postupy zkoušek. Tyto metody jsou ovlivněny typem čistého prostoru nebo čistých zón, norma také navrhuje alternativní postupy. Postupy, které nejsou zahrnuté v této normě je možno použít po dohodě zákazníka s dodavatelem. Stanovené zkušební metody a postupy mohou být také použity pro rekvalifikace nebo periodické sledování čistého prostoru. [5]

Norma ISO 14644–4 Návrh, konstrukce a uvádění do provozu

Tato část ISO 14644 specifikuje požadavky na projekt a stavbu čistých místností, ale nepředepisuje konkrétní technologické nebo smluvní prostředky, jak tyto požadavky splnit. Je určena pro použití kupujícími, dodavateli a projektanty čistých místností. [6]

Základní definice normy 14644-4:

Čistota

Je stav výrobku, povrchu, zařízení, plynu, kapaliny atd. s definovanou úrovní kontaminace. Kontaminace může mít formu částic, nulových částic, biologickou, molekulární nebo jinou.

Kontaminující látka

Je jakákoliv entita skládající se z částic, molekul, nulových částic a biologická entita, která může nepříznivě ovlivnit výrobek nebo proces.

Částice

Nepatrný kus hmoty s definovaným fyzickým vymezením.

Hrubý filtr

Vzduchový filtr instalovaný proti směru proudění před jiným filtrem, aby se snížilo jeho zatížení.

Jádro procesu

Je místo, kde probíhá proces a interakce mezi okolím a procesem.

Jednosměrné proudění vzduchu

Kontrolované proudění vzduchu přes celý průřez čisté zóny se stálou rychlostí a přibližně paralelními proudnicemi.

Nejednosměrné proudění vzduchu

Rozvod vzduchu, při kterém se přivodní vzduch vstupující do čisté zóny směšuje s vnitřním vzduchem pomocí nasávání Norma stanovuje požadavky na plánování a projekt. [6]

1.3 Proudění vzduchu

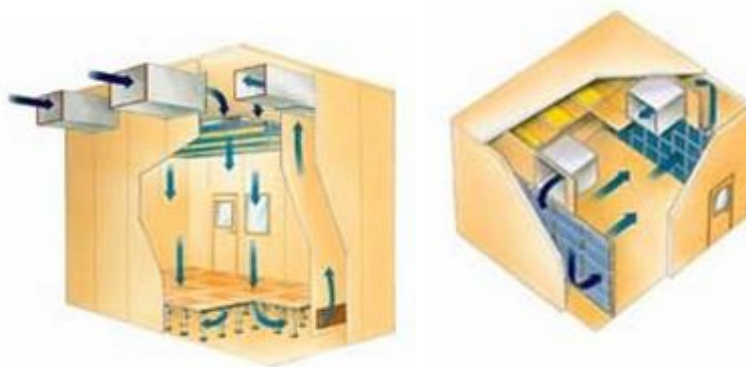
Základním předpokladem správného proudění vzduchu je, že vzduch musí unášet z prostoru částice, které jsou uvolňovány lidmi, zařízeními a materiály. Vzduchový proud musí obtékat všechny povrchy v čistém prostoru a odstraňovat částice z těchto povrchů. Správné řízení toku vzduchu je jedním z rozhodujících činitelů, určujících účinnost čistých prostorů. V čistých prostorách třídy ISO 5 a čistších se používá jednosměrné proudění vzduchu. V prostorech třídy ISO 6 - 9 nejednosměrné proudění. [1]

1.3.1 Jednosměrné proudění vzduchu

Princip laminárního proudění spočívá ve vytvoření filtrovaného kompaktního proudu vzduchu, který malou rychlostí klesá od stropu k podlaze (nebo proudí vodorovně od stěny ke stěně) a strhává s sebou částice obsažené ve vzduchu a v prostoru. Pokud je proudění vzduchu opravdu laminární, dochází k turbulencím pouze na okrajích vzduchového válce. Částice na okraji laminárního pole již nejsou schopny kontaminovat kontrolovaný prostor. Ve všech bodech příčného průřezu proudění by měla být čistota vzduchu stejná. Nejvyšší úroveň čistoty se zabezpečuje v blízkosti místa přívodu vzduchu. S rostoucí vzdáleností ve směru toku proudění vzduchu roste pravděpodobnost zanesení znečištění. U všech typů čistých prostor s laminárním prouděním je třeba počítat s vlivem diference teplot vzduchu přiváděného vůči vzduchu v napájené místnosti. Teplotní rozdíl má nezanedbatelný vliv na rychlost, směr a kvalitu laminárního proudění. [7]

S výhodou jsou pro vytvoření laminárního proudění používány velkoplošné laminární stropní přívody typu LF, které díky své konstrukci vytváří konstantní proud vzduchu o malé rychlosti (0,2 až 0,45 m/s) pod celou plochou přívodu. U tohoto řešení (zejména operační sály) není nutné odsávat vzduch podlahou, ale postačí výustky v bočních stěnách. [7]

Jednosměrný proud může být vertikální nebo horizontální. Místa přívodu a odvodu jednosměrného proudění vzduchu by měla být naproti sobě, aby se zajistilo přímé proudění. Nejpoužívanější jsou čisté prostory s horizontálním proudem vzduchu. Je dobré se vyvarovat pravoúhlým, nebo ostrými okrajům, kde může vznikat vír vzduchu. [7]



Obr. 3. Jednosměrné proudění vzduchu vertikální a horizontální [7]

Rychlost jednosměrného proudění vzduchu

Rychlost je důležitou hodnotou jednosměrného proudění. Při nedostatečných rychlostech je proudění nestálé, zejména poblíž pracovních zón. Nadměrně vysoká rychlost vyvolává nadměrné náklady, může být škodlivá, jak s technologických, tak i s ergonomických pohledů. Může zatěžovat personál. Hodnotu rychlosti jednosměrného proudění pro nejrůznější sféry použití stanovují normy. [1]

1.3.2 Nejednosměrné proudění vzduchu

Princip nelaminárního (nejednosměrného) proudění vzduchu je založen na ředění vzduchu v kontrolovaném prostoru vzduchem přiváděným do prostoru přes filtry. Důraz je kladen na kvalitu filtrace a co možná nejmenší turbulenci vzduchu při ustálené rychlosti proudění. Turbulence je hlavním nedostatkem každého čistého prostoru s nelaminárním prouděním. Vyskytují-li se turbulence, tak částice, které by se jinak mohly usadit nebo mohly být odneseny odtahem mimo kontrolovaný prostor, jsou nadnášeny a cirkulují v místnosti. Za nějakou dobu se malé částice spojí do větších shluků, které vytváří kontaminaci. [7]

Nejednosměrný proud nemá proudnice rovnoměrně rozprostřeny v ploše čisté místnosti. Vzduch vstupující do kontrolovaného prostoru se mísí s vnitřním vzduchem v místnosti. Není zde použito plošné zaplnění stropu vzduchotechnikou. Odvodní otvory se mohou

rozkládat různě. Je možná přítomnost mrtvých nebo stagnačních zón, neobtákaných čistým vzduchem, ze kterých se neodvádí znečištění.



Obr. 4. Nejednosměrné proudění [7]

1.4 Intenzita výměny vzduchu

Intenzita výměny vzduchu se určuje číselní počtu vzduchových výměn v prostoru za 1 hodinu a je důležitou charakteristikou čistých prostorů tříd ISO 6 - 8. Důležitým parametrem je minimální počet vzduchových výměn pro splnění požadavků parametrů. Konkrétní počet výměn pro každý případ řešení čistého prostoru je individuální. [1]

Tab. 4. Intenzita výměn vzduchu přeepsaná pro ISO z americké normy [2] [3]

Třída čistoty ISO 146144-1	průměrná rychlost vzduchového toku	vzduchová výměna za hodinu	pokrytí vstupní plochy filtry
1 – 2	0.305 - 0.508 m/s	360-600	80-100%
3	0.305 - 0.457 m/s	360-540	60-100%
4	0.254 - 0.457 m/s	300-540	50-90%
5	0.203 - 0.406 m/s	240-480	35-70%
6	0.127 - 0.203 m/s	150-240	25-40%
7	0.051 - 0.076 m/s	60-90	15-20%
8	0.005 - 0.041 m/s	5 – 48	5-15%

1.5 Tlakový spád

V čistých prostorách o vyšší čistotě je tlak vzduchu vždy vyšší než v méně čistých prostorech, aby nedocházelo k pronikání (nasávání) znečištění z méně čistého prostředí do čistšího.

V normách se uvádí hodnoty tlakového spádu zpravidla spád tlaku mezi sousedními čistými prostory nebo čistými zóny s různými třídami čistoty od 5 do 20 Pa. Sousední prostory nejrůznějších typů musejí mít pokles tlaku 10 - 15 Pa. Je nutné použití čidel tlakového spádu mezi zónami, kde tento parametr má důležitý význam. V souvislosti s tímto je důležité zajistit nepřetržitou kontrolu pomocí vizuálních indikátorů. Pro zajištění stabilního tlakového spádu je vhodné zajistit automatickou regulaci v systému přípravy vzduchu. [1] [6]

1.6 Konstrukční a dispoziční řešení čistých místností

Při navrhování čistého prostoru, je důležité vzít v úvahu cenu údržby čistého prostoru. Snažíme se, aby plocha čistého prostoru a jeho nejčistších zón byly minimální. Nesmíme ale zapomínat na možnost změny užívání, nebo jeho rozšíření. [1]

Je účelné, aby nejčistší zóny kopirovaly ve svém tvaru zóny nad výrobním zařízením. Snaha minimalizace plochy čistého prostoru nesmí odporovat ergonomickým požadavkům, kdy personál bude mít málo místa pro obsluhu, či narušovat požadavky na čistotu. Zařízení je účelné rozmísťovat tak, aby do čistého prostoru zasahovala pouze jeho část, například zařízení zasahuje do čisté zóny částí zakládání a vykládání materiálu, a technická obsluha zařízení je prováděna z vnějších zón. Při projektování čistého prostoru, rozmístění pracovních míst a zařízení je třeba dodržet podmínku, aby personál prováděl minimum přesunů a pohybů. Základním zdrojem znečištění v čistém prostoru je člověk. Lidé vlastním pohybem a uvolňováním tepla porušují proudění vzduchu. V souvislosti s tímto, zóny nejvíce citlivé k znečištěním je třeba rozmísťovat dále od tras pohybu personálu a od vstupu a výstupu osob. [1]

Čisté prostory vysoké třídy neumísťujeme k obvodovým stěnám. To by vedlo k tepelným ztrátám, porušení rovnováhy výměny vzduchu, kondenzaci vlhkosti na oknech, pronikání slunečních paprsků aj. Přednostním řešením je schéma místnost v místnosti když více čistý prostorů se rozmísťuje uvnitř jiného prostoru, který jej obklopuje ze všech stran. Pomocné prostory (zóny obsluhy, skladování, šatny, inventáře, přípravu materiálů, odpadní hospodářství, WC, denní místností atd.). Trasy pohybu personálu a pohybu materiálů je třeba rozmísťovat tak, aby se vyloučila křížová kontaminace a zabránilo se infiltraci částic z méně čistých zón do více čistých. [1]

Otevřené potrubí a kabely vytváří příznivé podmínky pro akumulaci znečištění a komplikují provádění očisty a dezinfekce, proto uložení potrubí a kabelů v čistých prostorech má být minimalizováno. Půdorysné řešení musí umožnit, pokud možno, rozložení zón technické obsluhy, řídicích pracovišť, komunikací a potrubí mimo čisté prostory nebo do méně čistých zón. Je užitečné navrhnout dostatek oken pro náhled na činnosti uvnitř čistého prostoru, kdy se do něj nemusí vstoupit.

Vstup a výstup personálu, přesun hmot, výrobků a odpadů v době standardního provozu (kromě nutných případů) je třeba provádět přes vzduchové propusti. Vzduchová propust může být provedena jako oddělená místnost nebo předávací skříň (pro materiály a podobně).

V čistém prostoru nesmí být v otevřeném stavu dvoje nebo více dveří najednou, mimo havarijních situací. Tento požadavek je třeba zabezpečit systémem signalizace nebo blokováním. Nelze povolit stav, kdy oboje dveře jsou otevřeny. Proto je třeba navrhnout blokování dveří s akustickou nebo světelnou signalizací stavu. V propusti může být provedena doplňková očista personálu, například pomocí ofukování čistým vzduchem, nebo položen lepidlý koberec, který sbírá znečištění z podrážek obuvi.

Důležitým požadavkem pro čisté prostory je jejich požární bezpečnost. Čistý prostor má zpravidla vysokou intenzitu výměny vzduchu. V souvislosti s tímto kouř a vznikající plyny se rychle rozšíří do okolního prostoru vzduchovým potrubím. To značí zvýšené nebezpečí pro personál. Teplota místnosti při požáru stoupá relativně pomalu. V souvislosti s tímto je použití teplotních čidel neúčinné. Pro zjištění požáru v časných stádiích je účelné aplikovat požární hlásiče (kouřové snímače), rozmístěné v odvodním vzduchovodu nebo v místech odtahu vzduchu. [1]

Konstrukční řešení čistých prostorů:

Obvodové konstrukce čistého prostoru a jeho prvky musí zabezpečovat splnění základních požadavky čistoty:

- hermetičnost
- neuvolňovat znečištění
- nesmí mít vystupující části, ostré rohy, spáry a výklenky nedostupné pro čištění atd.
- mít hladký povrch

- antistatické, nebo elektricky vodivé
- být pevné a trvanlivé
- mít odolnost proti opotřebování povrchu
- být odolné proti vlhkosti a plísni
- být stabilní k mycím, dezinfekčním a jiným látkám
- umožnit snadnou montáži v případě nutnosti demontáž i přestavbu prostor

Dveře

Na dveřích musí být co nejméně vodorovných ploch a výčnělků. Tření v mechanických prvcích dveří musí být minimální. Konstrukce dveří a jejich instalace musí vylučovat zachytávání dveří o rám nebo podlahu. [1]

Strop

Důležitý požadavek na strop je vzduchotěsnost a pevnost. Musí zajistit ochranu čistého prostoru od znečištění, které je v nad stropním prostorem, a zabezpečit spolehlivou vzduchotěsnost. Konstrukce stropu a upevnění těchto prvků musí vylučovat jejich vliv na proudění vzduchu a umožnit pohodlnou výměnu a obsluhu v podmínkách čistého prostoru. [1]

Podlahy

Podlahy musí být hladké, bez dutin a spár, zabraňovat klouzání, snadno se mýt a dezinfikovat, být odolné proti opotřebování, odolávat náhodnému polití nebo posypání agresivními látkami, mít potřebné antistatické nebo elektrovodivé vlastnosti. Nesmějí samy produkovat znečištění. Podlaha musí odolávat předepsanému statickému a dynamickému působení požadovanou dobou, netvořit trhliny a zlomy. V mikroelektronice čisté prostory třídy ISO 5 a čistší mají zpravidla perforované sběrné (duální) podlahy, zvané zdvojené. Díky tomuto řešení se zajišťují dobré parametry jednosměrného proudění v celém rozsahu prostoru. Ve zdravotnictví, farmaceutickém průmyslu a nemocnicích se zdvojené podlahy zpravidla nepoužívají, protože znemožňuje mytí a dezinfekci prostoru pod ní. Nejvíce používaným druhem povrchu podlah čistých prostorů jsou vinylové (typu linoleum) a epoxidové. V čistých prostorech třídy ISO 7 a 8 se používají také keramické (dlažba) i další druhy povrchu. [1]

Potrubí

Potrubí a armatury musejí být přizpůsobeny k snadnému čištění. Místa průchodu přes stěny se musí hermetizovat. Rozvody, armatury, ventily a další musí být rozmístěny, pokud je to možné, mimo čistý prostor. [1]

Osvětlení

Konstrukce elektrozařízení musí respektovat požadavky čistých prostorů, nevytvářet podmínky pro nahromadění znečištěné a být vhodné pro úklid. Svítidla je účelné uspořádatv jedné rovině s podhledem nebo je opatřit aerodynamickým tvarem nenarušujícím vzdušný proud. Je žádoucí, aby se svítidla udržovala shora, a ne ze strany čistého prostoru. [1]

Statická elektřina

Při pohybu personálu, dopravních vozíků, při víru vzduchu zejména suchého, na površích stěn, podlah, stropu, zařízení aj. se formuje elektrostatický náboj, který vede k negativním následkům a to že částice nalézající se ve vzduchu při působení elektrostatických sil se usazují na povrchu a neodstraňují se z prostoru s proudem odváděného vzduchu. Řešením jsou antistatické stěny s uzemněním, antistatické nebo elektrický vodivé podlahoviny, antistatická látka pro ošacení. [1]

1.7 Konstrukční řešení modulárního čistého prostoru

Modulární systém oproti klasickému stavebnímu řešení, nám dává možnost rychlé realizace čistého prostoru.

Čisté prostory potřebují dýchat. V návaznosti na příjem čistého vzduchu přes moduly vzduchotechniky, vyžadují tyto místnosti i určitý prostor, kterým špinavý vzduch unikne. Prostor, je dán rozdílem výšky mezi podlahou a PVC folií nebo otvorem v modulární stěně, který může nebo nemusí být opatřen pre-filtrem pro odvod vzduchu. Díky kontinuálnímu proudění vzduchu přes tuto mezeru nám totiž žádné částice nevstupují zpět.

1.7.1 Softwall Modular Cleanroom

Softwall panely se používají pro rychlou aplikaci čistého prostoru. Jednoduchost konstrukce tohoto prostoru nám dává jeho design. Softwall modular cleanroom se skládá

ze stojných profilů, které mohou být statické nebo opatřeny pojízdnými kolečky, na kterých je umístěna stropní část. Ta nám nese vzduchotechniku a osvětlení. Rozhraní mezi prostředími je tvořeno PVC folií. Při vstupu nebo výstupu z místnosti, procházíme zástěnou složenou z proužků, aby si čistý prostor zachoval integritu a zároveň minimalizovat investiční a provozní náklady spojené s tímto designem.

1.7.2 Hardwall Modular Cleanrooms

Tento design je dán pevným umístěním do podlahy výrobní haly. Bočnice se skládají z profilů, mezi kterými není folie, ale rozhraní mezi prostředími je dána např. PC deska, která je dokonale utěsněna k profilové konstrukci. Tato konstrukce se používá pro tvorbu čistého prostoru ve velkých výrobních halách nebo jako částečné obestavení daného stroje. Tak jako je v praktické části mé diplomové práce.

1.8 Filtrace vzduchu

Jako možné řešení filtrace vzduchu, je důležité si uvědomit jakou čistotu budeme vyžadovat. Podle zvolené čistoty a velikosti vybereme jednu ze dvou možných variant. A to centrální systém rozvodu nebo blokový systém. Oba ale vyžadují kvalitní filtraci HEPA nebo ULPA filtry.

1.8.1 Částice ve vzduchu čistých prostorů

Částice jsou malé, pevné, nebo kapalně objekty s přesně definovanými rozměry, čili mají zřetelně určený profil. Důležitým druhem částic jsou mikroorganismy, jednobuněčné mikroorganismy, které jsou schopné se množit při příznivých podmínkách, při přítomnosti vody, živného prostředí a tepla okolního prostředí, jež pomáhá jejich růstu. Důležitými třemi faktory rozptýlení částic ve vzduchu, majícími vliv na technologii čistých prostorů jsou např. atmosférický vzduch, systém přípravy vzduchu a uvolňování částic při provozu v těchto prostorech. Atmosférický vzduch obsahuje dispergované částice také zvané aerosoly, vzniklé v důsledku jak přírodních procesů, tak i činnosti člověka. V přírodních aerosolech převažují drobné částice, přičemž koncentrace částic o průměru $0,1\mu\text{m}$ 1000 krát převyšuje koncentraci částic o průměru $1\mu\text{m}$. Průmyslová výroba a hustota obyvatelstva mají velmi podstatný vliv na koncentraci částic ve vzduchu, přitom dominantním zdrojem jsou dopravní toky (zvláště silniční ruch), vzdušné a tepelné emise podniků. Výsledkem vlivu

všech těchto faktorů je, že v závislosti od okolností jako počasí a hustota obyvatelstva je v jednom krychlovém metru venkovního vzduchu obsaženo od 10 milionů do 10 miliard (a někdy i více) částic s rozměry většími než 0,5 μm . Mimo to okolní vzduch přenáší mikroorganismy, u kterých koncentrace může dosáhnout ve vesnických aglomeracích až 1000 CFU / m^3 (CFU - kolonie vytvářející jednotky, které jsou schopné se rozmnožovat: bakterie, plísně a kvasinky). (CFU - anglicky Colony Forming Units). [1]

V systémech přípravy vzduchu

Je odlučování částic podmíněno opotřebením mechanických prvků. Mimo to se potenciálně velmi nebezpečně mohou množit mikroorganismy na vlhkých prvcích těchto systémů (vzduchové chladiče) a později se dostávat do proudu klimatizovaného vzduchu. [1]

V provozních prostorech

Se značné množství částic tvoří během nejrůznějších procesů. Zvláště důležitým zdrojem je člověk: dokonce při klidné činnosti vyčleňuje za minutu 100 000 - 500 000 částic o rozměrech více než 0,3 μm a 500 - 1000 CFU. [1]

1.8.2 Filtrace vzduchu vláknovými filtry

Při optimalizaci filtračních materiálů ze skelných vláken je třeba dosáhnout kompromisu v protikladných hodnotách. Požadovaná efektivnost filtrace musí být docílena při minimálním tlakovém spádu i pro velké prachové zatížení. Toto spojení efektivnosti filtrace s dlouhodobou životností a minimální spotřebou energie je rozhodujícím faktorem v definování ekonomické účelnosti použití určitého filtru. Filtrační prostředí pro HEPA a ULPA filtry, odpovídající těmto podmínkám, je podobné listu papíru tloušťky kolem 0,5 mm, který se skládá z chaoticky spletených jemných a tenkých vláken (zpravidla skla) o průměru menším než mikron. Protože rychlost vzduchu skrz filtr činí pouze 1- 3 cm/s, filtrační materiál je třeba skládat (vlnit). Proto, abychom zajistili, stejné vzdálenosti mezi záhyby je třeba aplikovat separátory montované mezi jednotlivými záhyby. [1]

Existují čtyři mechanismy přidržení částic u HEPA a ULPA filtrů:

- **Efekt síta**

Funguje, když vzdálenost mezi dvěma vlákny je menší než průměr částice. Tento jednoduchý efekt je krajně nežádoucí u vysoko efektivních filtrů. Povrch filtru se stává blokován zachycenými částicemi, je obtížné pronikání částic hluboko do filtru a jeho životnost se krátí.

- **Efekt zachycení**

Když linie proudění, po které se pohybuje částice, probíhá tak blízko k filtračním vláknům, že částice se jej dotýká.

- **Efekt inerce**

Který se projevuje u všech částic menších než 1 μm . Zásadou velká inerce se taková částice nemůže vychýlit z čáry proudu vzduchu, když obíhá vlákno a proto se usazuje na vlákně.

- **Efekt difuze**

Má dominantní význam pro velmi malé částice (méně 0,1 μm) v přiměřeně malém množství. V důsledku stálých vazeb s obklopujícími molekulami plynu tuto částici činí chaotický (Brownův pohyb) a proudí do stran od linie toku. Takto se zvyšuje pravděpodobnost dotyku s vlákny filtru a jejich zachycení.

1.8.3 Klasifikace vzduchových filtrů

Vzduchové filtry ve shodě jsou se svými charakteristikami rozčleněny na čtyři typy a to G, F, H, U.

Tab. 5. Klasifikace vzduchových filtrů [8]

Počáteční odlučivost na atmosférický prach (E A)		E A < 20%	E A ≥ 20%
		A m (%)	E m (%)
Skupina filtrů	ČSN EN 779	Hraniční hodnoty	
Hrubá filtrace (G)	G1	A m < 65	-
	G2	65 ≤ A m < 80	-
	G3	80 ≤ A m < 90	-
	G4	90 ≤ A m	-
Jemná filtrace (F)	F5	-	40 ≤ E m < 60
	F6	-	60 ≤ E m < 80
	F7	-	80 ≤ E m < 90
	F8	-	90 ≤ E m < 95
	F9	-	95 ≤ E m

(%) Odlučivost na syntetický prach pro filtry G1 – G4

Em (%) Odlučivost na atmosférický prach pro filtry F5 – F9

E (%) Střední účinnost pro HEPA a ULPA filtry

Filtry G1 – G4 se používají pro hrubé zachycení prachu, jako předfiltr pro vysoké koncentrace prachu v klimatizačních zařízeních, sacích trakttech, předfiltr pro jemnou filtrace. [8]

Filtry F5 – F7 se používají jako druhý stupeň filtrace pro odloučení jemných prachů a jako předfiltrace pro vysoce účinné filtry. [8]

Tab. 6. Klasifikace vzduchových filtrů [9]

Třída filtrace	Střední účinnost (%) MPS		Průnik (%) MPS	
H 10	H 10	85	-	15
H 11	H 11	95	-	5
H 12	H 12	99,5	-	0,5
H 13	H 13	99,95	99,75	0,05
H 14	H 14	99,995	99,975	0,005
U 15	U 15	99,9995	99,9975	0,005
U 16	U 16	99,99995	99,99975	0,0005
U 17	U 17	99,999995	99,9999	0,00005

Filtry třídy H10 – U17 jsou absolutní filtry pro vysoce účinnou filtraci vzduchu. Používají se pro operační sály, sterilizační prostory, čisté prostory, laboratoře, chemický, farmaceutický, elektrotechnický a potravinářský průmysl. [9]

1.8.4 Kombinování vzduchových filtrů pro čisté prostory

Obvykle se systémy přípravy vzduchu pro čisté prostory provádějí jako třístupňové:

- **První stupeň**

Filtr střední efektivnosti (odlučivosti) typu F pro ochranu klimatizační jednotky před znečištěním.

- **Druhý stupeň**

Vysoce efektivní filtr typu F pro zajištění čistoty ve vzduchovém potrubí.

- **Třetí stupeň:**

HEPA nebo ULPA filtr pro zabezpečení vysoké kvality čistoty vzduchu.

Tab. 7. Kombinování vzduchových filtrů [1]

Třída čistoty	1. Stupeň filtrace	2. Stupeň filtrace	Koncové filtry
ISO 5	F6	F9	H 14
ISO 6	F6	F9	H 13
ISO 7	F6	F9	H 12
ISO 8	F6	F9	H 11

2 MĚŘENÍ PODMÍNEK V CLEANROOM PRO SPLNĚNÍ NOREM

Základním předpokladem čistých prostor je dodržení daných norem pro třídu čistoty. Je nutné měřit jednotlivé procesy v čistých prostorech a to tlak, teplotu, vlhkost, velikost a koncentraci částic v prostoru. Byly navrženy speciální měřicí přístroje, které nám pomohou změřit jednotlivé vlastnosti.

2.1 Testování vzduchových filtrů

Nejdůležitější součástí čistého prostoru je filtr. Jejich rozdělení a vlastnosti byly popsány v kapitole filtrace vzduchu. Nicméně při testování čistých prostor je nutné zjistit, zda vysoce účinné filtry, přes které prochází vzduch, splňují svou zadržovací funkci.

To se zjišťuje pomocí zkušebních aerosolů, které se vstříknou do filtračního systému. Na toto měření se používají generátory aerosolu, kde je přesně stanoven počet vypuštěných částic a měříme počet který projde filtračním zařízením do čistého prostoru, kde je umístěn čítač částic.

2.2 Měření tlakových rozdílů

Tlakové rozdíly je nutné měřit mezi čistým prostředím s nižší třídou čistoty nebo okolním prostředím. Jelikož vzduch proudí z oblasti vyššího tlaku do oblasti s nižším tlakem. Čisté prostředí, by proto měly mít vyšší tlak než je tlak okolní. To zajistí, že nemohou být kontaminovány čisté prostory okolním méně čistým vzduchem. Podrobněji popsáno v kapitole tlakový spád.

2.3 Měření koncentrace částic ve vzduchu

Nejvýznamnější zkouškou k zajištění správného fungování čistých prostor je měření koncentrace částic v čistém prostoru. Tento test se provádí na závěr po předchozích zkouškách a prokazuje, že koncentrace částic ve vzduchu nepřekračuje limit pro předem určenou třídu čistoty dle normy 14644-1.



Obr. 5 Přenosný čítač častic Lasair II 110 od firmy PMI [11]

Čítače častic

Čítače častic se používají pro zjištění počtu a velikosti častic v místnosti. Nejčastěji se používají laserové čítače, které měří počet a velikost častic pomocí odraženého světla. Jako zdroj se využívá laserová dioda, nebo pro větší citlivost helium-neonový laser. Rozptýlené světlo je soustředěno do objektivu a převedeno na elektrické impulsy. Amplituda naměřených impulsů je v poměru k velikosti častic a počet impulsů odpovídá počtu častic. [10]

Čítače častic jsou nejdůležitějším nástrojem pro testování čistých prostor a na trhu jsou dostupné v provedení ruční a přenosné.

Měření koncentrace častic v prostoru

Pro klasifikaci čistých prostor je nutné vzít dostatek vzorků vzduchu, abychom měli jistotu, že koncentrace častic ve vzduchu je v rámci limitů stanovených dle normy ISO 14644-1. 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. [3] [10]

Počet a umístění odběru vzorků

Podle normy ISO 14644-1 je minimální počet míst odběru určen pomocí následujícího vzorce.

$$N_L = \sqrt{A} \quad [3]$$

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

A - je prostor, kde je koncentrace kontrolována (uvádí se v m²)

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.

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

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.

3 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování plastů je nejrozšířenější technologií pro zpracování plastů. Vstřikováním se vyrábějí takové výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku a nebo jsou polotovary nebo díly pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Technologie vstřikování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů, je to proces diskontinuální, cyklický. Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů. V omezené míře se vstřikují i některé reaktoplasty a kaučuky. [12]

3.1 Rozdělení plastových materiálů

Plasty jsou materiály, které jsou tvořeny makromolekulárními řetězci. Plasty se rozdělují podle následujících parametrů:

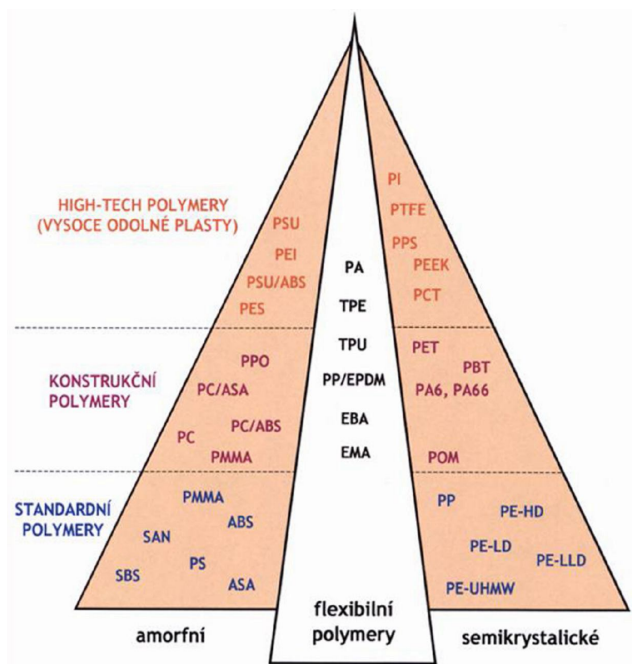
Podle nadmolekulární struktury (stupně uspořádanosti):

- **Amorfní plasty**

U amorfních plastů nám makromolekuly nám zaujmají nahodilou pozici. Patří sem PMMA, PC, apod. Tyto materiály jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti a jsou vzhledem k nízkému indexu lomu (1,4 až 1,6) čiré (průhledné), transparentní anebo průhledné (60 % propustnosti světla). [12]

- **Krystalické plasty (semikrystalické)**

Nám vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Ten se nazývá stupeň krystalinity (pohybuje se od 40 do 90 %) a vyjadřuje nám relativní podíl uspořádaných oblastí. Nemůže nikdy dosáhnout 100 %. Z toho důvodu se označují jako semikrystalické. Patří sem PP, PA, PE, PTFE, POM, atd. Jsou mléčně zakalené, index lomu je větší a jsou charakterizovány houževnatostí materiálu. [12]



Obr. 6. Rozdělení materiálů [11]

3.1.1 Podle teplotního chování

• Termoplasty

Jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu. Tento stav lze opakovat. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd. [12]

• Reaktoplasty

Jedná se o polymerní materiály, dříve nazývané termosety, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Patří sem fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty. [12]

• Kaučuky, pryže a elastomery

Jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení, probíhá zde pouze fyzikální děj. [12]

Rozdělení podle aplikace, a podle konstrukční složitosti vyráběných dílů

- Plasty pro široké použití
- Plasty pro inženýrské aplikace
- Plasty pro špičkové aplikace

3.2 Postup při vstřikování

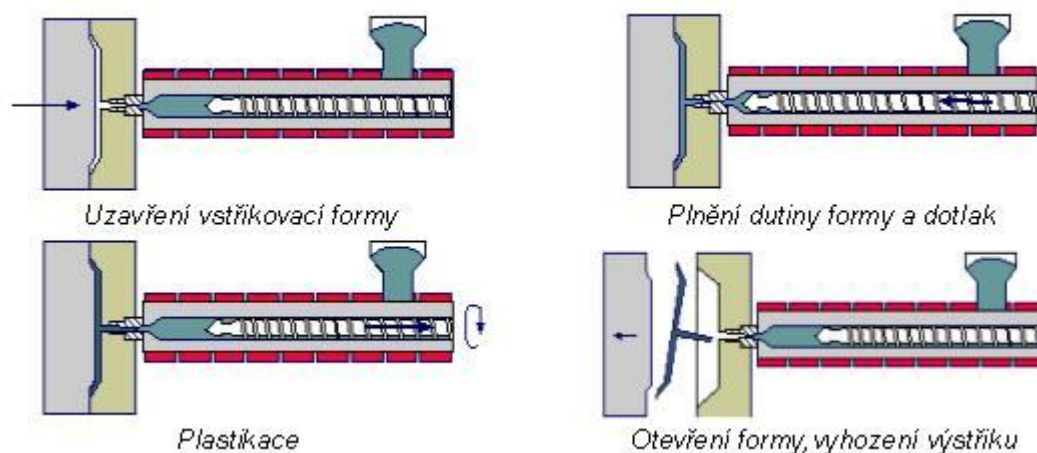
Postup vstřikování je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze (dotlak) pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje. Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází teplotním cyklem. Při popisu vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy. [12]

Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu, pohyblivá část formy se přisune k pevné, forma se zavře a uzamkne – strojní časy. Tyto činnosti je nutné odlišit, protože na přisouvání formy se musí vynaložit jen malá přisouvací síla F_p , zatímco na uzamknutí je nutno vynaložit značně vyšší uzavírací sílu F_u (až třikrát vyšší), neboť musí být zaručeno, že se forma vlivem tlaku taveniny při vstřikování neotevře. Následuje pohyb šneku v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do dutiny vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a vlastně plní funkci pístu. Po naplnění formy je tavenina v dutině ještě stlačena a tlak dosáhne maximální hodnoty. [12]

Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a chladne. Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku. V praxi se dělí na dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a na dobu chlazení při klesajícím tlaku. Doba chlazení je závislá na teplotě formy T_F a tloušťce stěny výrobku. Během chlazení se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem, a aby se na výstřiku netvořily propadliny a staženiny, je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do

dutiny formy – dotlak. Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak nebo se může po několika sekundách snížit a další chladnutí probíhá při sníženém tlaku. Dotlak se proto rozděluje na izobarický a izochorický. Abychom mohli dotlačovat, musí před čelem šneku zůstat určitý objem plastu - polštář, na který bude šnek působit svým čelem. [12]

Po dotlaku začíná plastikace nové dávky plastu. Šnek se začne otáčet, pod násypkou nabírá granulovanou hmotu, plastikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat tzv. protitlak neboli zpětný tlak. Výška protitlaku ovlivňuje dobu plastikace a tím i kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Příliš vysoký protitlak by však mohl způsobit až degradaci plastu. Ohřev plastu během plastikace se děje jednak převodem tepla ze stěn válce, jednak frikčním teplem, které vzniká třením plastu o stěny komory a o povrch šneku a dále přeměnou hnětací práce šneku v teplo. Jestliže je tavicí komora opatřena samouzavíratelnou tryskou, může plastikace probíhat i při otevřené formě. Dále může a nebo nemusí následovat odsunutí tavicí komory od formy. Během pokračujícího chlazení tlak ve formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , což je tlak, pod nímž se hmota nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Příliš vysoký zbytkový tlak je příčinou vysokých vnitřních pnutí ve výstřících, které u křehkých hmot mohou způsobovat až samovolné praskání výstříku. Zbytkový tlak lze snížit buď zkrácením doby dotlaku anebo programovaným průběhem tlaku během dotlaku. Po dokonalém zchladnutí výstříku se forma otevře a výstřík se vyhodí z formy.[12]



Obr. 7. Postup při vstřikování [12]

3.3 Časy vstřikovacího cyklu

Časové úseky vstřikovacího cyklu trvají různě dlouho a jsou závislé na designu výstřiku, konstrukci formy, technologických podmínkách vstřikování.

3.3.1 Doba vstřikování

Doba plnění dutiny formy se odvíjí od rychlosti pohybu šneku vpřed, která závisí na technologických podmínkách, zejména na teplotě taveniny a na vstřikovacím tlaku p. Vysoká vstřikovací rychlost má příznivý vliv na orientaci makromolekul, ale vzniká možnost degradace materiálu. Doby vstřikování jsou od několika desetin sekund až po jednotky sekund při velkém objemu výrobku. [12]

3.3.2 Doba dotlaku

Po vstřiknutí materiálu a jeho naplnění tvarové dutiny formy následuje stlačování hmoty, kdy nám tlak prudce vstoupá a tlak klesá. Pokud by tlak zůstal na původní hodnotě, došlo by ke vzniku tlakové špičky. To by vedlo ke zvětšení hmotnosti a rozměrů výstřiku a následnému namáhání formy. Účelem dotlaku je dodávání materiálu do formy a tím tedy kompenzování smrštění během chladnutí, aby nevznikly propadliny a staženiny. U strojů s optimalizací procesu lze průběh dotlaku optimalizovat. V první fázi je dotlak vyšší, aby se využilo vysoké tekutosti taveniny a ke konci se dotlak sníží, aby se omezila orientace v okolí vtoku. [12]

3.3.3 Doba plastikace

Doba potřebná k rovnoměrnému zhomogenizování a umístění dávky před čelo šneku. Velikost zplastikované dávky musí zabezpečit naplnění tvarové dutiny formy a daného vtokového systému. Musí kompenzovat změnu objemu, vyvolanou smrštěním. Teplo, potřebné k roztavení jedné dávky, je z jedné třetiny dodáváno z elektrického odporového topení a ze dvou třetin z tření hmoty při homogenizaci. [12]

3.3.4 Doba chlazení

Doba chlazení představuje nejdelší dobu cyklu a pohybuje se od několika sekund u tenkostěnných výstřiků do několika málo minut. Doba závisí na tloušťce stěny výrobku, na typu materiálu, teplotě taveniny, teplotě formy. [12]

3.4 Vstřikovací stroje

Pořizovací cena strojního zařízení i vstřikovací formy je velmi vysoká. Technologie je určena pro velkosériovou a hromadnou výrobu, kde se náklady na pořízení rozmělní v počtu vyrobených kusů. Výroba probíhá na moderních strojích plně automaticky, dosahuje se zde vysoké produktivity práce a není nutné zařazovat další operace, jelikož ve většině případů je výstřik zároveň finálním produktem. [12]

3.4.1 Charakteristika vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroje jsou různého typu, velikosti a konstrukce. Skládají se ze tří základních jednotek

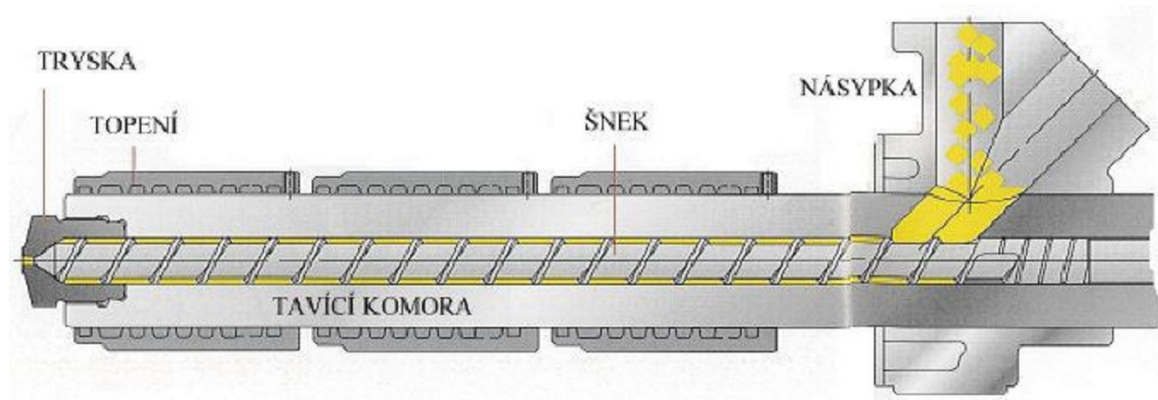
- vstřikovací jednotka
- uzavírací jednotka
- ovládání a řízení stroje

Vstřikovací jednotka přeměňuje granulát plastu na homogenní taveninu o dané viskozitě, vstřikuje taveninu vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy. Máme dva základní typy a to pístovou a šnekovou. Pístová vstřikovací jednotka byla z běžných strojů vytlačena a používá se pouze u specifických operací. Výhody šnekové jednotky jsou:

- spolehlivá plastikace a dobrá homogenizace roztaveného plastu,
- zabránění přehřívání materiálu v tavicí komoře,
- vysoký plastikační výkon i velký zdvihový objem, takže velikost výstřiku lze teoreticky libovolně zvyšovat,
- odstranění potíží při čištění komory při výměně materiálu,
- zaručené přesné dávkování hmoty,

- nízké ztráty tlaku během pohybu hmoty,
- vyšší účinnost zásahu do vstřikovacího procesu, např. řízení dotlaku.

Činnost šnekového stroje je následující: při plastikaci se šnek otáčí a v hrdle násypky nabírá granulovaný plast, který stlačuje a dopravuje jej do vytápěných částí tavicí komory, kde materiál taje a jako tavenina se hromadí před čelem šneku a šnek během otáčení ustupuje dozadu. Po zplastikování potřebného množství plastu se otáčivý pohyb šneku zastaví a šnek se bez otáčení pohybuje dopředu jako píst a vstřikuje taveninu do dutiny formy. Jelikož plastikace nové dávky plastu může probíhat ještě ve fázi chlazení výstřiku ve formě, je výrobní cyklus kratší oproti pístovým strojům. [12]



Obr. 8. Řez vstřikovací jednotkou [11]

3.4.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstřikování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela.

Uzavírací jednotka se skládá z částí: opěrné desky, pohyblivé desky, upínací desky s otvorem pro tryšku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstřikovací formy, vedení pro pohyblivou desku, z uzavíracího a přidržovacího mechanismu. [12]

3.4.3 Ovládání a řízení stroje

Stupeň seřízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným a nutným faktorem. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se to na přesnosti a kvalitě výrobku.

Řízení stroje se proto musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky. Nastavení stroje je řídicím systémem také kontrolováno (zpětná vazba). Alternativní volba a úprava programu se pak může snadno uskutečnit za pomoci barevné obrazovky. Na přesnosti a jakosti výstřiku má řízení stroje rozhodující vliv. [13]



Obr. 9. Ovládací zařízení [12]

3.4.4 Vstřikovací forma

Formy pro zpracování musí odolávat vysokým tlakům, musí poskytovat výrobky o přesných rozměrech, musí umožnit snadné vyjmutí výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné znalosti, ale i na finanční náklady. Volba materiálu formy závisí na druhu zpracovávaného plastu, na použité technologii, na velikosti výrobku a jeho složitosti, na velikosti série, na tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi.

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třideskové, etážové, čelist'ové, vytáčeční, apod.,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny.

Vstřikovací forma se skládá z dílů, vymežujících tvarovou dutinu formy, z chladičného (temperačního) systému, z vtokového systému, z vyhazovacího systému a z upínacích a vodících elementů. Jednotlivé části vstřikovacích forem lze rozdělit do dvou skupin na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje a funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar. [12]

4 ŘEŠENÍ CLEANROOM V PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování v čistých prostorech se začalo používat v polovině roku 1980, kdy mnohé firmy začaly vidět příležitost dělat formy pro zdravotnický materiál.

Řešení čistého prostoru v procesu vstřikování je složitý proces, ve kterém se musí zohlednit všechny parametry pro danou výrobu. Nelze unifikovat jeden prostor pro všechny způsoby vstřikování. Čistá místnost se musí navrhnout na daný výrobek. Jiné konstrukční řešení použijeme u vstřikování transparentních materiálů a jiný zase pro zdravotnický materiál. Musí se splnit požadavky zákazníka pro danou čistotu výroby dle normy 14644-1.

Tab. 8. Rozdělení tříd čistoty dle použití

TŘÍDA ISO	MAXIMÁLNÍ POČET ČÁSTIC/m ²						
	≥0.1 μm	≥0.2 μm	≥0.3 μm	≥0.5 μm	≥1 μm	≥5 μm	
ISO 1	10	2					laboratorní podmínky
ISO 2	100	24	10	4			
ISO 3	1000	237	102	35	8		
ISO 4	10000	2370	1020	352	83		
ISO 5	100000	23700	10200	3520	832	29	
ISO 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293	Poslední trendy vstřikování
ISO 7				352000	83200	2930	
ISO 8				3520000	832000	29300	proces vstřikování "snadno" dosažitelné
ISO 9				35200000	8320000	293000	

Transparentní materiály jsou vyráběny v prostorách s třídou čistoty 9 a většina výrobků pro zdravotnický průmysl se vyrábí v prostředí třídy 8. V poslední době je vidět rostoucí poptávka po výrobě v třídách čistoty 7 a 6.

4.1 Výběr správného stroje pro vstřikování v čistých prostorech

Výběr daného stroje je jedním z nejdůležitějších předpokladů pro splnění dané třídy čistoty. Pro výrobu v čistých prostorech proto vybíráme stroje, které při provozu neprodukují velké množství znečišťujících částic. Jedná se například o stroje elektrické, které mají nižší spotřebu energie, jsou čistší a produkují méně hluku než stroje hydraulické.

Produkují rovněž méně emisí a to je pro čisté místnosti nutností. Povrch stroje má často speciální antistatickou barvou, která minimalizuje usazování prachu.



Obr. 10. Vstřikovací stroj od firmy Negri BOSS typ VESTA 220[14]



Obr. 11. Vstřikovací stroj od firmy Ferromatik Milacron typ F160 [15]

Výrobci vstřikovacích strojů představily v roce 2011 novinky v oblasti výroby dílců pro lékařský a farmaceutický průmysl, kterým lze dosáhnout až ISO 6. Jedná se o stroje, které jsou přímo vyráběné pro potřebu zákazníka, který stanoví použití daného stroje.



Obr. 12. Vstřikovací od firmy Sumitomo Demag [16]

Řešení čistého prostoru, které nabízí firma Arburg, je flexibilní a přizpůsobuje se dané technologii vstřikování. Používá se například pro brýle, LED čočky, optická vlákna, Injekční stříkačky.



*Obr. 13. Vstřikovací stroj Arburg
370A upravený pro cleanroom [17]*

4.2 Konstrukční řešení čistého prostoru pro proces vstřikování

Po výběru vhodného vstřikovacího stroje, je potřeba si uvědomit další náklady spojené s výrobou v čistém prostředí. Cena čistého prostoru se zvyšuje s třídou čistoty. Jako nejrychlejší a nejlevnější varianta pro zavedení do výroby je použití softwall modular cleanroom v normálním prostředí. Dražší variantou je použití hardwall modular cleanroom, kde částečně obestavíme vstřikovací stroj a nakonec umístíme balící zařízení nebo umístění do hermetického boxu. Nejdražší a časově nejnáročnější je varianta použití čisté místnosti, ve které je umístěn vstřikovací stroj.

4.2.1 Vstřikovací stroj v normálním prostředí

Samostatný softwall modular cleanroom

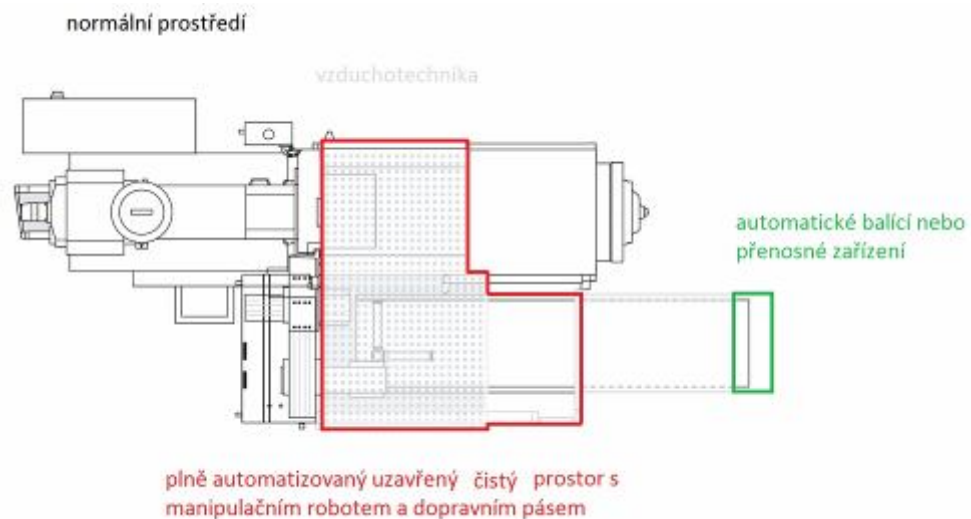
Nejjednodušší a nejrychlejší variantou je využití stávajících prostorů, kde je potřeba pouze změna podlahy. Vstřikovací stroj je umístěn v softwall modular cleanroom, který je možné zakoupit jako hotový výrobek, nebo ho zkonstruovat na míru. Těmito variantami lze dosáhnout třídy čistoty ISO 9.



Obr. 14. Vstřikovací stroj v normálním prostředí splňující třídu čistoty ISO 9 [18]

Obestavený hardwall modular cleanroom bez transportu

Dražší variantou je obestavení vstřikovacího stroje pevnou konstrukcí a umístění vzduchotechniky do prostoru formy. Je nutné provést zásahy na vstřikovacím stroji, a to odkrytování horní části vstřikovacího stroje a bočních pojezdových dveří. Kolem těchto prostor musíme kvalitně zaizolovat naši konstrukci, aby bylo dosaženo hermetického uzavření výrobního prostoru. Je vhodné na konec automatického výrobního cyklu umístit balicí zařízení. V případě uzavření se musí výrobky transportovat v hermeticky uzavřených boxech, do výrobního cyklu nám vstupuje člověk, který nám snižuje požadovanou třídu čistoty.



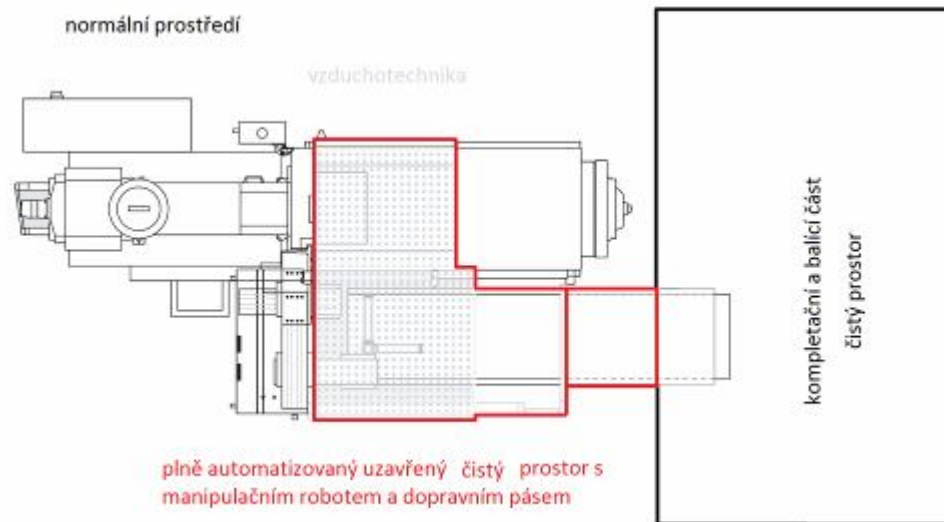
Obr. 15 Vstřikovací stroj s balicím zařízením [19]



Obr. 16. Řešení vstřikovacího stroje s balicím zařízením

Obestavený hardwall modular cleanroom s transportem do čistého prostoru

Varianta s transportem výrobku do čistého prostoru. Konstrukce je stejná jako v předchozím případě, navíc se zde musí vyřešit přechodová oblast mezi výrobním prostorem a prostorem kompletačním nebo balícím. Tato oblast je řešena pomocí dvou přepážek, které se automaticky spouštějí a zvedají s pohybem dopravníku a ohledem výrobního cyklu. Touto variantou lze dosahovat třídy čistoty ISO 8, ISO 7.



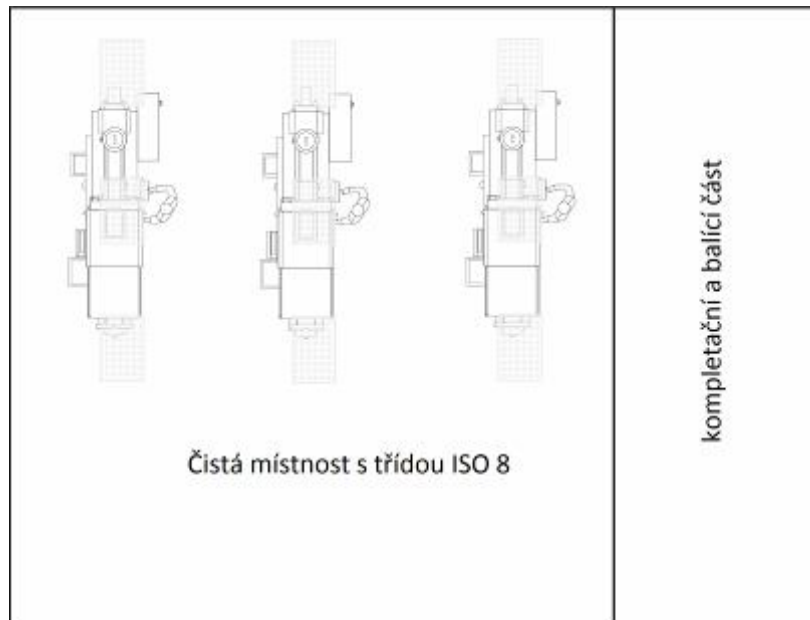
Obr. 17 Vstřikovací stroj v normálním prostředí s transportem do čistého prostoru[19]



Obr. 18. Řešení procesu vstřikování od firmy Arburg [19]

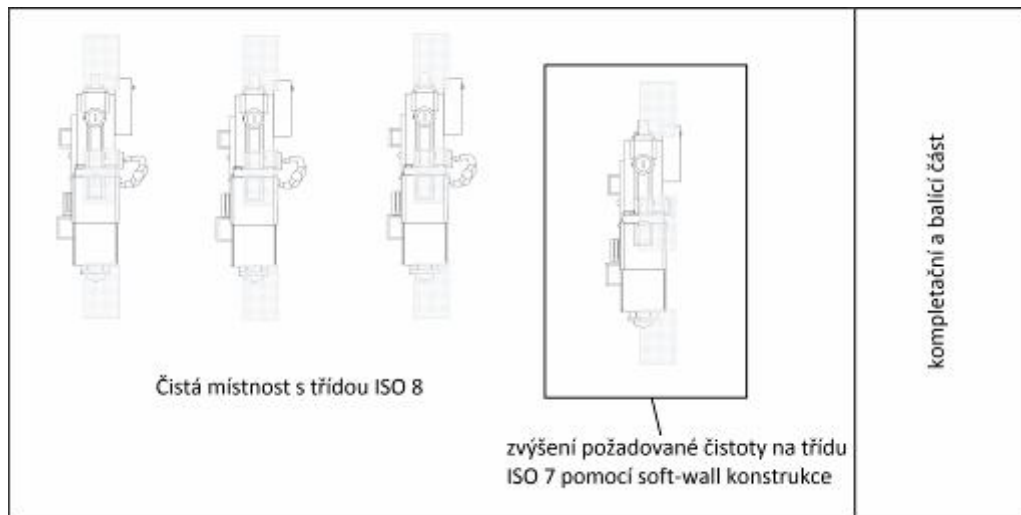
4.2.2 Vstřikovací stroj je umístěn v čisté místnosti

Nejnákladnější variantou je umístění vstřikovacího stroje do čisté místnosti. Touto variantou se dosahuje, za použití vhodného vstřikovacího stroje a dodržení podmínek čistého prostoru, dané třídy ISO.



Obr. 19 Standardní umístění vstřikovacího stroje v čisté místnosti[19]

Jestliže chceme zvýšit danou třídu ISO čisté místnosti, je nutné vstřikovací stroj obestavit softwall modular cleanroom konstrukcí, s dostatečně výkonnou vzduchotechnikou, která nám umožní lokální zvýšení čisté výrobní haly.



Obr. 20. Zvýšení čistoty pro výrobu[19]



Obr. 21 Zvýšení třídy čistoty výroby z ISO 8
na ISO 7 [20]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

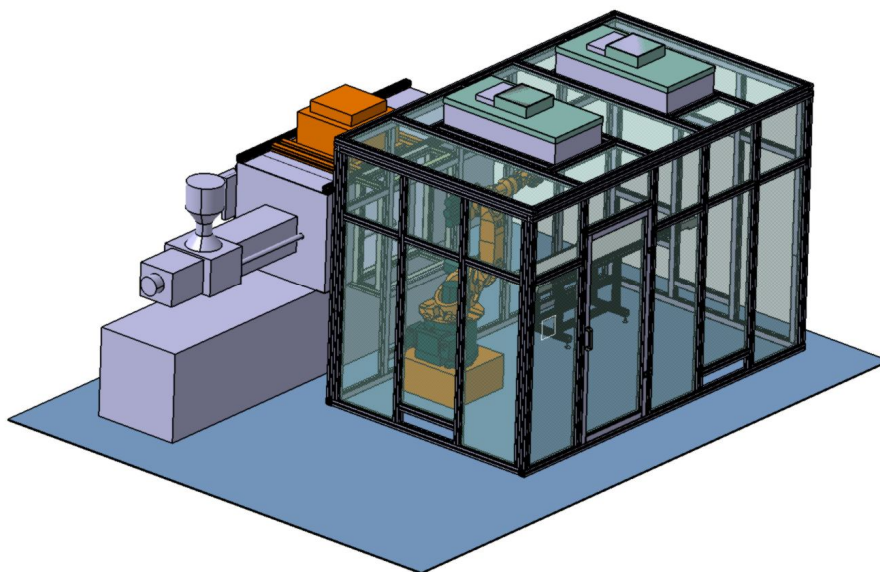
- vypracovat literární rešerši na dané téma,
- vypracovat návrh cleanroom pro proces vstřikování, aby bylo dosaženo minimálně třídy čistoty ISO 9 dle normy ISO 14644-1

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh řešení cleanroom pro proces vstřikování.

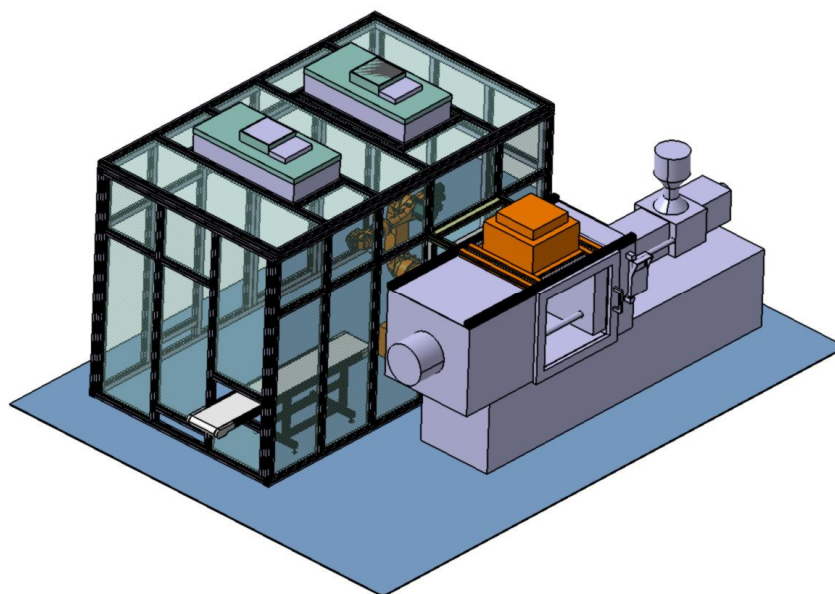
První část se zabývá výběrem nejdůležitějších oblastí zařízení pro tento prostor z hlediska funkčního, kde kritériem je splnění dané třídy čistoty. Druhá část se zabývá konstrukčním návrhem hardwall modular cleanroom. Jeho návrh bude zhotoven pomocí programu CATIA V5R17.

6 NÁVRH HARDWALL MODULAR CLEANROOM

V této části diplomové práce se budu zabývat konstrukčním návrhem pracovní stanice pro proces vstřikování. Zvolil jsem si pro návrh hardwall modular cleanroom, který nám částečně obestaví vstřikovací stroj Arburg 420C. Vstřikovací stroj byl vymodelován schématicky.



Obr. 22. Návrh čistého prostoru-pohled 1



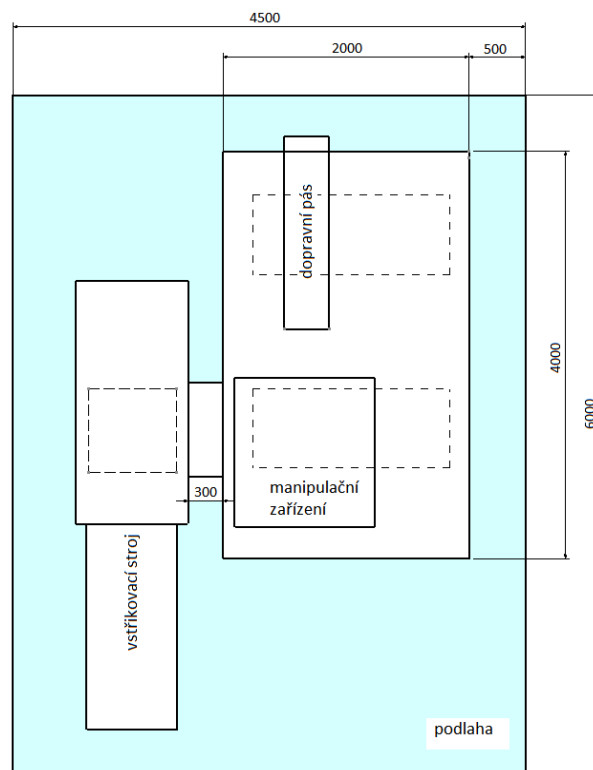
Obr. 23 Návrh čistého prostoru-pohled 2

6.1 Rozměrový návrh

Základní rozměrový návrh čisté místnosti byl udělán s ohledem na vybraný vstřikovací stroj Arburk 420C, který byl vybrán vedoucím diplomové práce.

V první řadě je potřeba přizpůsobit velikost čistého prostoru možnostem výrobní haly. Pod čistý prostor a vstřikovací stroj je potřeba udělat novou podlahu, která bude splňovat požadavky čistého prostoru. Tato podlaha musí přesahovat daný prostor minimálně o 500 mm, aby byla zaručena základní čistota mimo navrhovanou místnost. Byla vybrána podlaha na bázi epoxidové pryskyřice Sikafloor 390 AS. Antistatická chemicky odolná vrstva na bázi epoxidových pryskyřic, je vhodná pro provozy s chemickým a mechanickým zatížením.

Rozměr čistého prostoru musí být dostatečně velký, aby se do něj umístily veškeré potřebné komponenty pro automatizaci výroby. Jedná se o manipulačního robota, dopravní pás a musíme v návrhu počítat s prostorem pro údržbu. Proto bylo před zahájením konstrukce navrženo schématické řešení.



Obr. 24. Rozměrový návrh

6.1.1 Vstřikovací stroj ALLROUNDER 420C

Hlavní údaje o stroji:

Uzavírací síla: 1000 kN

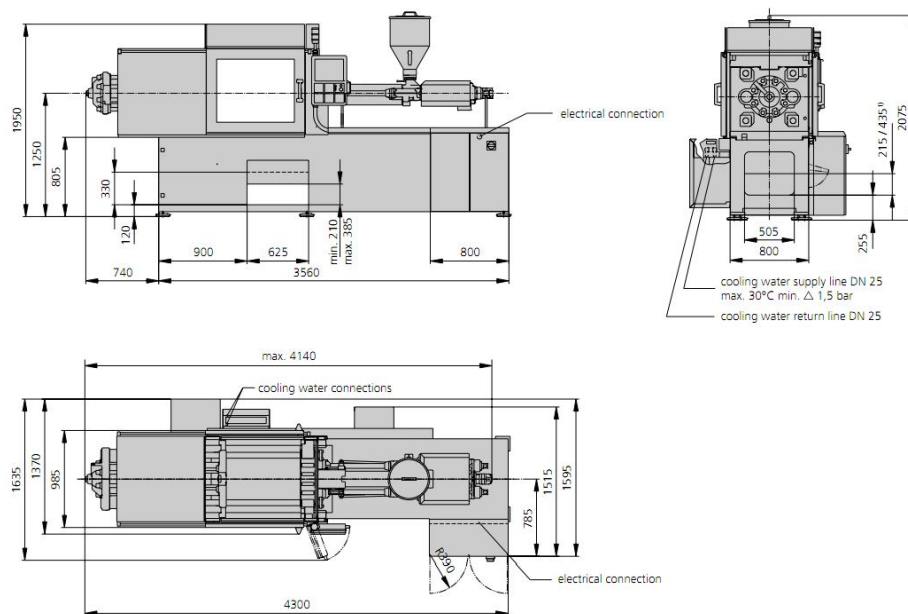
Maximální objem výstřiku (včetně odpadu): 182cm³

Minimální zdvih stroje: 250 mm

Vzdálenost mezi vodícími sloupy : (420 x 420) mm



Obr. 25 ALLROUNDER 420C



Obr. 26 ALLROUNDER 420C základní rozměry

6.1.2 Vzduchotechnika

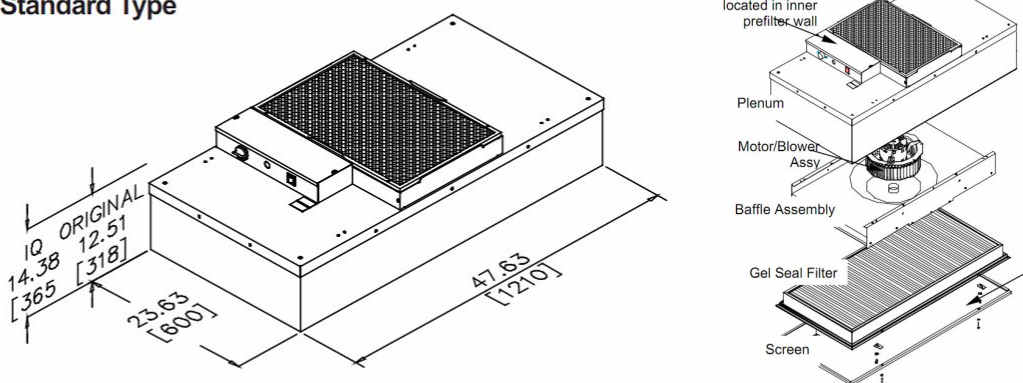
Vzduchotechnika, která byla umístěna do prostoru formy i prostoru manipulace, byla vybrána od firmy ENVIRCO. Jedná se o typ MAC Standard 10, která má tři funkce nastavení otáček. Na filtraci se nejvíce podílí vysoce účinný filtr vzduchu (HEPA). Typ UL 900 s 99,99% účinnosti pro zachycení částic do velikosti 0.3 mikronů. Díky použitému filtru lze tedy dosahovat třídy ISO 7. Do oblasti formy bude zvolen typ 2x2 Standard a 2 bloky vzduchotechniky 2x4 do oblasti manipulace.

Tab. 9. Vlastnosti vzduchového filtru MAC 10 Standard [21]

Nominal Unit Size	Active Filter Face Area (Sq. Ft.)	Max CFM	Watts @ Max CFM (Original)	CFM @ 90 FPM	Watts @ 90 FPM (Original)	Unit Weight	Sound Level dBA
2x4 Standard	7.2	660	315	650	310	66	51.0
2x3 Standard	5.3	560	270	470	240	52	51.0
2x2 Standard	3.5	410	200	315	165	41	48.0
2x4 RSR	5.3	610	300	470	245	71	51.0
2x3 RSR	3.8	500	250	340	200	54	51.0
2x2 RSR	2.3	350	170	210	140	44	48.0

Pro uchycení vzduchotechniky se použije lišta, která se připevní do stropní konstrukce

Standard Type



Obr. 27. Vzduchový filtr MAC 10 Standard [21]

6.1.3 Manipulační robot

Do zvoleného čistého prostoru jsem vybral robota od firmy KUKA, typ R 16-2 CR určený pro práci v čistých prostorech. Díky počtu os a maximální uchopné vzdálenosti, je tento robot vhodný pro námi požadovanou funkci.

Specifikace udané výrobcem:

Počet os	6
Užitečné zatížení	16 kg
Doplňující užitečné zatížení	10 kg
Maximální dosah	1610 mm
Opakovatelnost s přesností	$< \pm 0,05$ mm
Hmotnost	235 kg

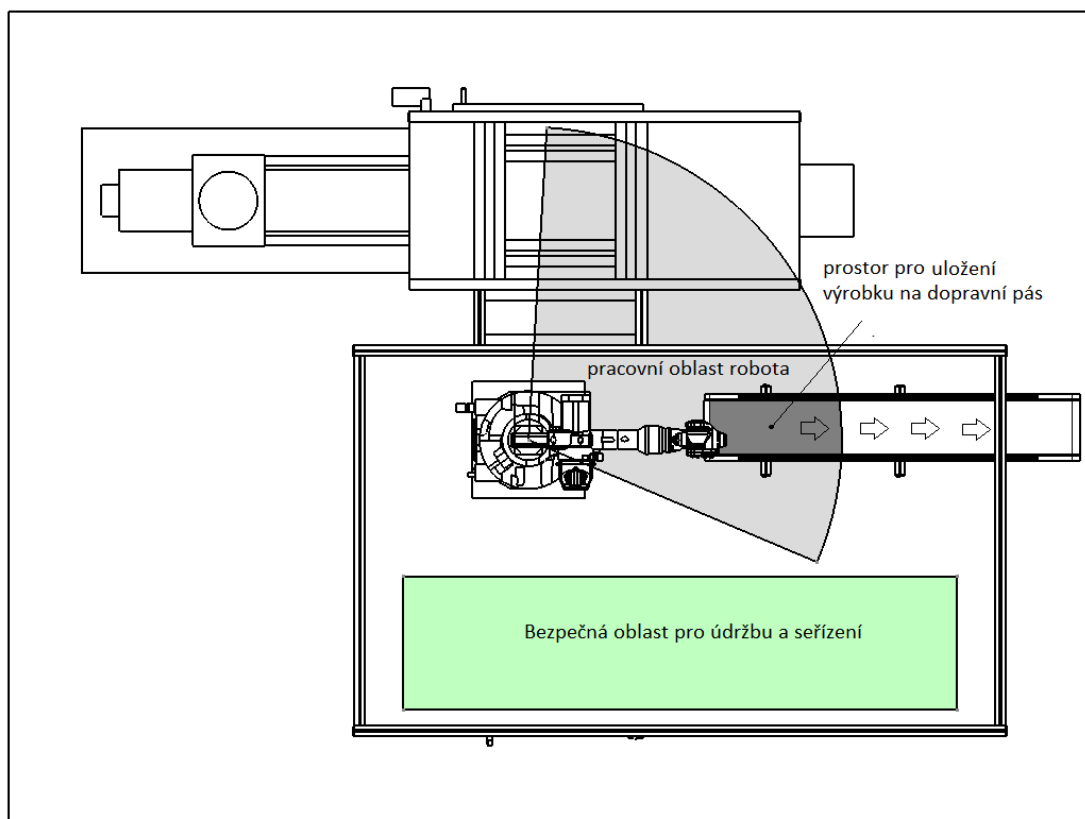


Obr. 28 Manipulační robot typ R 16-2 CR [22]

6.2 Funkční uspořádání

Do oblasti čistého prostoru je nutné zakomponovat jednotlivé položky tak, aby byla zajištěna bezporuchová automatizovaná výroba. Jako funkční uspořádání jsem zvolil

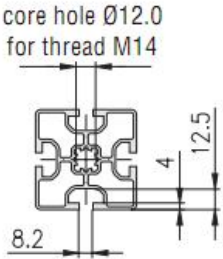

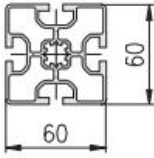
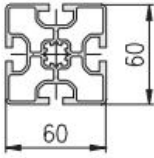
umístění manipulačního robota naproti vstřikovací formy, který daný výrobek uchytí a umístí na dopravní pás. Následně je transportován do čisté místnosti, kde se na výrobku bude dále pracovat.



Obr. 29. Funkční uspořádání

6.3 Konstrukce

Konstrukce čistého prostoru byla vytvořena pomocí profilové řady firmy MayTec profil 60x60 typ 4E. Celý návrh jsem rozdělil do dílčích bloků, které na sebe ale vzájemně navazují a je proto nutné na ně pohlížet i jako na celek.

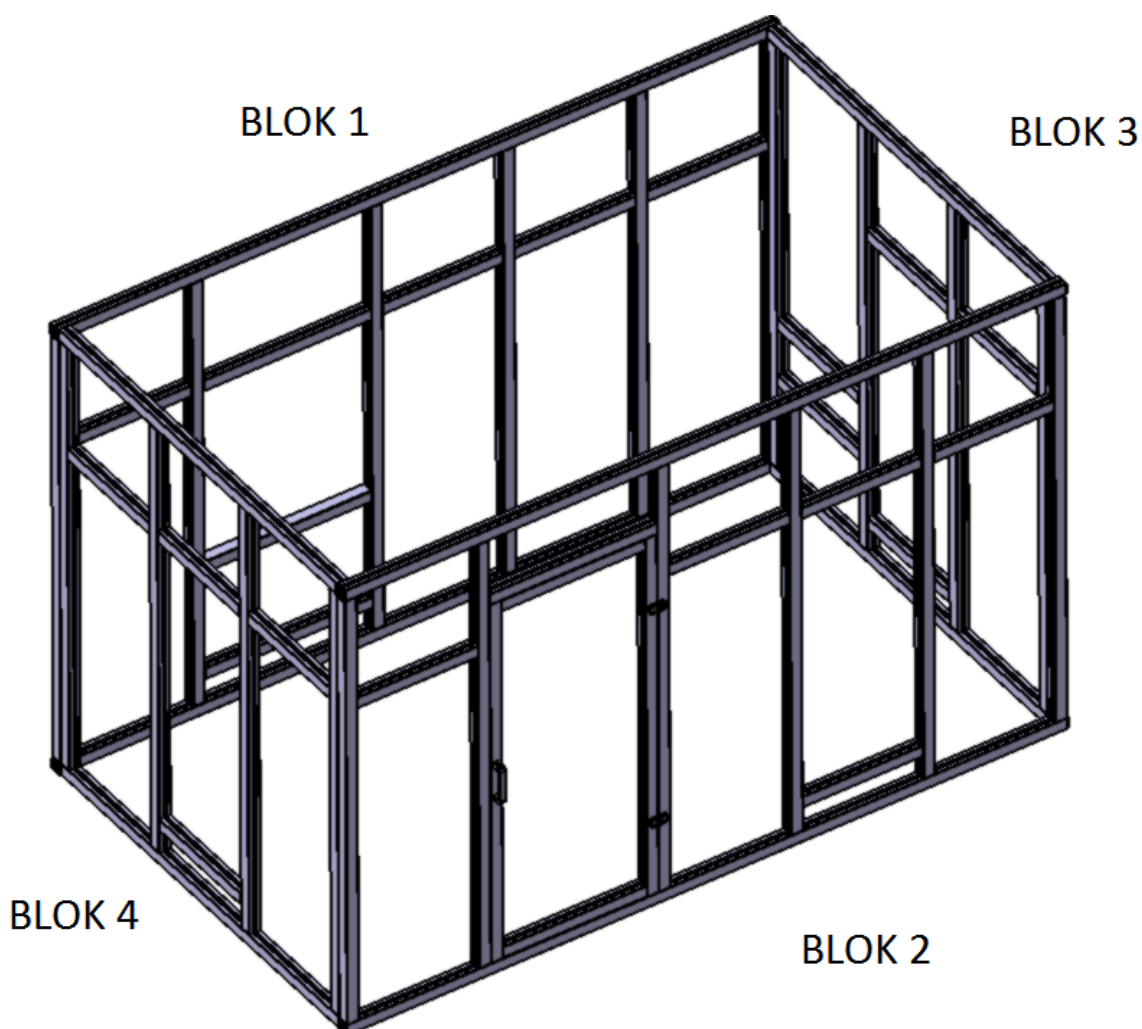
light	
 <p>core hole Ø12.0 for thread M14</p>	
	
Description	Profile 60×60, 4E, LP
bar, 6 m	1.11.060060.43LP.60
packing unit (number)	1.11.060060.43LP.61 (6)
moment of inertia cm ⁴	$I_x = 35.5$ $I_y = 35.5$
moment of resistance cm ³	$W_x = 11.7$ $W_y = 11.7$
weight kg/m	$G = 2.7$

Obr. 30. Vybraný profil [23]

6.3.1 Obvodová konstrukce

Obvodová konstrukce má za účel oddělit čistý prostor od prostoru normálního. Musí být dostatečně stabilní, aby udržela stropní část, kde je umístěna vzduchotechnika. Navrhl jsem obvodovou konstrukci složenou ze čtyř bloků. Byla zvolena profilová řada 60x60, 2E, light, plain od firmy MayTec.

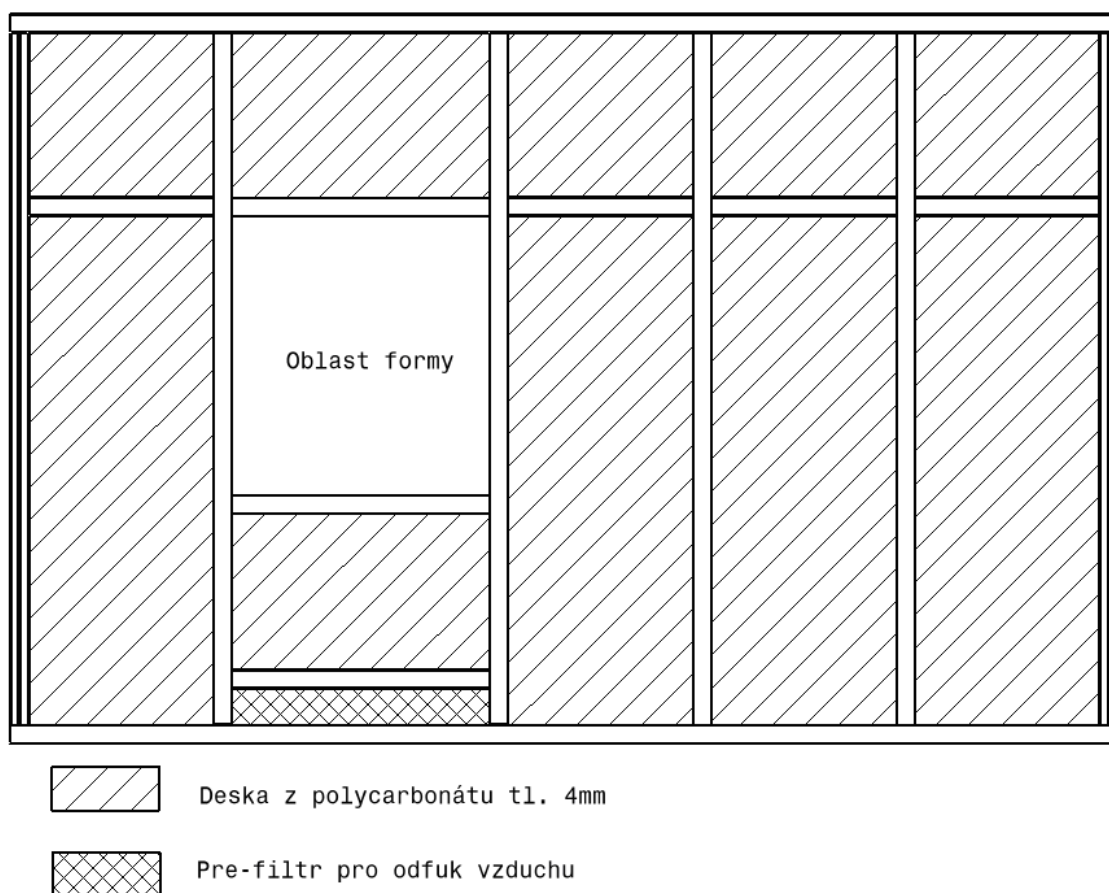
Každý blok obvodové konstrukce lze smontovat samostatně a až následně se kompletuje. Bloky jsou stěny daného prostoru, které jsou po montáži následně pospojovány systémem výrobce MayTec a zajištěny vnějším přepásováním.



Obr. 31. Rozdělení obvodové konstrukce

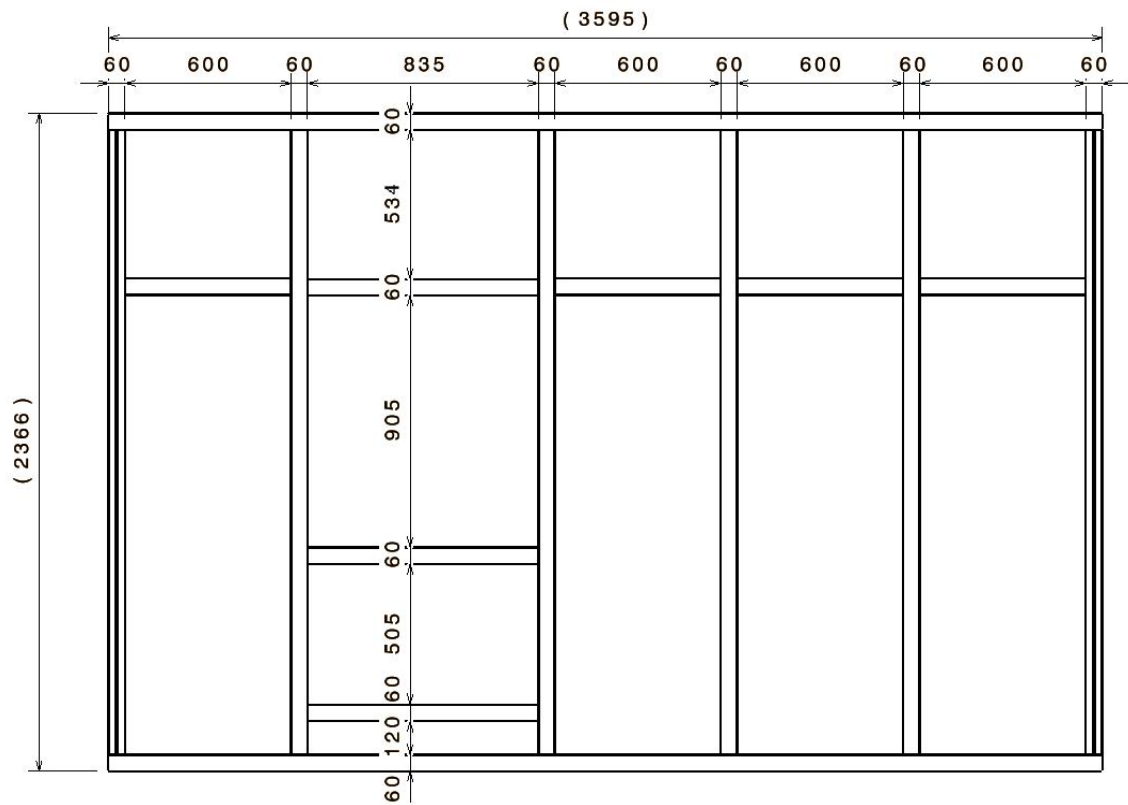
BLOK 1

Blok 1 je nejdůležitější součástí obvodové konstrukce. Obsahuje vstupní prostor do oblasti vstřikovacího stroje a formy. Při návrhu se snažíme dosáhnout stejné rozteče a to 600 mm. Je to proto, že většina vzduchotechniky, podhledů a osvětlení je právě v této násobnosti. Musíme ale změnit rozteč u jedné části tohoto bloku a to na velikost vstupního prostoru oblasti formy tak, aby zde nedocházelo k zadržování nečistot výrazným zúžením a vznikem rohů. Tato změna se projeví v bloku 2, 5, 6 a stropní konstrukci



Obr. 32. BLOK 1 rozdělení materiálu a funkčnosti

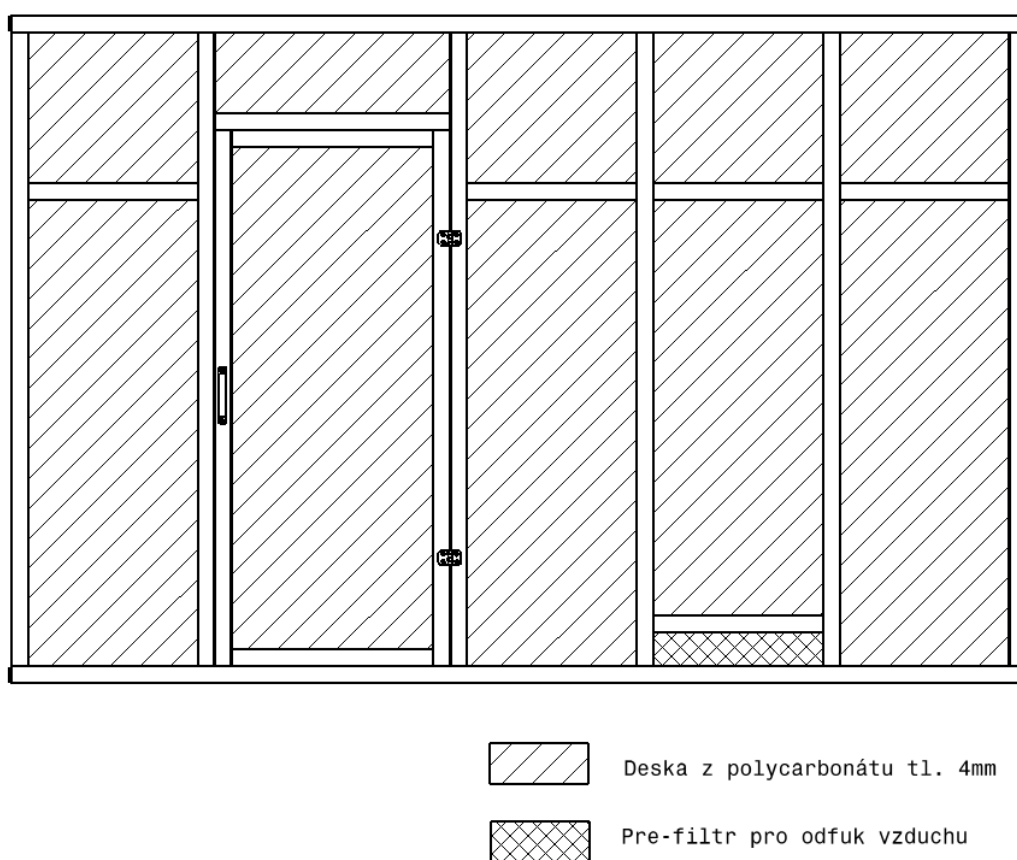
Blok 1 bude vyplněn deskami z polycarbonátu tloušťky 4 mm, které si necháme nařezat na přesný rozměr. Průduch pro odfuk vzduchu z čistého prostoru bude tvořen pre-filtrem o rozměrech 835x120, aby nedocházelo ke znečištění z normálního prostředí do oblasti čistého prostoru, i když by k tomu nemělo docházet, jelikož dodávaný vzduch by měl zvýšit tlak uvnitř čistého prostoru a nemělo docházet k nasávání nečistot.



Obr. 33. BLOK 1 základní rozměry

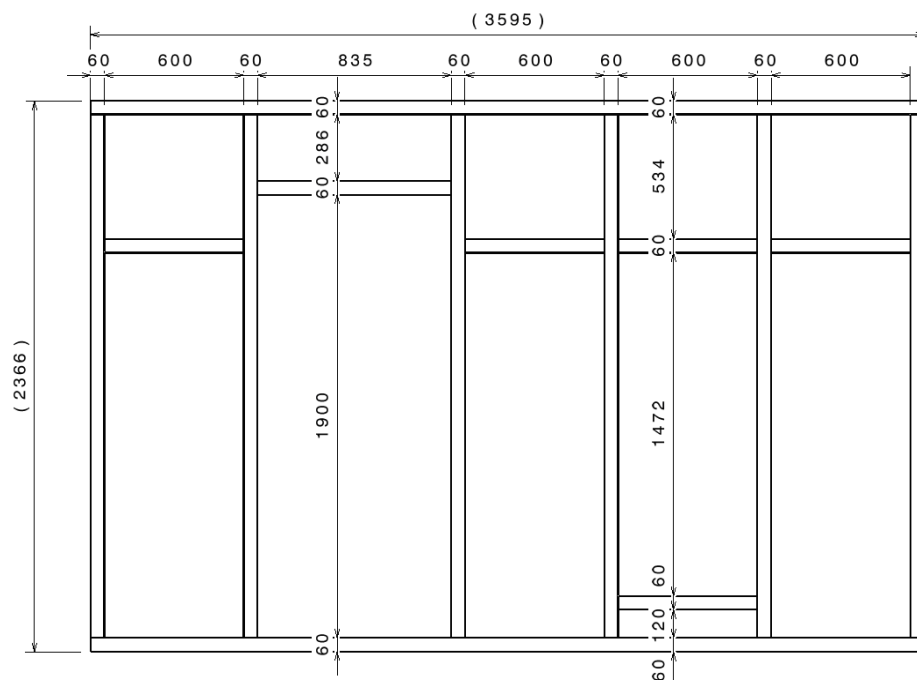
BLOK 2

Blok 2 bude obsahovat vstup pomocí utěsněných dveří do prostoru formy. Tyto dveře budou opatřeny zámkem, aby nebylo možné kontaminovat výrobní proces. Průchod je dostatečně velký, aby bylo možné všechny části pro automatizaci výroby dostat do čistého prostoru. V případě, že by bylo nutné dostat do prostoru větší zařízení než je schopné projít těmito vstupními dveřmi, je možné po vypodložení konstrukce odmontovat blok 4 a tím získat potřebný prostor pro dopravu.



Obr. 34. BLOK 2 rozdělení materiálu a funkčnosti

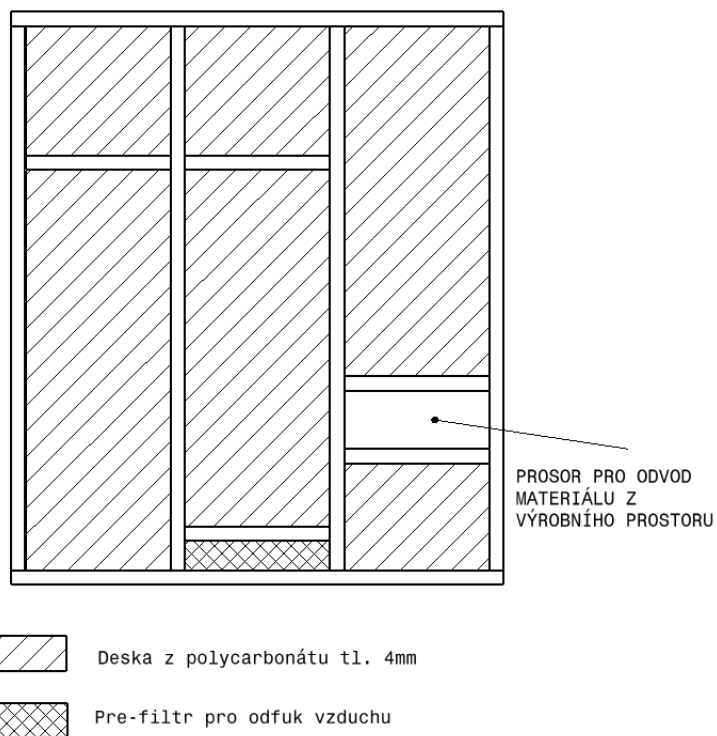
Blok 2 bude vyplněn deskami z polycarbonátu tloušťky 4 mm, které si necháme na řezat na přesný rozměr. Průduch pro odvětrání vzduchu z čistého prostoru bude tvořen pre-filtrem o rozměru 120x600 mm. Dveřní konstrukce bude tvořena ze stejného profilu jako obvodová konstrukce a bude rovněž vyplněna deskou z PC.



Obr. 35. BLOK 2 základní rozměry

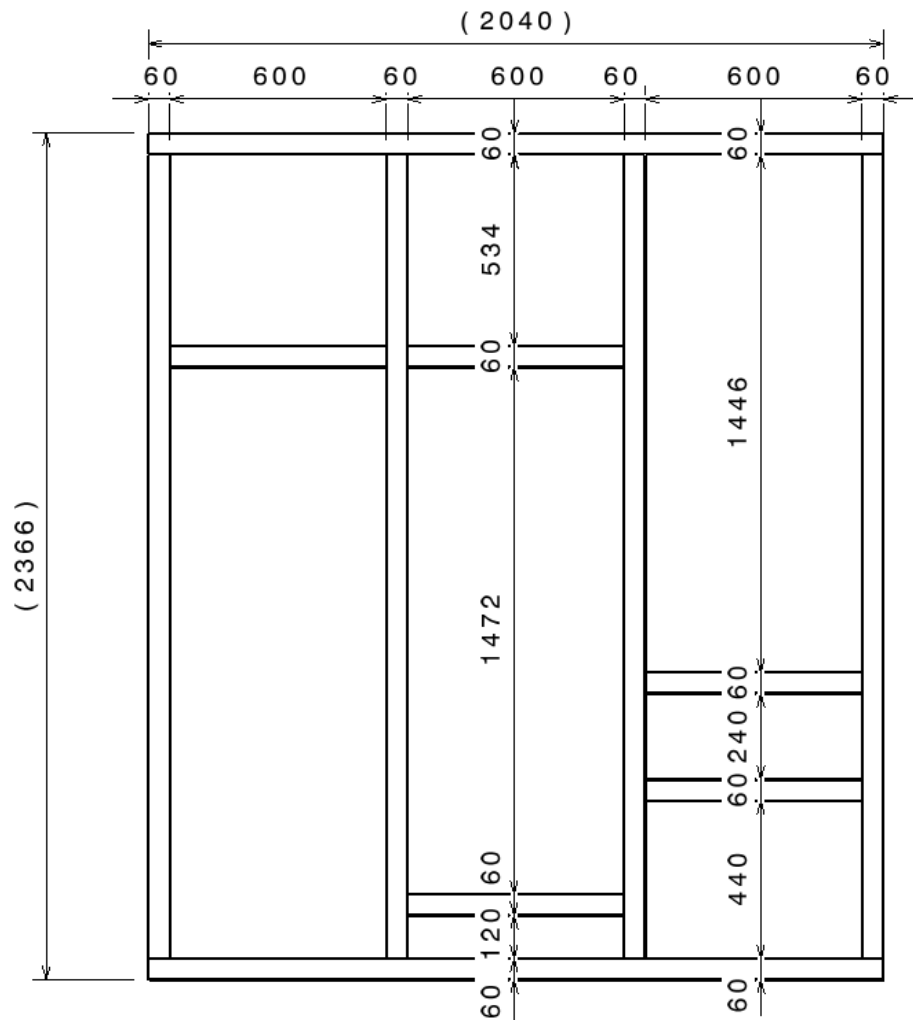
BLOK 3

Blok 3 bude obsahovat výstupní prostor výroby. Do tohoto místa bude umístěn dopravní pás, který bude transportovat hotový výrobek do oblasti kompletace nebo balení.



Obr. 36. BLOK 3 rozdělení materiálu a funkčnosti

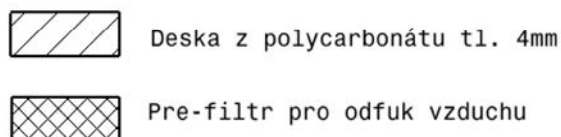
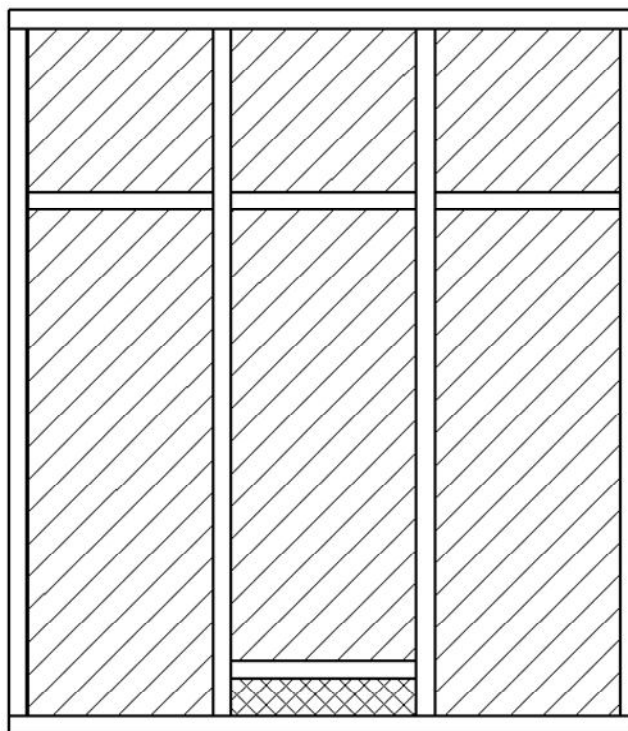
Blok 3 bude vyplněn deskami z polycarbonátu tloušťky 4 mm, které si necháme na řezat na přesný rozměr. Průduch pro odfuk vzduchu z čistého prostru bude tvořen pre-filtrem o rozměru 120x600mm.



Obr. 37. BLOK 3 základní rozměry

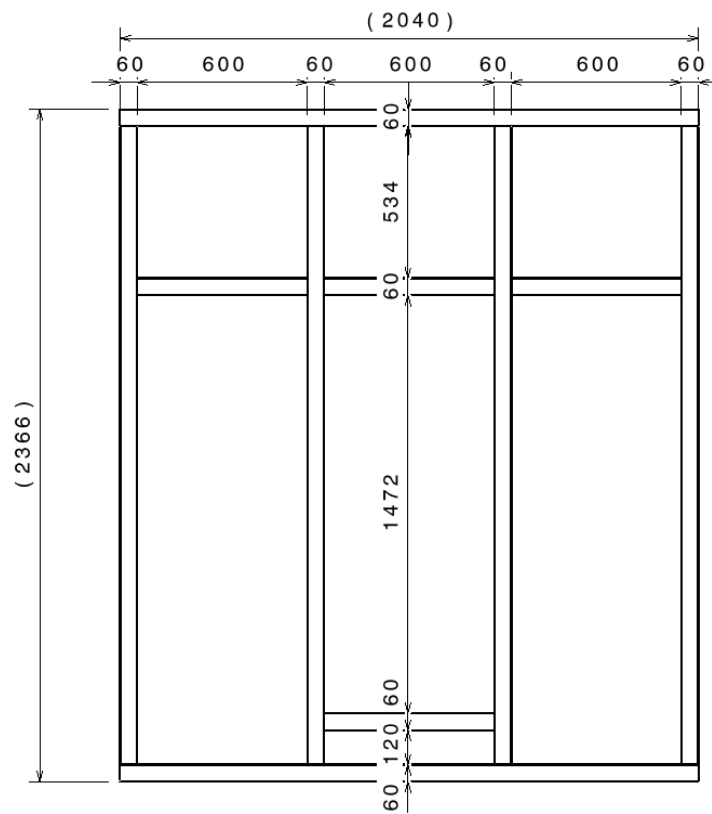
BLOK 4

Blok 4 bude možné v případě nutnosti vymontovat a získat průchod o rozměru 2360x2040mm



Obr. 38. BLOK 4 rozdělení materiálu a funkčnosti

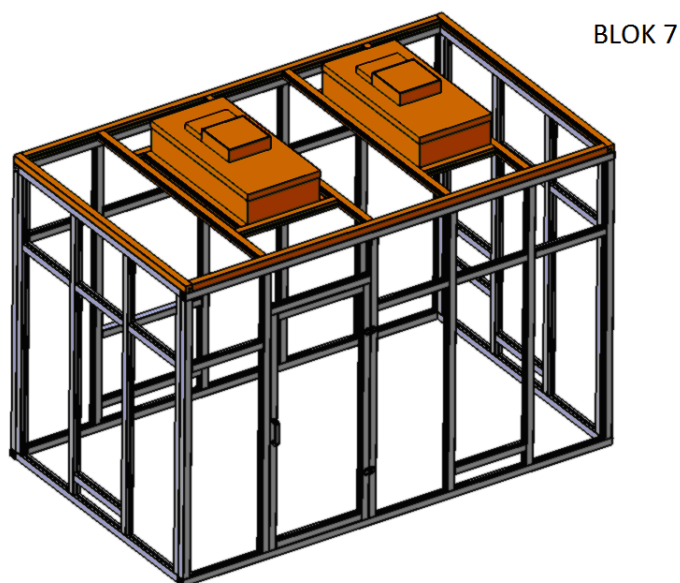
Blok 4 bude vyplněn deskami z polycarbonátu tloušťky 4 mm, které si necháme na řezat na přesný rozměr. Průduch pro odfuk vzduchu z čistého prostoru bude tvořen pre-filtrem o rozměru 600x120 mm.



Obr. 39. BLOK 4 základní rozměry

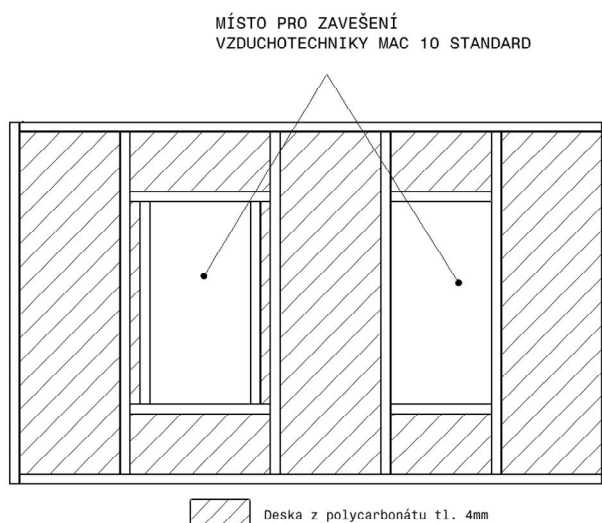
Stropní konstrukce

Stropní konstrukce je samostatný blok 7 a její rozměry byly navrženy dle vzduchotechniky.

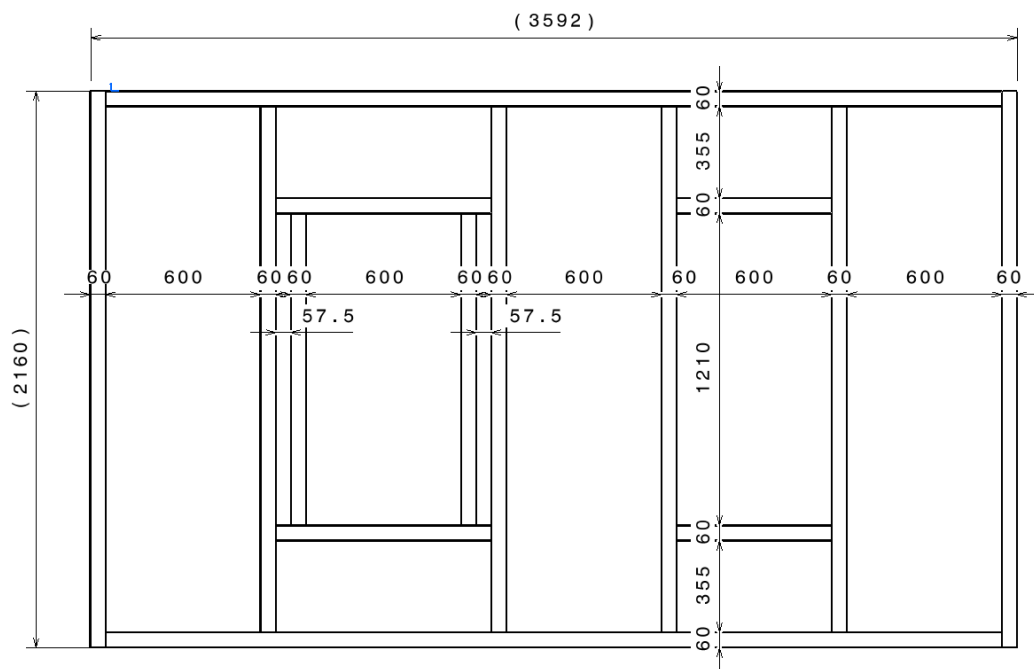


Obr. 40. Stropní konstrukce

Stropní konstrukce bude vyplněna deskami z polycarbonátu tloušťky 4mm, které si necháme nařezat na přesný rozměr. Do volného prostoru zavěsíme vzduchotechniku MAC 10 standard 4x4 specifikace jsou uvedeny v části vzduchotechnika.



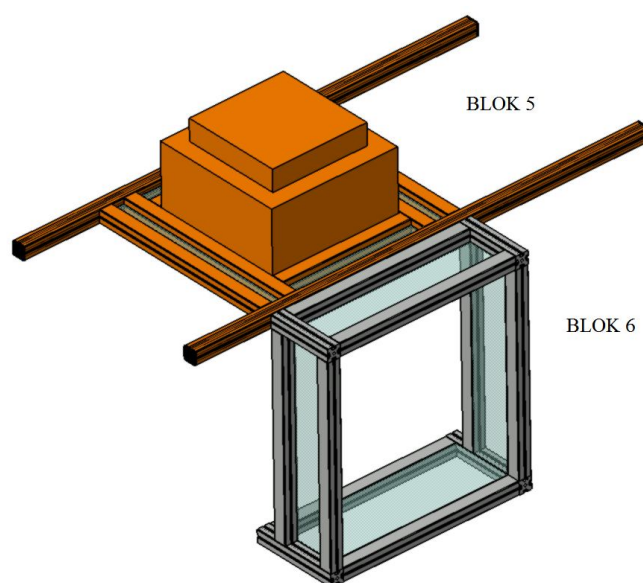
Obr. 41. BLOK 7 - stropní konstrukce rozdělení materiálu a funkčnosti



Obr. 42. BLOK 7-stropní konstrukce základní rozměry

6.3.2 Pomocná konstrukce uchycení ke stroji

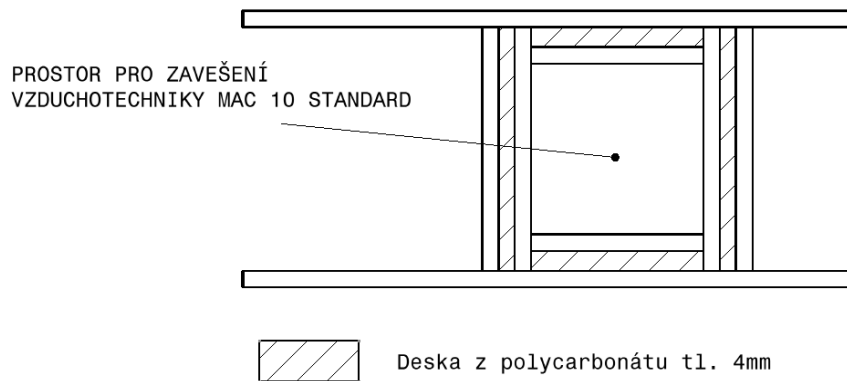
Tato konstrukce byla vytvořena za účelem uchycení vzduchotechniky nad prostor vstříkovací formy a dalším požadavkem bylo napojení na obvodovou konstrukci. Je složena ze dvou částí, tak, aby se dala umístit na stroj a následně dopasovat z důvodu potřebné hermetičnosti v této oblasti.



Obr. 43. Pomocná konstrukce uchycení formy

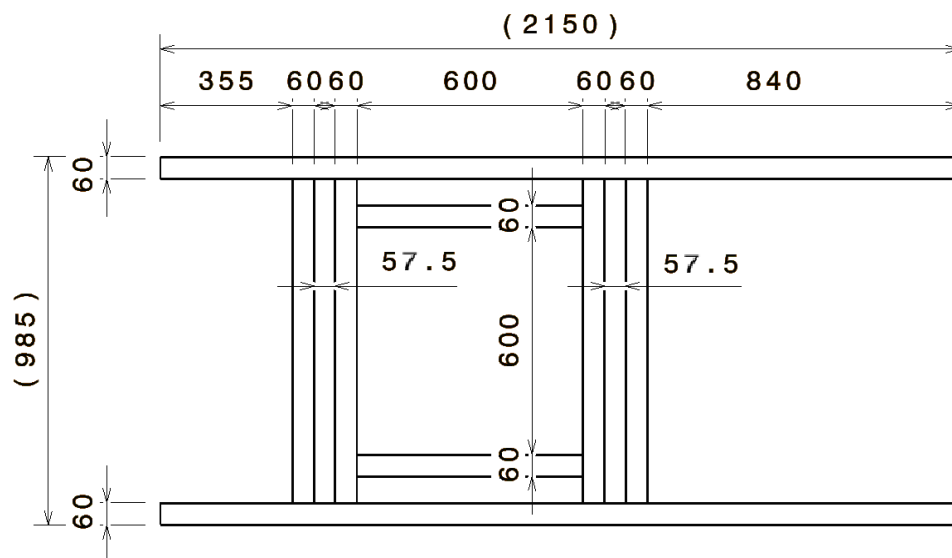
BLOK 5

Blok 5 bude uchycen na stroji pomocí šroubů a dopasovánímle montáže, aby byla zajištěna hermetičnost spojení se vstřikovacím strojem.



Obr. 44 BLOK 5 rozdělení materiálu a funkčnosti

Blok 5 bude vyplněn deskami z polycarbonátu tloušťky 4mm, které si necháme nařezat na přesný rozměr. Do volného prostoru zavěšíme vzduchotechniku MAC 10 standard 2x2 specifikace jsou uvedeny v části vzduchotechnika.

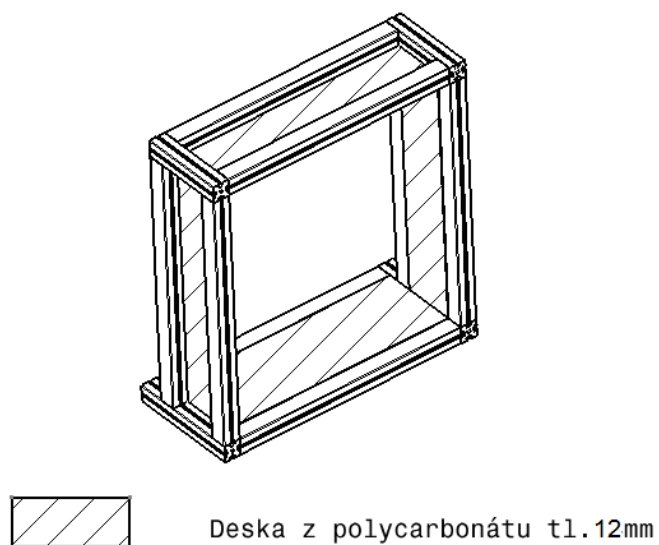


Obr. 45 BLOK 5 základní rozměry

BLOK 6

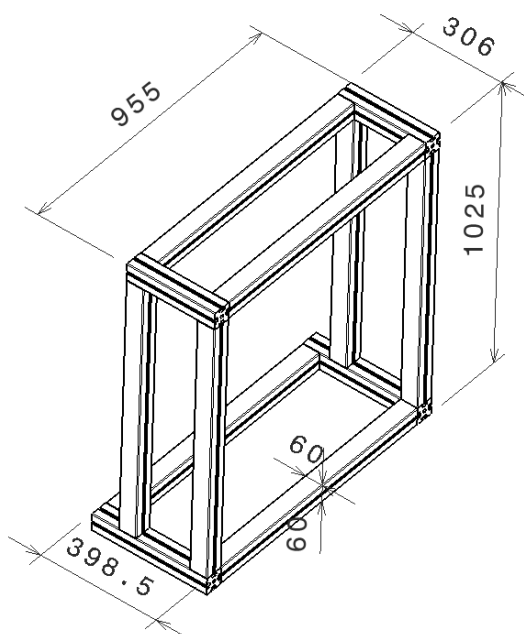
Blok 6 je spojovací oblastí mezi výrobním a manipulačním prostorem. Jelikož se zde bude pohybovat robot KUKA, je zvolen systém uchycení PC desek GD-Zn, aby byly desky

slícovány s profilem. Desky budou přišroubovány pouze z vnitřní strany. Postup bude vysvětlen v kapitole montáž,



Obr. 46 BLOK 6 rozdělení materiálu a funkčnosti

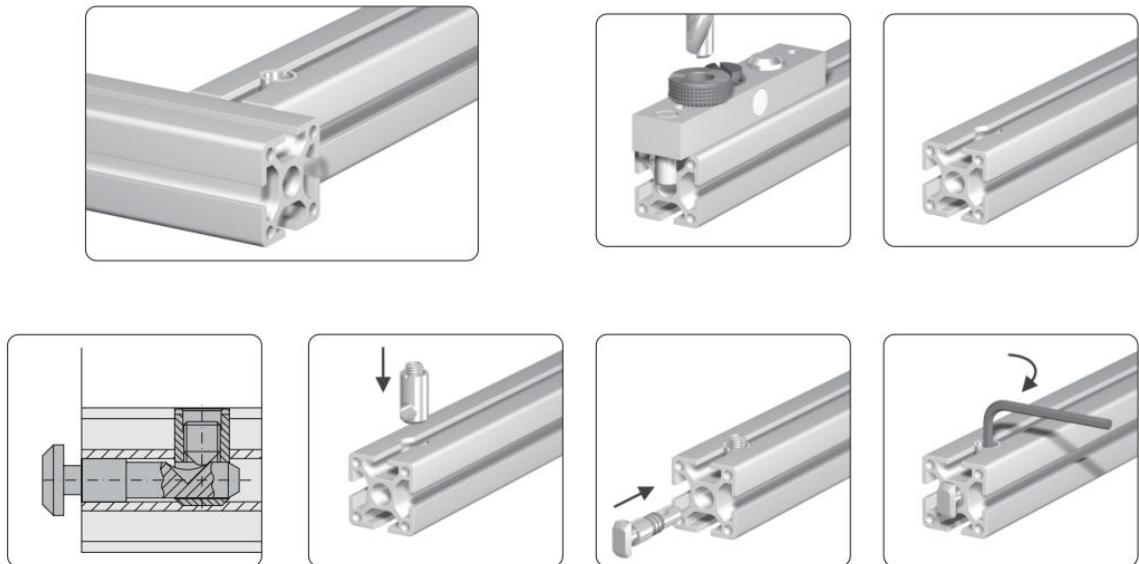
Blok 6 bude vyplněn deskami z polycarbonátu tloušťky 12 mm, které si necháme na řezat na přesný rozměr. Ze strany uchycení budou vyvrtány závitové díry (neprůchozí) o velikosti M6 a M8 s roztečí umístěné dle potřeby montáže.



Obr. 47 BLOK 6 základní rozměry

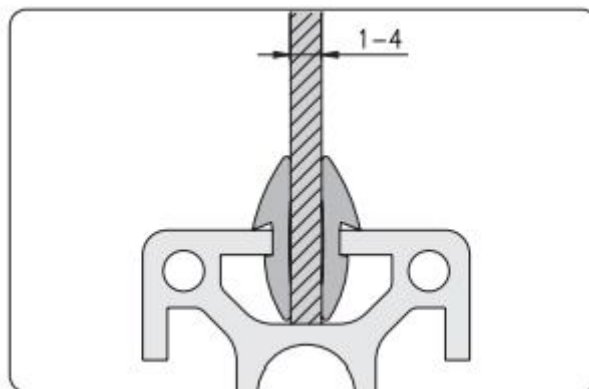
6.3.3 Montáž

Po nařezání profilů dle základních rozměrů bude pro seskládání bloků využito systému rychlého uchycení MayTec. Jednotlivé otvory, budou odměřeny pomocí dodaného vrtacího přípravku.



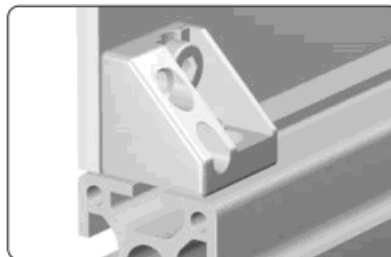
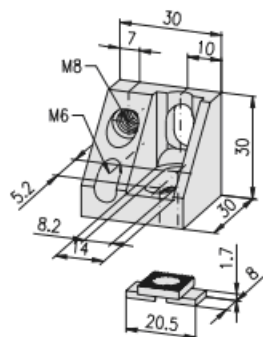
Obr. 48 Systém uchycení MayTec [23]

Pro uchycení výplňových desek do bloků 1, 2, 3, 4, 5 bude použito těsnění, které nám zaručí hermetičnost mi dvěma prostředími.



Obr. 49. Těsnění PC desek tloušťky 4 mm [23]

Pro uchycení PC desek bloku 6 tloušťky 12mm bude použit systém GD-Zn, kterým budeme schopni slícovat jednotlivé desky.



Application
For mounting of panels

Technical data
material: GD-Zn

Obr. 50. Systém uchycení GD-Zn [23]

ZÁVĚR

Obsah diplomové práce se odvíjel od požadavků v oficiálním zadání práce a také od stanovených cílů.

V praktické části byla navržena varianta modular hardwall cleanroom pro použití procesu vstřikování. Konstrukce byla navržena na vstřikovací stroj Arburg 420C, který byl schématicky namodelován. Musím poznamenat, že tento stroj není vhodný do výroby v čistém provozu, jelikož při provozu produkuje velké množství znečištění. Pro tuto konstrukci bych zvolil vstřikovací stroje například od firmy Negri BOSSI typ VESTA 220.

Vzduchotechniku jsem zvolil řešení od firmy Envirco typ Standard 10 ve dvou variantách. Do prostoru vstřikovací formy byl zvolen s ohledem na rozměry typ 2x2 a do prostoru manipulace typ 4x2. Výrobce zaručuje možnost dosažení třídy čistoty ISO 7, ale za předpokladu dodržení podmínek pro čisté prostory dle norem ISO 11464.

Jako manipulační zařízení byl zvolen 6-ti osý robot od firmy KUKA pro použití v čistém prostředí. Robot firmy nám zaručuje uchycení a bezpečné přemístění výrobku na dopravní pás. Dopravní pás byl zvolen od společnosti Dorner serie 7200, určený pro čisté prostory s šířkou manipulačního pásu 300mm a délkou 2000mm.

Konstrukční řešení čistého prostoru, bylo zhotoveno ze sedmi bloků, které je možné sestavit samostatně a až následně tento prostor kompletovat. Pro tento účel byl vybrán profilový systém 2E, light, plain od firmy MayTec. Pro vyplnění profilů byly zvoleny desky z polycarbonátu o tloušťkách 4 a 12 mm. Jednotlivé bloky byly navrženy tak, aby splňovaly všechny funkce čistého prostoru. Při dodržení všech parametrů při montáži bude navrhovaný pracovní prostor schopný výroby v třídě čistoty 8 dle normy ISO 11464-1.

Pro přesně zadanou výrobu lze provést snížení ceny navrhovaného čistého prostoru. Je zde možná změna profilu z 60x60 na 40x40 a zmenšení daného prostoru o dvě pole tedy 1200mm. Pro tento případ bude dostačující pouze jedna vzduchotechnika v oblasti manipulace.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] TICHÝ, David. *Návrh klimatizace čistého pracoviště pro elektrotechnický průmysl*. Brno 2008. Diplomová práce na Vysokém učení technickém v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Charvát, Ph.D.
- [2] NORMA FS 209 E,D
- [3] NORMA ISO 14644-1 Klasifikace čistoty vzduchu
- [4] NORMA ISO 14644-2 Specifikace zkoušení a sledování pro průběžné ověřování shody s ISO 14644-1
- [5] NORMA ISO 14644-3 Zkušební metody
- [6] NORMA ISO 14644-4 Návrh, konstrukce a uvádění do provozu
- [7] *Elfa-aaf.cz* [online] c2008 [cit. 2011-05-10] Proudění vzduchu v čistých prostorech. Dostupné z WWW:
<<http://www.elfa-aaf.cz/cisteprostory.asp>>.
- [8] NORMA EN 779 (ČSN EN 779) Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic u běžného větrání
- [9] Norma EN 1822 (ČSN EN 1822) Vysoce účinné filtry vzduchu (HEPA a ULPA)
- [10] 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.
- [11] *Pmeasuring.com* [online]. c2010 [cit. 2011-05-10]. Particle Counters and Molecular Monitoring Solutions. Dostupné z WWW:
<<http://www.pmeasuring.com/particleCounter/air>>.
- [12] LENFELD, Petr. *Technologie II – Vstřikování plastů*, TU Liberec – Fakulta strojní. Dostupný z WWW:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.html
- [13] BOBČÍK, Ladislav a kol. , *Formy pro zpracování plastů . Díl I a II*, Brno 1999
<http://www.plastemart.com/upload/literature/developments-electric-injection-moulding-equipment-medical-clean-rooms.asp>

- [14] *Negribossi.com* [online]. c2011 [cit. 2011-05-10]. Vesta
Dostupné z WWW:
<<http://www.negribossi.com/it-IT/Prodotti/Negri-Bossi/Vesta.aspx?idC=61545&LN=it-IT>>.
- [15] *Ferromatik.com* [online]. c2010 [cit. 2011-05-10]. Ferromatik Milacron to Unveil the All-new Modular F-Series at K 2010
Dostupné z WWW:
<http://www.ferromatik.com/en/information/presse/2010_08_11.php?navid=87>.
- [16] *Sumitomo-shi-demag.eu* [online]. c2011 [cit. 2011-05-10]. Clean room
Dostupné z WWW:
<http://www.sumitomo-shi-demag.eu/solutions/clean_room/>.
- [17] *Arburg.com* [online]. c2011 [cit. 2011-05-10]. Exhibits compact clean room
Dostupné z WWW:
<http://www.plastech.biz/news/article_4243_1/Arburg-exhibits-compact-clean-room-solutions>.
- [18] *Gleasonsales.com* [online]. c2011 [cit. 2011-05-10]. Atek plastics Adds portable clean rooms Dostupné z WWW:
<<http://www.gleasonsales.com/news/News.html>>.
- [19] *Arburg.com* [online]. c2011 [cit. 2011-05-10]. Use in alrounder in clean room production Dostupné z WWW:
<http://www.arburg.com/com/common/download/Web_528993_EN_GB.pdf>.
- [20] *Precision Medical Products* c2011 [cit. 2011-05-10] Precision Medical Products Provides 100,000 to 10,000 ISO Class 7 and 8 Cleanroom
Dostupné z WWW:
<<http://www.qmed.com/supplier/news/20092/precision-medical-products-provides-100000-10000-iso-class-7-and-8-cleanroom-cap>>.
- [21] *Envirco.com* [online]. c2010 [cit. 2011-05-10]. Clean air solutions built for you
Dostupné z WWW:
<<http://www.envirco.com/images/PDF/mac10brochure.pdf>>.

[22] *Kuka-robotics.com* [online]. c2011 [cit. 2011-05-10]. Clean room robots

Dostupné z WWW:

<http://www.kuka-robotics.com/en/products/industrial_robots/special/clean_room_robots/kr16_2_cr/start.html>.

[23] *Maytec.org* [online]. c2007 [cit. 2011-05-10]

Dostupné z WWW:

<http://www.maytec.org/_neue_daten/sites/download/kataloge/files/I1-2007-E.pdf>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

HEPA	vysoce účinný filtr vzduchových částic
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
GMP	pravidla pro výrobu
CN	maximální povolená koncentrace částic ve vzduchu
D	uvažovaná velikost částice [μm]
N	Klasifikační číslo ISO[-]
ULPA	nejvýše výkonný aerosolový filtr
NL	minimální počet míst odběru vzorku
A	prostor, kde je koncentrace kontrolována [m^3]
V	minimální objem vzorku [l]
PC	polycarbonát
POM	polymethylmethakrylát
PP	polypropylen
PA	polyamid
PE	polyethylen
PTFE	Polytetrafluorethylen
PS	polystyren
PVC	polyvinylchlorid
LED	dioda emitující světlo

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Výrobky vytvořené v čistém prostředí [19]</i>	12
<i>Obr. 2. Třídy čistoty v grafické formě [3]</i>	18
<i>Obr. 3. Jednosměrné proudění vzduchu vertikální a horizontální [7]</i>	22
<i>Obr. 4. Nejednosměrné proudění [7]</i>	23
<i>Obr. 5 Přenosny čítač částic Lasair II 110 od firmy PMI [11]</i>	34
<i>Obr. 6. Rozdělení materiálů [11]</i>	37
<i>Obr. 7. Postup při vstřikování [12]</i>	39
<i>Obr. 8. Řez vstřikovací jednotkou [11]</i>	42
<i>Obr. 9. Ovládací zařízení [12]</i>	43
<i>Obr. 10. Vstřikovací stroj od firmy Negri BOSS typ VESTA 220[14]</i>	46
<i>Obr. 11. Vstřikovací stroj od firmy Ferromatik Milacron typ F160 [15]</i>	46
<i>Obr. 12. Vstřikovací od firmy Sumitomo Demag [16]</i>	47
<i>Obr. 13. Vstřikovací stroj Arburg 370A upravený pro cleanroom [17]</i>	47
<i>Obr. 14. Vstřikovací stroj v normálním prostředí splňující třídu čistoty ISO 9 [18]</i>	48
<i>Obr. 15 Vstřikovací stroj s balícím zařízením [19]</i>	49
<i>Obr. 16. Řešení vstřikovacího stroje s balícím zařízením</i>	49
<i>Obr. 17 Vstřikovací stroj v normálním prostředí s transportem do čistého prostoru[19]</i>	50
<i>Obr. 18. Řešení procesu vstřikování od firmy Arburg [19]</i>	50
<i>Obr. 19 Standardní umístění vstřikovacího stroje v čisté místnosti[19]</i>	51
<i>Obr. 20. Zvýšení čistoty pro výrobu[19]</i>	52
<i>Obr. 21 Zvýšení třídy čistoty výroby z ISO 8 na ISO 7 [20]</i>	52
<i>Obr. 22. Návrh čistého prostoru-pohled 1</i>	55
<i>Obr. 23 Návrh čistého prostoru-pohled 2</i>	55
<i>Obr. 24. Rozměrový návrh</i>	56
<i>Obr. 25 ALLROUNDER 420C</i>	57
<i>Obr. 26 ALLROUNDER 420C základní rozměry</i>	57
<i>Obr. 27. Vzduchový filtr MAC 10 Standard [21]</i>	58
<i>Obr. 28 Manipulační robot typ R 16-2 CR [22]</i>	59
<i>Obr. 29. Funkční uspořádání</i>	60
<i>Obr. 30. Vybraný profil [23]</i>	61

<i>Obr. 31. Rozdělení obvodové konstrukce</i>	62
<i>Obr. 32. BLOK 1 rozdělení materiálu a funkčnosti</i>	63
<i>Obr. 33. BLOK 1 základní rozměry</i>	64
<i>Obr. 34. BLOK 2 rozdělení materiálu a funkčnosti</i>	65
<i>Obr. 35. BLOK 2 základní rozměry</i>	66
<i>Obr. 36. BLOK 3 rozdělení materiálu a funkčnosti</i>	66
<i>Obr. 37. BLOK 3 základní rozměry</i>	67
<i>Obr. 38. BLOK 4 rozdělení materiálu a funkčnosti</i>	68
<i>Obr. 39. BLOK 4 základní rozměry</i>	69
<i>Obr. 40. Stropní konstrukce.....</i>	70
<i>Obr. 41. BLOK 7 - stropní konstrukce rozdělení materiálu a funkčnosti.....</i>	70
<i>Obr. 42. BLOK 7-stropní konstrukce základní rozměry.....</i>	71
<i>Obr. 43. Pomocná konstrukce uchycení formy.....</i>	71
<i>Obr. 44 BLOK 5 rozdělení materiálu a funkčnosti</i>	72
<i>Obr. 45 BLOK 5 základní rozměry</i>	72
<i>Obr. 46 BLOK 6 rozdělení materiálu a funkčnosti</i>	73
<i>Obr. 47 BLOK 6 základní rozměry</i>	73
<i>Obr. 48 Systém uchycení MayTec [23]</i>	74
<i>Obr. 49. Těsnění PC desek tloušťky 4 mm [23]</i>	74
<i>Obr. 50. Systém uchycení GD-Zn [23].....</i>	75

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Třídy čistoty čistých prostorů podle FS 209 E, D [2]</i>	15
<i>Tab. 2. Třídy čistoty a odpovídající koncentrace částic [3].....</i>	18
<i>Tab. 3 Srovnávací tabulka mezinárodních norem [2]</i>	18
<i>Tab. 5. Intenzita výměn vzduchu přepsaná pro ISO z americké normy [2] [3]</i>	23
<i>Tab. 6. Klasifikace vzduchových filtrů [8]</i>	31
<i>Tab. 7. Klasifikace vzduchových filtrů [9]</i>	32
<i>Tab. 8. Kombinování vzduchových filtrů [1]</i>	32
<i>Tab. 9. Rozdělení tříd čistoty dle použití</i>	45
<i>Tab. 10. Vlastnosti vzduchového filtru MAC 10 Standard [21]</i>	58