



Odsávání spalin u laserového stroje

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Jakub Taich**
Vedoucí práce: Ing. Martin Lachman, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub Taich**
Osobní číslo: **S13000203**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Odsávání spalin u laserového stroje**
Zadávající katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Hlavním cílem této práce je navrhnout řešení odsávání a související nutné úpravy u laserového řezače, vyvíjeného v laboratoři prototypových technologií a procesů, tak aby bylo možné odsávat zplodiny vzniklé během procesu řezání.

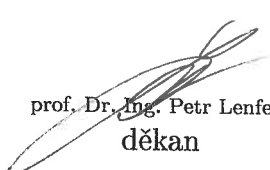
Doporučené metody pro vypracování:

1. Seznámení se s konstrukcí laserového stroje v laboratořích KSA.
2. Rešerše způsobů odsávání spalin u komerčně produkováných laserových strojů.
3. Návrh způsobů odsávání spalin a konstrukční úpravy stroje (3D návrhy nového uspořádání stroje).
4. Vyhodnocení návrhů možností odsávání, výhody a nevýhody jednotlivých řešení.
5. Výběr vhodné varianty pro řešení odsávání u laserového řezače.

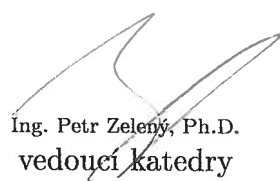
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40 stran textu včetně příloh**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- [1] SHIGLEY, J.E., Ch.R. MISCHKE a R.G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Brno: VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
[2] MAREK, J. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM Publishing, 2010. ISBN 978-80-254-7980-3.
[3] KRESL, T. *Ochranné krytování používané při stavbě obráběcích strojů*. Liberec, 2013. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů.
[4] PROCHÁZKA, P. *Zakrytování, odsávání třísek a upínání obrobků u prototypu CNC stroje*. Liberec, 2010. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Lachman, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů a automatizace
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Petr Zelený, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů a automatizace
Datum zadání bakalářské práce: **15. listopadu 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. února 2017**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 19.6.2016

Podpis:



Poděkování

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu Ing. Martinu Lachmanovi, Ph.D., za vedení práce, cenné návrhy a připomínky a trpělivost při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat mému konzultantovi Ing. Petru Zelenému, Ph.D., který společně s vedoucím mé práce zařídil a uskutečnil návštěvy společností Vanad 2000 a.s. a VÚTS a.s. zabývajících se výrobou laserových strojů, což bylo pro směřování mé práce klíčové. Tímto bych chtěl vyjádřit vděčnost těmto firmám za možnost návštěvy a prohlídky jejich strojů, a takéž jejím zástupcům, kteří se nám při návštěvách ochotně věnovali.

Poděkovat bych chtěl své rodině za silnou podporu po celou dobu studia a především svému otci, jakožto strojaři, za cenné připomínky k vypracovávaným školním pracím.

TÉMA: ODSÁVÁNÍ SPALIN U LASEROVÉHO STROJE

ANOTACE: Bakalářská práce se zabývá problematikou odsávání a filtrace technologií termického dělení a návrhy odsávání konkrétního laserového stroje. Tento stroj byl postaven na Katedře výrobních systémů a automatizace. Úvodní část se věnuje rozboru důvodů pro odtah a filtraci škodlivin. V teoretické části práce představuje konstrukčně nejčastější způsoby odsávání a nejčastěji používané druhy odsávacích zařízení. Jsou zde uvedeny početní metody pro kapacitní návrh odsávacího zařízení a požadované vlastnosti sacích nástavců. V praktické části je na základě výpočtů volena odsávací jednotka a jsou vyhotoveny tři konstrukční návrhy pro odsávání stroje.

KLÍČOVÁ SLOVA: laserový řezací stroj, filtrační zařízení, odsávání, dým, filtrace, konstrukce strojů, vzduchotechnika

THEME: FLUE GASES EXTRACTION FROM THE LASER MACHINE

ANNOTATION: The bachelor's thesis deals with problems of laser fume extraction and filtration and proposals for extraction specific laser cutting machine. The machine was built on Department of Manufacturing Systems and Automation. The introductory part dedicates an analysis of reasons for extraction and filtration pollutants. The work introduces constructionally most common extraction ways and the most common used types of filtration devices. Numerical methods for capacitive proposal of extraction device and desired properties of extract extensions are named in the thesis. Filtration device is elected on the basis of calculation and three constructionally proposals are made in the practical part of the work.

KEYWORDS: laser cutting machine, filtration device, extraction, fume, filtration, design of machines, air conditioning

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů a automatizace

Počet stran: 62

Počet příloh: 3

Počet ilustrací: 39

Počet tabulek: 2

Počet modelů

nebo jiných příloh: 0

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK.....	8
Seznam obrázků.....	8
Seznam grafů.....	9
Seznam tabulek.....	9
SEZNAM POUŽITÝCH TERMÍNŮ A SYMBOLŮ.....	10
ÚVOD.....	12
1 POPIS STROJE V LABORATOŘI KSA.....	13
1.1 Konstrukce laserového stroje.....	13
1.2 Připojená zařízení.....	14
1.3 Plánované úpravy laserového stroje.....	15
1.4 Umístění laserového stroje.....	15
2 DŮVODY PRO ODSÁVÁNÍ.....	16
2.1 Obecné důvody pro odsávání.....	16
2.2 Důvody pro odsávání u technologií termického dělení.....	16
3 ZPŮSOBY ODSÁVÁNÍ V PRŮMYSLU.....	18
3.1 Způsoby udržování čistého pracovního prostředí.....	18
3.1.1 Větrací a klimatizační zařízení.....	18
3.1.2 Odsávací zařízení.....	19
3.2 Metody odsávání škodlivin od strojů.....	20
3.2.1 Centrální odsávání.....	20
3.2.2 Semi-centrální odsávání.....	21
3.2.3 Lokální odsávání.....	21
3.2.4 Dělené odsávání.....	21
3.2.5 Rozdělení dle velikosti podtlaku.....	22
3.2.6 Odvod přefiltrované vzdušniný.....	22
3.3 Způsoby odsávání podle konstrukce stroje.....	23
3.3.1 Odsávání uzavřených strojů.....	23
3.3.2 Odsávání otevřených strojů.....	24
3.4 Sací nástavce.....	25
3.4.1 Požadavky na sací nástavce.....	25
3.4.2 Druhy sacích nástavců.....	25
3.4.3 Dimenzování sacích nástavců.....	27

3.5 Vzduchovody.....	28
3.6 Odsávání u strojů pro termické dělení materiálu.....	29
4 ZPŮSOBY FILTRACE ŠKODLIVIN.....	31
4.1 Druhy průmyslových filtračních systémů.....	31
4.1.1 Systémy s pasivními filtračními elementy.....	31
4.1.2 Elektrostatické odlučovače.....	32
4.1.3 Odstředivé dynamické separátory.....	32
4.1.4 Systémy s aktivními filtračními elementy.....	33
4.2 Filtrace škodlivin u technologií termického dělení.....	35
4.2.1 Prachové filtry a filtry aerosolové.....	35
4.2.2 Sorpční filtry.....	36
4.3 Filtrační jednotky pro operace termického dělení.....	36
4.3.1 BOFA AD Oracle.....	36
4.3.2 ULT AG LAS 400-2.....	37
4.3.3 Tigemma TIG FSD 1250.....	37
4.3.4 Nederman Filtermax F 60.....	38
4.3.5 Kemper System 9000.....	39
5 KAPACITNÍ PROPOČTY PRO LASEROVÝ STROJ.....	40
5.1 Určení množství odsávané vzdušiny.....	40
5.1.1 Metoda objemu odsávaného prostoru.....	40
5.1.2 Metoda plochy otevíraných dveří.....	40
5.1.3 Zhodnocení výsledků výpočtů.....	41
5.2 Určení množství přiváděného vzduchu.....	41
6 VOLBA FILTRAČNÍHO ZAŘÍZENÍ.....	43
6.1 Určení parametrů jednotky AD Oracle.....	43
6.2 Připojitelná zařízení.....	44
7 KONSTRUKČNÍ NÁVRHY ODSÁVÁNÍ.....	46
7.1 Odsávání zpod roštu.....	46
7.2 Odsávání z boku stroje.....	49
7.3 Odsávání od řezací hlavy.....	52
8 ZÁVĚR.....	55
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	57
SEZNAM PŘÍLOH.....	59

Seznam obrázků, grafů a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Laserový stroj umístěný v laboratoři KSA.....	15
Obr. 1.2: Odsávací jednotka BOFA AD Oracle [5].....	16
Obr. 2.1: Porovnání velikosti škodlivých částic [13].....	18
Obr. 3.1: Větrací jednotka [2].....	19
Obr. 3.2: Odsávací jednotky [13].....	20
Obr. 3.3: Princip centrálního odsávání [2].....	21
Obr. 3.4: Princip semi-centrálního odsávání [2].....	22
Obr. 3.5: Princip lokálního odsávání [2].....	22
Obr. 3.6: Princip děleného odsávání [2].....	23
Obr. 3.7: Vysokopodtlaková úklidová jednotka Nederman [17].....	23
Obr. 3.8: Odsávání krytovaného stoje [13].....	24
Obr. 3.9: Zařízení vytvářející vzduchovou zábranu [13].....	25
Obr. 3.10: Odsávací digestoř [12].....	27
Obr. 3.11: Pracovní stůl se štěrbinovou odsávací stěnou [12].....	27
Obr. 3.12: Samonosná flexibilní odsávací ramena [13].....	28
Obr. 3.13: „Proudění do odsávacího otvoru“ [2].....	28
Obr. 3.14: Laserový stroj s odsáváním zpod roštu (Vanad 2000).....	30
Obr. 3.15: Laserový stroj s vrchním (digestořovým) odtahem (Vanad 2000).....	31
Obr. 3.16: Odsávání od řezací hlavy (Mercury) [20].....	31
Obr. 4.1: Princip funkce odsávací jednotky s pasivními filtry [22].....	32
Obr. 4.2: Elektrostatický odlučovač Bristol [13].....	33
Obr. 4.3: Odstředivý separátor Filtermist [13].....	34
Obr. 4.4: Odsávací jednotka s aktivními filtry (ULT AG) [13].....	35
Obr. 4.5: „Příklady provedení filtrů“ [2].....	36
Obr. 4.6: Odsávací jednotka ULT AG LAS 400-2 [13].....	38
Obr. 4.7: Odsávací jednotka Tigemma TIG FSD 1250 [27].....	39
Obr. 4.8: Odsávací jednotka Nederman Filtermax F 60 [17].....	39

Obr. 4.9: Odsávací jednotka Kemper System 9000 [12].....	40
Obr. 6.1: Princip funkce odstředivého separátoru BOFA C5 Cyclone [22].....	46
Obr. 6.2: Zařízení ke zhášení jisker BOFA ILF Spark Arestor [22].....	46
Obr. 7.1: Sestava odsávací vany.....	48
Obr. 7.2: Návrh odsávání stroje zpod roštu.....	49
Obr. 7.3: Detail sacího ústrojí a pneumatických kyvných pohonů.....	51
Obr. 7.4: Návrh odsávání stroje skrze boční panely.....	52
Obr. 7.5: Detail sacího nástavce obklopujícího řezací hlavu.....	54
Obr. 7.6: Návrh odsávání stroje přímo od řezací hlavy.....	55
Obr. 8: Pneumatický obvod návrhu odsávání zpod roštu stroje.....	62
Obr. 9: Pneumatický obvod návrhu odsávání z boku stroje.....	62

Seznam grafů

Graf 1: Porovnání účinnosti filtrů v závislosti na době provozu [13].....	35
---	----

Seznam tabulek

Tab. 1: Dopravní rychlosti ve vzduchovodu [2].....	29
Tab. 2: Klasifikace filtrů [23].....	61

Seznam použitých termínů a symbolů

aerosol	„disperzní soustava jemných částic o velikosti 0,01 až 1 μm v plynu“ [1]	
adsorpce	difúzí dochází k zachycování plynných látek na povrchu pevných látek [2]	
aktivní uhlí	„chemicky čisté uhlí, obvykle ve formě granulí, se silně porézní strukturou a velkým vnitřním povrchem (uvnitř pórů)“ [3]	
dým	„jemné částice o velikosti 0,1 až 1 μm vzniklé při oxidačních procesech kondenzací látek vypařovaných za tepla (např. dýmy při svařování, tavení kovů) nebo vzniklé z plynné fáze chemickými reakcemi“	
kouř	„jemné částice 0,01 až 1,0 μm vzniklé nedokonalým spalováním a obsahující převážně uhlík“	
popílek	„úlet z topenišť spalovacích zařízení (velikost částic 1 až 100 μm)“	
prach	„částice vzniklé převážně mechanickým způsobem (drcením, mletím, otěrem)“ [1]	
CAD	computer-aided design, počítačem podporované projektování [4]	
EPA	efficient particulate air filter, účinný filtr pro odlučování částic ze vzduchu	
GANTRY	v portálové konstrukci závisle pracující pohony	
HEPA	high efficiency particulate air filter, „vysoceúčinný filtr pro odlučování částic ze vzduchu“ [3]	
KSA	Katedra výrobních strojů a automatizace	
NPK-P	nejvyšší přípustná koncentrace [2]	
PEL	přípustný expoziční limit [2]	
ULPA	ultra low penetration air filter, „vysoceúčinný filtr vzduchu (s velmi nízkou infiltrací)“ [3]	
c	[m/s]	rychlost proudu vzduchu
d	[mm]	průměr vstupního otvoru odsávací jednotky
d_t	[mm]	průměr trysky

M	[kg/s]	hmotnostní tok vznikající škodliviny
M_0	[kg/s]	hmotnostní tok škodliviny odsávané nástavcem
$\dot{m}$	[kg/hod]	hmotnostní průtok vzdušnin
p, p_0	[Pa]	tlak vzduchu
p_{krit}	[Pa]	kritický tlak vzduchu
p_p	[Pa]	podtlak vzduchu na vstupu do odsávací jednotky
r	[J/(kg*K)]	měrná plynová konstanta
T	[K]	teplota vzduchu
T_{krit}	[K]	kritická teplota vzduchu
V	[m ³]	objem pracovního prostoru stroje
$\dot{V}$	[m ³ /hod]	objemový průtok vzdušnin
β	[-]	poměr tlaků
β_{krit}	[-]	kritický poměr tlaků
κ	[-]	Poissonova konstanta
ρ	[kg/m ³]	hustota vzduchu
ρ_{krit}	[kg/m ³]	kritická hustota vzduchu

Úvod

S rozvojem průmyslové výroby a nasazováním nových výrobních technologií přišel požadavek na zajištění bezpečného a čistého pracovního prostředí a ochranu životního prostředí před nebezpečnými látkami. Ty jsou používány v rozličných odvětvích průmyslové výroby nebo jsou hlavním či vedlejším produktem při výrobních procesech. Proto je manipulace s těmito látkami a ochrana před jejich účinky vždy řízena legislativními předpisy nebo normami. Tyto předpisy se tedy vztahují i na ochranu pracovníka a životního prostředí před účinky vedlejších produktů při operacích termického dělení.

V laboratoři Katedry výrobních systémů a automatizace na Technické univerzitě v Liberci stojí laserový řezací stroj, který byl navržen v diplomové práci Ing. Jana Tauchmana [4]. Provozoschopný stroj však není vybaven adekvátním systémem odtahu škodlivin z prostoru stroje. Vznikající škodliviny unikající do prostředí laboratoře jednak zahlcují prostor dýmem, a za druhé ohrožují zdraví obsluhy. Cílem této práce je tedy navrhnout systém odtahu a filtrace těchto škodlivin, který bude dostatečně účinný a bude vyhovovat daným směrnícím.

V práci jsou popsány v průmyslu běžně používané způsoby odsávání a filtrace. Na základě těchto faktů je vybírána samočinná odsávací jednotka a jsou provedeny tři konstrukční návrhy odsávání. Konstrukční celek odtahového systému by měl být navrhován nejlépe na základě konstrukce již postaveného stroje. V této práci vyobrazené návrhy odtahu škodlivin však slepě nerespektují konstrukci stroje, ale některé z nich ji i významně předělávají tak, aby byla zajištěna dobrá účinnost odtahu škodlivin.

Výstupem práce je výběr vhodné odsávací jednotky a vítězného konstrukčního návrhu. Tento návrh musí dosahovat co nejlepších výsledků odtahu, ale zároveň by měl být na půdě fakulty snadno realizovatelný. Návrh jednotlivých způsobů odsávání i jejich hodnocení probíhá teoretickou cestou.

1 Popis stroje v laboratoři KSA

V laboratoři KSA se mimo laserového stroje také nachází:

- řídicí systém Siemens Sinumerik 840D
- zdroj vláknového laseru GSI JK400FL
- chladicí jednotka MTA TAEevo M03
- odsávací jednotka BOFA AD Oracle
- pracoviště s PC

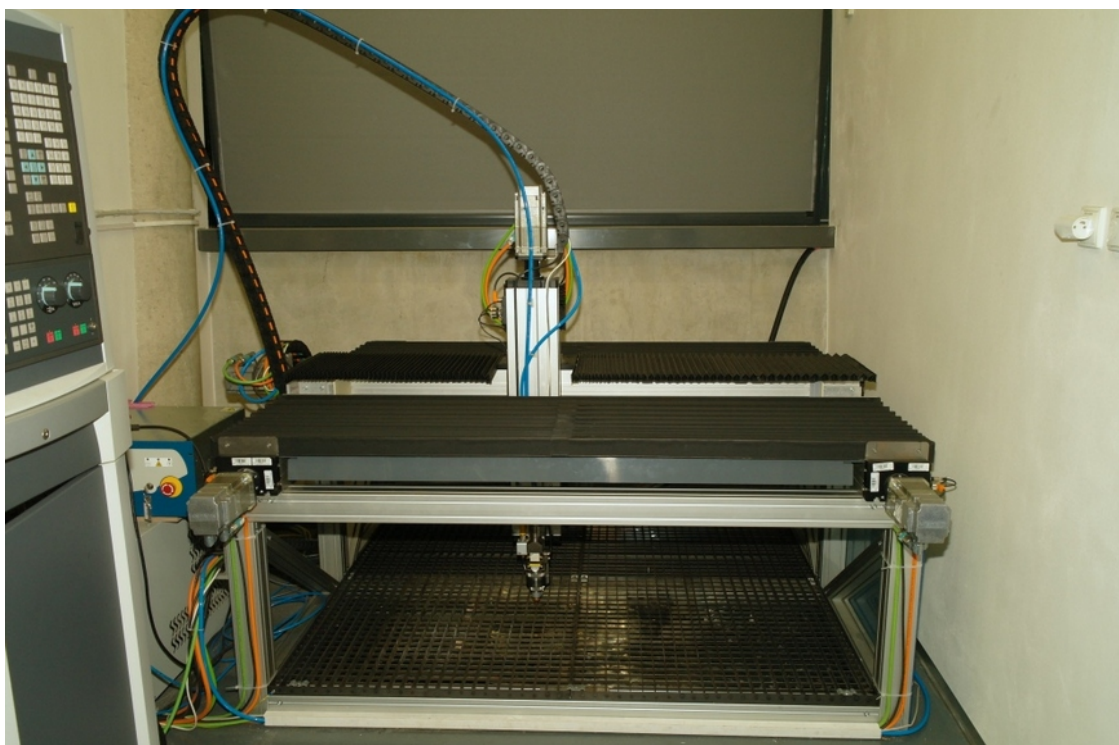
1.1 Konstrukce laserového stroje

Stroj je sestaven z hliníkových profilů o průřezu 80×80 mm v případě sloupků a vodorovných profilů a 40×80 mm v případě šikmých příček. Profily pochází z produkce firmy MayTec. Čtvercové profily jsou použity v pěti délkových konfiguracích. Čtyři rohové sloupky jsou v horní části a při zemi vzájemně pospojovány vodorovnými profily. Vodorovná délka přední strany stroje činí 1820 mm, boční strana je dlouhá 1520 mm. Výška rámu činí 670 mm. Stroj je v bocích a v zadní straně vyztužen středovými sloupky a šikmými příčkami. Přední strana je volná kvůli manipulaci s řezaným materiálem. Boční strany stroje jsou ve svých střezech propojeny jedním na zemi ležícím profilem.

Pohyb řezací hlavy stroje je zajištěn pomocí lineárních os BSU 160 dodaných firmou HIWIN. Na stroji jsou použity čtyři ve třech konfiguracích. Jelikož se jedná o portálovou konstrukci, jsou pro posun v ose Y použity dvě navzájem rovnoběžné lineární jednotky pracující v režimu GANTRY. Ty mají maximální rozsah pohybu 800 mm a jsou položeny a upevněny na rámové konstrukci stroje. Na jezdce těchto jednotek je dále příčně upevněna lineární jednotka pro osu X s maximálním rozsahem polohování 1100 mm. Lineární jednotka pro osu Z je přimontována na jezdec lineární jednotky osy X. Všechny lineární jednotky sestávají ze servomotorů a v rámu uložených kuličkových šroubů. Na lineární jednotku osy Z je přichycena laserová řezací hlava. Servomotory lineárních pohonů osy Y jsou orientovány k přední straně stroje, servomotor pohonu osy X ke straně levé.

Prostor stroje je v horní části krytován měchy firmy Hennlich, kterými je zamezen přístup prachu ke kuličkovým šroubům lineárních jednotek a omezen únik prachu vy-

cházejícího vrchní stranou stroje. Pohybem lineárních jednotek v osách X, Y, a Z dochází k rozvíjení nebo naopak ke sbalování krycích měchů. Ze dvou částí složený řezací rošt je usazen na spodních profilech rámu stroje.



Obr. 1.1: Laserový stroj umístěný v laboratoři KSA

1.2 Připojená zařízení

Laserový paprsek je generován zdrojem JK400FL o jmenovitém výkonu 400 W společnosti GSI Group. Jedná se o vláknový laser, který se hodí k řezání, svařování a přesnému vrtání. [4] Zdroj laseru je chlazen vodou, o jejíž rozvod a chlazení se stará zařízení TAEevo M03 společnosti MTA. K řízení pohybu stroje je použit řídicí systém Siemens Sinumerik 840D. Řezací hlava pochází od firmy GSI Group.

Optickým vláknem je laserový paprsek veden od zdroje k řezací hlavě. Jelikož se laserový paprsek ve vlákně přímo generuje, je nutné mít za zdrojem laseru 100 mm volného prostoru, aby se vlákno nijak nekroutilo. Minimální poloměr ohybu v celé délce optického vlákna je 75 mm. [4] Vláknem je k lineární jednotce osy Z vedeno po straně energetického řetězu. Tím je zajištěna volnost pohybu lineárních jednotek, bez rizika poškození laserového zařízení nebo laserového stroje.

V laboratoři je již instalováno odsávací a filtrační zařízení AD Oracle britského výrobce BOFA. Toto zařízení je používáno při řezání a gravírování, ale není u něj vyřešen způsob připevnění ke stroji a jeho účinné odsávání.



Obr. 1.2: Odsávací jednotka BOFA AD Oracle [5]

1.3 Plánované úpravy laserového stroje

Stroj je plánováno zakrytovat a chránit tak jeho okolí před jiskrami a dýmem. K tomuto účelu jsou v laboratoři připraveny čtyři polykarbonátové desky, které zároveň umožní obsluhu stroje vizuální kontrolu procesu řezání skrze průhledný materiál desek. Časem k řezací hlavě přibude kamera, pomocí které bude možné lépe sledovat proces řezání.

1.4 Umístění laserového stroje

Laserový řezací stroj se všemi komponenty popsanými výše se nachází v nově postavené budově L Technické univerzity v Liberci a je situován v místnosti o rozměrech cca 2,5×4,5×3,5 m (š×h×v). Stroj je v místnosti umístěn tak, že z pravé strany a zezadu je od stěn místnosti vzdálen přibližně 200 mm. V meziprostoru mezi jeho levou stranou a zdí se nachází zdroj chladicí kapaliny a na něm položený laserový zdroj. Řídicí systém Sinumerik a odsávací zařízení stojí v řadě za sebou před chladicím zařízením.

2 Důvody pro odsávání

2.1 Obecné důvody pro odsávání

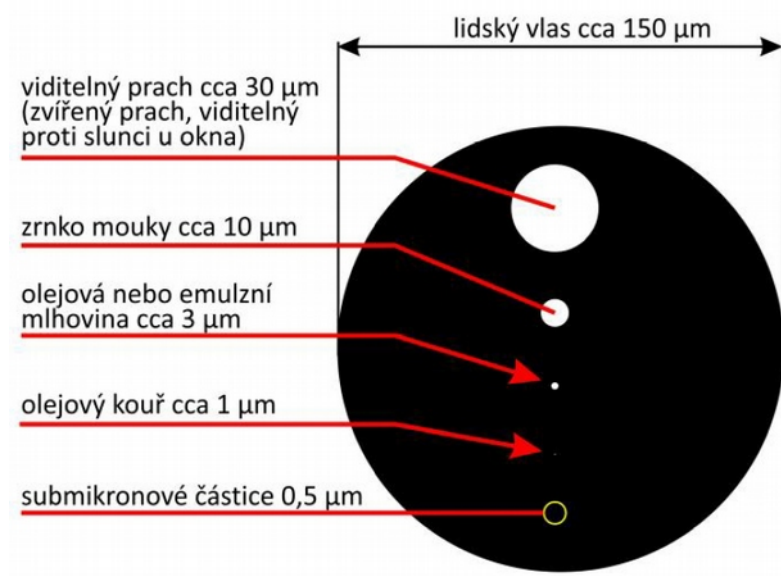
Technologické procesy, ať už výrobní nebo opravárenské, jsou zdrojem škodlivin, které unikají z místa vzniku do ovzduší. Ty se vzduchovými proudy šíří po pracovišti a ovlivňují kvalitu ovzduší vdechovaného pracovníky i poruchovost strojních zařízení. Mezi škodliviny patří dým, kouř, popílek, aerosol, prach, kapalné částice, a různé plyny a páry. Do ovzduší se rovněž mohou uvolňovat tuhé nebo kapalné částice, které mohou tvořit směsi nebezpečné výbuchem. Prachem se v technické praxi označují všechny tuhé částice rozptýlené v ovzduší. [1] Těžší částice prachu se usazují na stroje a podlahy, ty lehčí vlivem neustálého působení vzdušných proudů naopak setrvávají ve vzduchu stále, dokud se někde neusadí (např. stěny, stropy), nebo nejsou vdechnuty nebo odsáty. [6]

Škodliviny v ovzduší výrazně ohrožují zdraví pracovníků. Dále mají přímý vliv na zanášení strojů a strojních mechanismů, a jejich poruchovost (např. zadřená vřetena, nefunkční kluzné plochy, poškození optiky laseru). Škodliviny spolu se vznikajícími jiskrami také zvyšují riziko požáru. [7] Proto je nutné vznikající škodliviny účinně odsávat a odlučovat. Jednak aby bylo chráněno životní prostředí, a zároveň byly splněny zákonné hygienické a bezpečnostní předpisy, které stanovují maximální přípustné hodnoty koncentrace škodlivin v ovzduší. [8] Limitní koncentrace škodlivin v mg/m^3 pro více jak 500 látek jsou zahrnuty v nařízení vlády č. 93/2012 Sb., příloha 2 a jsou udávány veličinami PEL a NPK-P. [9]

2.2 Důvody pro odsávání u technologií termického dělení

Operace svařování a termické dělení materiálu (laser, plazma, plamen) se vlivem tavení materiálu vyznačují zvýšeným rizikem ohrožení zdraví. Tavením dochází k odpařování části materiálu, což se projevuje dýmem, ke kterému se ještě přidávají nečistoty z vrstev materiálu, jako jsou oleje, plyny, barvy apod. Mimo vdechování dýmů, spalin a aerosolů dále mezi hlavní zdravotní rizika těchto operací patří ultrafialové a infračervené záření, popáleniny a hluchost. [10]

Při termickém dělení materiálu vzniká velké množství nejjemnějších prachových částic a plynů, které je závislé na druhu opracovávaného materiálu a jeho technologických úpravách. [11] Tyto částice o velikostech menších než $0,4\ \mu\text{m}$ tvoří přibližně 98,9 % všech vznikajících prachových částic. [12] Prach rozptýlený v atmosférickém vzduchu přitom dosahuje rozměrů $0,1$ až $1\ \mu\text{m}$. Zatímco částice o velikosti nad $10\ \mu\text{m}$ a podstatná část částic v rozmezí 2 až $5\ \mu\text{m}$ jsou zachytávány na nosní sliznici, část částic o velikostech menších než $1\ \mu\text{m}$ dosahuje plicních sklípků. Zbytek částic je vydechován. Částice o velikosti $0,4\ \mu\text{m}$ a menší se v plicích usazují intenzivněji. Vdechované částice dráždí sliznice očí, nosu, hrdla, hrtanu, plicní tkáň a průdušnice. Škodliviny po absorpci v plicích přecházejí krevním řečištěm dále do organismu, kde mohou působit toxicky nebo karcinogenně. [1]



Obr. 2.1: Porovnání velikosti škodlivých částic [13]

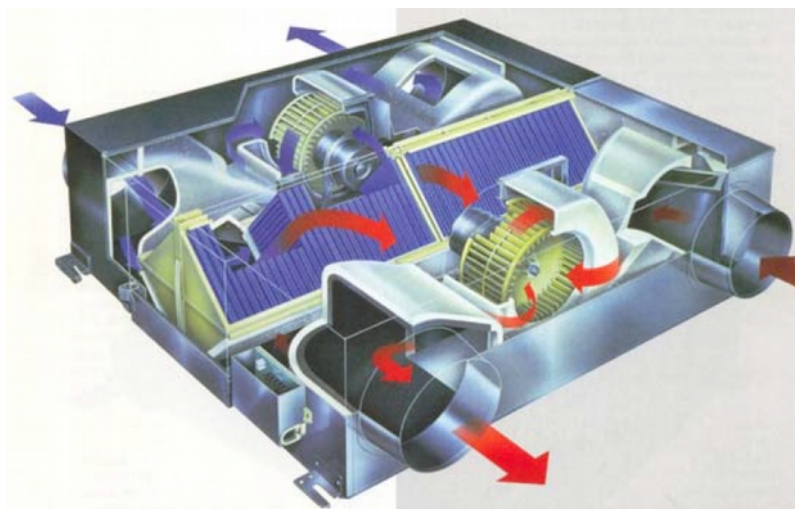
3 Způsoby odsávání v průmyslu

3.1 Způsoby udržování čistého pracovního prostředí

V průmyslu se problematikou hygienicky nezávadného vzduchu a optimální úrovní vnitřního prostředí na pracovišti zabývá obor Vzduchotechnika. Ten zahrnuje metody jak pro celkové větrání pracoviště, tak i pro místní odsávání od míst se vznikem škodlivin o vysokých koncentracích. Základním předpokladem pro správnou funkci větracích zařízení je z hlediska výskytu škodlivin dodržení předepsaných hodnot koncentrace těchto škodlivin v ovzduší.

3.1.1 Větrací a klimatizační zařízení

O úpravu vzduchu a jeho vhodné proudění v obytných, průmyslových a technologických objektech se starají větrací a klimatizační zařízení. Ty upravují přiváděný a odváděný vzduch tím, že ho čistí od polévatého prachu, mění jeho teplotu a vlhkost. Větrací a klimatizační zařízení ovšem nejsou účinná při odtahu škodlivin vznikajících při technologických procesech. Jednotky nezabraňují rozšiřování škodlivin po pracovišti a jejich filtry nejsou určeny pro vysoké koncentrace škodlivin. [14] I přes navýšení jejich výkonu by nezabránilo rozšiřování škodlivin po pracovišti, jenom by enormně narostly náklady na jejich provoz a údržbu. [6]



Obr. 3.1: Větrací jednotka [2]

3.1.2 Odsávací zařízení

Z výše uvedených důvodů se v průmyslu užívají jednotky, které odsávají škodliviny přímo z místa jejich vzniku a disponují vysoce účinnými filtry. Tato zařízení buďto odsávací část (elektrický pohon, ventilátor) a filtrační část (skupina filtrů) integrují do jednoho samostatně fungujícího celku nebo sestávají z filtrační části, ke které se pohonná jednotka připojuje zvenčí.

Použití těchto zařízení je nutné pro odsávání strojů a technických zařízení, u kterých není zamezeno působení škodlivin jiným technologickým způsobem. Pokud je odsávací zařízení nebo alespoň jeho sací nástavec součástí stroje, jedná se o odsávání přímé. Pokud odsávací zařízení nemůže být konstrukční součástí stroje, mluvíme o odsávání nepřímém. Nepřímého odsávání lze použít pouze tehdy, pokud přímé odsávání není technicky proveditelné. Odsávací zařízení má pracovat s minimálním průtokem nosné vzdušnin a v jeho potrubním rozvodu má docházet k minimální tlakové ztrátě. Zařízení dále musí splňovat hygienické a pracovní podmínky a musí být vázáno na odsávaný stroj, aby v případě poruchy na odsávacím zařízení byl odsávaný stroj zablokován nebo byla obsluha včas informována. V místnosti, ve které odsávací zařízení pracuje, musí být postaráno o přívod čerstvého vzduchu. [15]



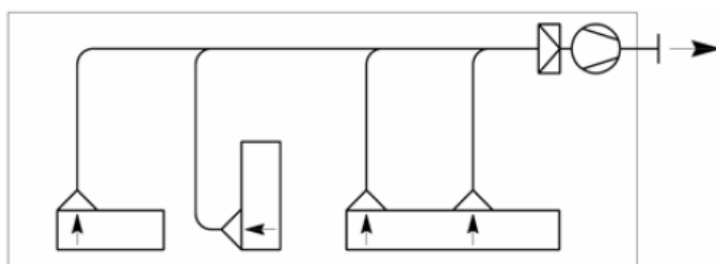
Obr. 3.2: Odsávací jednotky [13]

3.2 Metody odsávání škodlivin od strojů

Existuje několik řešení odvodu a filtrace škodlivin od strojů. Jsou jimi lokální, semi-centrální, centrální a dělené odsávání. V případě lokálního odsávání má každý stroj svou vlastní filtrační jednotku. Ta je plně soběstačná a bývá instalována přímo na stroji nebo vedle něj. Při semi-centrálním odsávání jsou stroje odsávány a filtrovány po skupinách tak, aby bylo dosaženo optimálního odsávání. Pokud jsou všechny stroje připojeny sacím potrubním rozvodem na jedinou výkonnou filtrační jednotku, jedná se o odsávání centrální. [6]

3.2.1 Centrální odsávání

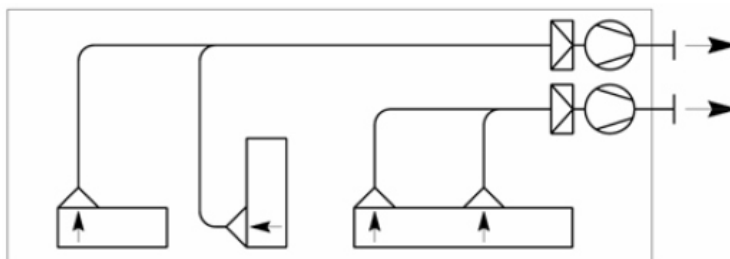
Centrální systémy odsávání a filtrace jsou robustně dimenzované systémy vyžadující větší zástavbovou plochu. Obvykle sestávají z jedné hlavní větve (potrubí připojené na odsávací zařízení) a několika větví vedlejších (potrubí vedoucí k jednotlivým strojům). Jelikož tlakové ztráty rostou s délkou potrubí, počtem rozboček a kolen (čím více odsávaných strojů, tím obecně větší ztráty), musejí být potrubí i výkon jednotky dostatečně dimenzované. Průměr potrubí může mít na vstupu do jednotky 400 až 500 mm. V případě poruchy odsávací jednotky dochází k zastavení práce na všech připojených strojích. Údržba jednotky se obvykle provádí v době, kdy se na strojích nepracuje (např. celozávodní dovolené). Bývají navrhovány pro určitou kapacitu a počet strojů, proto se špatně přizpůsobují změnám ve strojním parku (např. nové stroje, změna rozestavění strojů). [6]



Obr. 3.3: Princip centrálního odsávání [2]

3.2.2 Semi-centrální odsávání

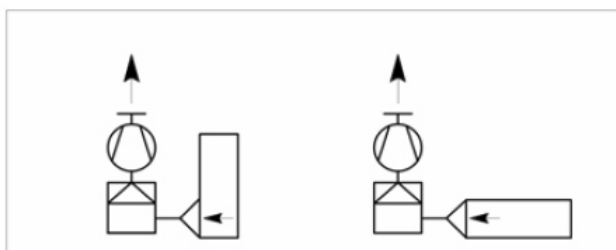
Semi-centrální systémy jsou podobné systémům centrálním. Nebývají ale dimenzované na tak vysokou kapacitu a tlakové ztráty. V případě poruchy nebo odstávky dochází k zastavení práce pouze na skupině připojených strojů. [6]



Obr. 3.4: Princip semi-centrálního odsávání [2]

3.2.3 Lokální odsávání

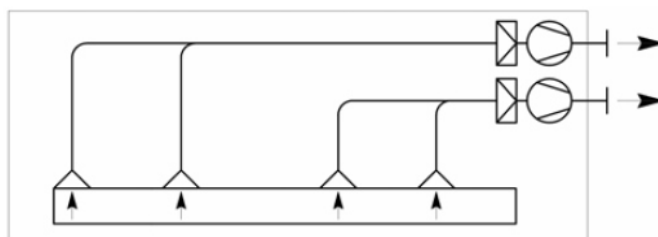
Lokální odsávací a filtrační zařízení se montují přímo na stroj nebo vedle něj, proto je lze snadno přemísťovat spolu se strojem. Zároveň jsou energeticky méně náročné, protože u nich dochází k minimálním tlakovým ztrátám. Při poruše nebo nutnosti čištění se odstaví pouze stroj, na kterém je zařízení nainstalováno. Doplněním strojního parku nedochází k problémům s dimenzováním centrálního systému, pouze se dokupuje nová lokální jednotka. [6]



Obr. 3.5: Princip lokálního odsávání [2]

3.2.4 Dělené odsávání

Dále se ještě může užívat dělený odsávací systém, kterého se užívá převážně u rozměrných výrobních linek. Systém sestává z několika odsávacích jednotek napojených na jeden technologický proces. [1]



Obr. 3.6: Princip děleného odsávání [2]

3.2.5 Rozdělení dle velikosti podtlaku

Odsávací zařízení se dále dělí podle velikosti podtlaku, který dokáže vytvořit, na nízkopodtlakové a vysokopodtlakové systémy. Nízkopodtlakové systémy jsou vhodné pro technologie, u kterých není potřeba odstraňovat těžší částice nečistot. Vysokopodtlakové systémy jsou vhodné pro odsávání od hořáků nebo operace třískového obrábění, kdy je odstraňován odpad ve formě třísek. Takovéto systémy obvykle pracují s podtlakem od 12 do 50 kPa. Některé z těchto zařízení suplují funkci vysavačů a lze je použít pro centrální úklid a čištění strojů. [16]



Obr. 3.7: Vysokopodtlaková úklidová jednotka Nederman [17]

3.2.6 Odvod přefiltrované vzdušniný

Přefiltrovanou vzdušninu je možné od filtračního zařízení odvádět do venkovního prostředí, nebo ji v celém nebo jen částečném množství vracet do prostoru pracoviště. U přefiltrované vzdušniný je nutné dodržet předepsané hodnoty zbytkového úletu. Při odvodu vzdušniný do venkovního prostředí dochází ke změně teploty v hale v závis-

losti na teplotě venkovního vzduchu. V zimním období tedy dochází k podstatnému ochlazování pracoviště a tím vzrůstajícím nákladům na jeho vyhřívání. [18]

3.3 Způsoby odsávání podle konstrukce stroje

3.3.1 Odsávání uzavřených strojů

Místní odsávání škodlivin se liší podle konstrukce odsávaného stroje. Stroje mohou být buď krytované nebo otevřené. Odsávání plně krytovaného stroje se provádí mnohem snáze, jelikož vznikající škodliviny se hromadí pouze ve vnitřním prostoru stroje a nešíří se dále po pracovišti. [19] Otvory v krytování se do stroje díky vzniklému podtlaku vtahuje okolní vzduch. Tím je zajištěno optimální proudění vzduchu od vstupních otvorů v krytování přes místo vzniku škodlivin k sacímu nástavci odsávacího zařízení.



Obr. 3.8: Odsávání krytovaného stroje [13]

Kapacitní návrh odsávacího zařízení pro plně krytované stroje se může provádět dvěma způsoby. Prvním je návrh podle objemu odsávaného prostoru. Vnitřní objem odsávaného stroje je násoben empirickou konstantou vyjadřující počet výměn vzduchu ve stroji za daný časový úsek. Obvykle se volí 4 až 6 výměn vzduchu za minutu. V pří-

padě velkých strojů, kde technologické operace probíhají jen v malém prostoru stroje, se škodliviny šíří pomaleji a počet výměn vzduchu se tedy může volit nižší. [19]

Druhou metodou pro návrh kapacity je velikost plochy otevíraných dveří. Tento postup je vhodný pro rozměrné stroje, kde by při použití první metody návrhu docházelo k potřebě vysoké kapacity odsávacího zařízení. Požadavkem je, aby ani při plně otevřených dveřích stroje neunikaly škodliviny do prostředí pracoviště. Celková plocha dveří, resp. celková maximální otevřená plocha je násobena rychlostí proudícího vzduchu. Rychlost vzduchu v otevřených dveřích by se měla pohybovat kolem 0,3 až 0,5 m/s. [19]

3.3.2 Odsávání otevřených strojů

U otevřených nebo jen částečně krytovaných strojů je návrh kapacity odsávacího zařízení obtížný, stejně jako samotné odsávání. U malých strojů se co nejbližší k místu vzniku škodlivin umísťuje sací nástavec odsávacího zařízení. V případě velkých otevřených strojů lze použít odsávání podobné tomu u malých strojů, s tím rozdílem, že by odsávací hubice nebo digestoř musela sledovat zdroj škodlivin. U některých strojů by však podobné řešení bylo těžko proveditelné, proto se užívá vzduchových clon. Ty pracují na principu vyfukování přivedeného tlakového vzduchu tryskami do prostoru stroje tak, aby byl uzavírán určitý prostor a zároveň byla kontaminovaná vzdušnina hnána k sacímu nástavci. Vzduchových clon se užívá i u velkých plně krytovaných strojů, kde poté stačí používat odsávací zařízení s nižší kapacitou. [19]



Obr. 3.9: Zařízení vytvářející vzduchovou zábranu [13]

3.4 Sací nástavce

3.4.1 Požadavky na sací nástavce

Sací nástavec zachycuje škodliviny u zdroje jejich vzniku a je na něm závislá účinnost celého odsávacího zařízení. Proto obvykle bývá součástí odsávaného stroje tak, aby bylo jeho vhodnou konstrukcí zaručeno efektivní odsávání škodlivin. Sací nástavec musí splňovat tyto podmínky:

- Sací nástavec by měl uzavírat zdroj škodlivin
- Vstupní otvor nástavce musí být upraven pro co nejvyšší účinek odsávání
- Pokud nelze použít uzavřený nástavec, musí být otevřený nástavec instalován co nejbližší zdroji škodlivin
- Hlavní směr odsávání by měl být totožný se směrem proudění škodlivin, pokud se stroj nebo materiál pohybuje vysokou rychlostí, měl by sací nástavec využívat dynamického účinku strhávané vzdušniny
- Sací nástavec musí vyhovovat podmínkám bezpečnosti práce a nesmí ztěžovat práci obsluze
- Sací nástavec se nesmí škodlivinou zanášet a neměl by zvětšovat prostorovou náročnost stroje [15]

Účinnost odsávání škodlivin nástavcem se vyjadřuje vztahem:

$$\eta = \frac{M_o}{M} \quad [1] \tag{1}$$

3.4.2 Druhy sacích nástavců

Mezi hlavní typy sacích nástavců patří odsávací skříně, odsávací zákryty, boční odsávací zákryty a jednoduché sací nástavce. [1]

Odsávací skříně plně uzavírají zdroj škodliviny od okolí. Obsluha zařízení je umožněna manipulačním otvorem. Nejčastěji jsou provedeny jako chemické digestoře. V odsávacích skříních se provádějí operace čištění, broušení, tryskání, sušení nebo stříkání barev. [1]

Odsávací zákryty se konstruují jako střeovitě nebo tvarově přizpůsobené stroji. Tvarově konstruované zákryty se uplatňují nejčastěji u brusek, leštících kotoučů nebo

dřevoobráběcích strojů. Střechovité zákryty se používají pro odtah škodlivin od tavicích pecí, výhní nebo lázní. [1] Také se však instalují nad pracoviště výrobních robotů, nebo pro ruční práce svařování a termického dělení přímo nad pracovní stoly. [14]



Obr. 3.10: Odsávací digestoř [12]

Pro tento typ operací se také hodí štěrbinové odsávací digestoře. Zde nástavec nezakrývá zdroj škodlivin, ale představuje pevnou stěnu na boku pracovního stolu. [14] Odsávací štěrby ale nacházejí uplatnění také při odsávání od průmyslových van a nádrží, kde se čistí, moří a pokovuje. [1]



Obr. 3.11: Pracovní stůl se štěrbinovou odsávací stěnou [12]

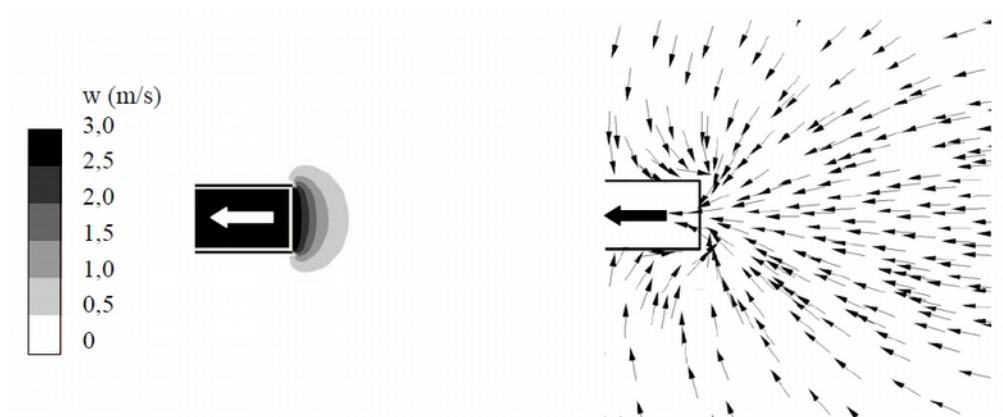
Jednoduché sací nástavce jsou kruhová, obdélníková nebo šterbinová vyústění sacích vzduchovodů. Bývají provedeny s přírubou nebo bez příruby. Nejčastěji se upevňují na ohebná ramena, které lze díky jejich flexibilnímu provedení napolohovat přímo ke zdroji škodlivin. [11]



Obr. 3.12: Samonosná flexibilní odsávací ramena [13]

3.4.3 Dimenzování sacích nástavců

Při návrhu rozměrů sacího nástavce je nutno vycházet z faktu, že účinek proudu vzduchu nasávaného sacím otvorem je omezen pouze na nevelkou oblast v blízkosti sacího otvoru. Dosah proudu vzduchu přiváděného otvorem je naopak výrazně větší. [2]



Obr. 3.13: „Proudění do odsávacího otvoru; kontury rychlosti, vektory rychlosti“ [2]

Proto je nutné sací nástavec umisťovat co nejblíže zdroji škodlivin. Při větších vzdálenostech je pro porovnatelný odtah nutné navyšovat kapacitu odsávaného vzduchu. To znamená použít pro odtah výkonnější odsávací zařízení a zvětšit rozměry potrubního rozvodu.

3.5 Vzduchovody

Vzduchovody neboli potrubní rozvody slouží k přívodu nebo odvodu vzduchu. Bývají již součástí konstrukce budovy nebo jsou od konstrukce budovy oddělené. Potrubní rozvody oddělené od konstrukce budovy se vyrábějí s kruhovým nebo čtvercovým průřezem a nejčastěji bývají zhotoveny z pozinkovaného plechu. Lze se setkat i s potrubím z plechu hliníkového, tvrzeného papíru, PVC nebo textilních tkanin. Mezi vzduchovody se řadí i ohebná ramena. Rozměr potrubí je normalizován. Potrubí je doplněno o tvarové kusy, které umožňují změnit směr nebo rychlost proudu vzduchu, případně proud/y vzduchu spojovat nebo rozdělovat. Konstrukce vzduchovodu musí vyhovovat normě ČSN 73 0862. Ta stanovuje podmínky ochrany proti přenosu a šíření požáru vzduchotechnickým potrubím. [1]

Ve větrání a klimatizaci často potrubní rozvody tvoří členité sítě. Při místním odsávání a užití lokálních odsávacích jednotek jsou potrubní rozvody krátké a jednoduché, naopak při centrálním odtahu mohou tvořit členitou síť složenou z hlavních a vedlejších větví.

Při odsávání škodlivin je nutné dodržet doporučené dopravní rychlosti proudu vzduchu v potrubí. [2] Jinak by se škodliviny, ať už se jedná o kovové třísky, dřevěné třísky nebo prach, mohly v potrubí a hlavně v jeho tvarových částech usazovat a tvořit tak překážku proudícímu vzduchu. To by vedlo k poklesu účinnosti odsávání a zvýšené energetické náročnosti odsávací jednotky.

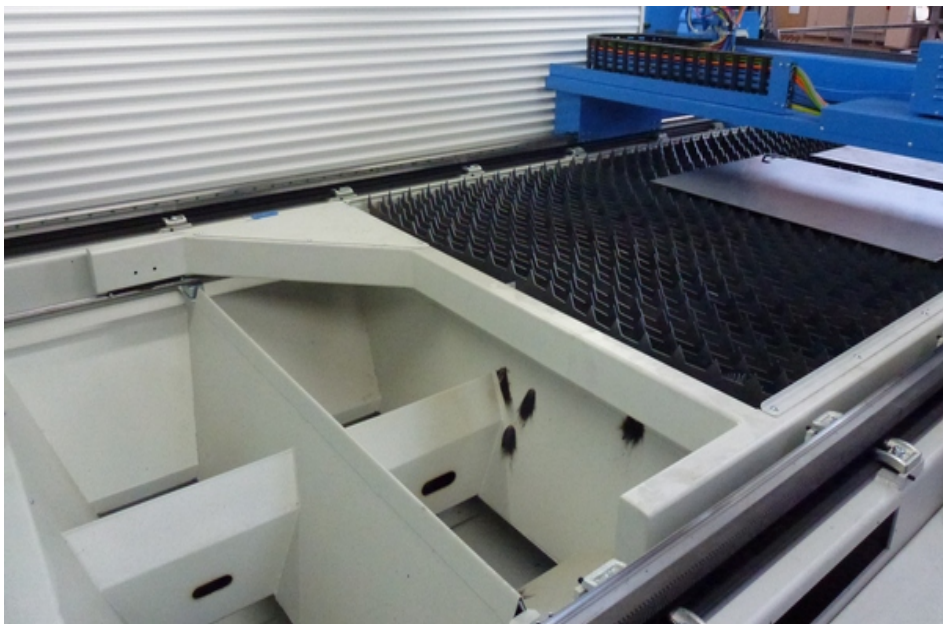
Tab. 1: Dopravní rychlosti ve vzduchovodu [2]

	Rychlost w (m/s)
suché třísky při obrábění dřeva	16
vlhké třísky při obrábění dřeva	20
brusky na kov	15 – 20
vlna	15 – 20
obilný prach	10 – 15

Vzduchovod i sací nástavec musí být zhotoveny z materiálu, který je odolný proti fyzikálním a chemickým vlivům škodlivin. Pro odsávání škodlivin by mělo být použito co nejkratšího potrubí s kruhovým průřezem. [15]

3.6 Odsávání u strojů pro termické dělení materiálu

U strojů pro termické dělení se nejčastěji užívá odsávání zpod roštu, čili ve směru proudění škodlivin. Škodliviny jsou zachytávány dříve, než se stačí rozptýlit po pracovišti. Prostor pod roštem je rozdělen do sekcí. Každá sekce je tvořena zužujícím se otvorem. Struska a menší kusy děleného materiálu, které propadly roštem, sklouzávají tímto otvorem do záchytné nádoby umístěné pod sekci. Záchytné nádoby bývají ze stroje vyjímatelné. Na stěně sekce je sací otvor pro odtah kontaminované vzdušiny. Sací otvory ústí do jednoho nebo více kanálů, na které je připojena odsávací jednotka. Podle polohy řezací hlavy stroje jsou jednotlivé sací otvory klapkami otevírány nebo zavírány. Tím dochází k významné úspoře provozních nákladů, protože k odsátí škodlivin stačí mnohem nižší výkon odsávací jednotky. Řízení klapek probíhá přímo z řídicího systému stroje nebo mechanicky, klapky bývají obvykle polohovány pneumatickými ventily a válci. Odsávání zpod roštu se užívá u krytovaných i otevřených strojů. [11]



Obr. 3.14: Laserový stroj s odsáváním zpod roštu (Vanad 2000)

U krytovaných strojů je také možné odvádět kontaminovanou vzdušninu vrchní stěnou stroje pomocí digestoře. Struska propadá roštem do sběrných nádob, škodliviny jsou však vzniklým proudem vzduchu přemisťovány do horní části stroje a zde odsávány.



Obr. 3.15: Laserový stroj s vrchním (digestořovým) odtahem (Vanad 2000)

U malých plně krytovaných strojů lze odsávat pracovní prostor otvorem v boční nebo v horní straně stroje. Tento způsob je užíván u strojů VÚTS Liberec.

Lze se setkat i s odsáváním přímo od řezací hlavy stroje. Sací hubice může být umístěna v blízkosti řezací hlavy, nebo může řezací hlavu překrývat. Tento způsob odsávání je užíván dodatečně k odsávání zpod roštu.



Obr. 3.16: Odsávání od řezací hlavy (Mercury) [20]

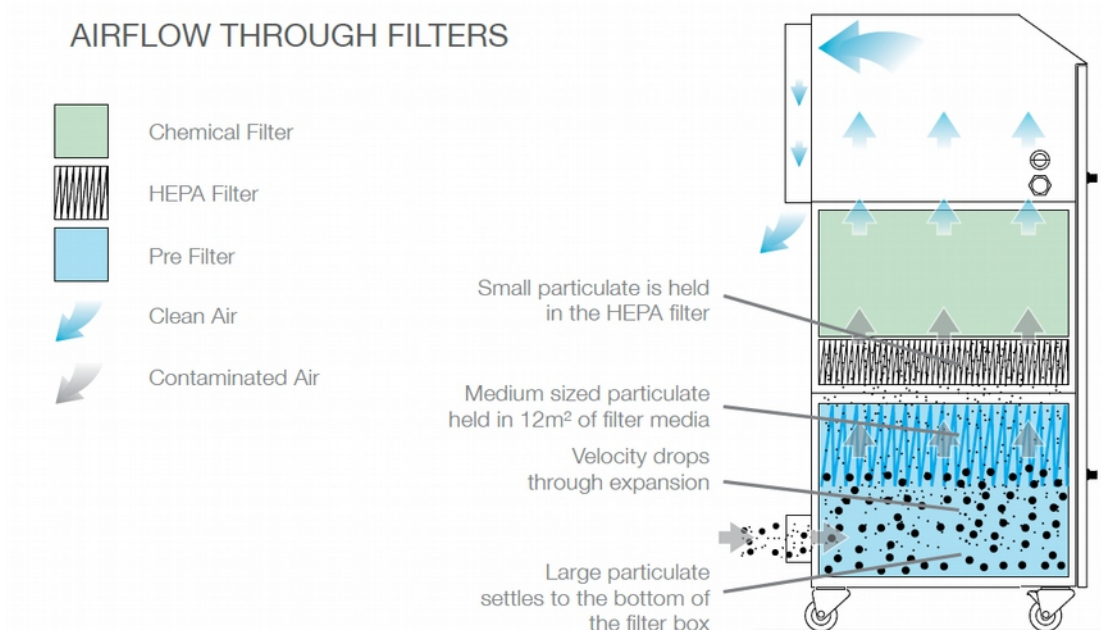
4 Způsoby filtrace škodlivin

4.1 Druhy průmyslových filtračních systémů

Úkolem zařízení pro odtažení znečištěné vzdušiny od produkčního stroje je také filtrace této vzdušiny. V průmyslu se užívá několika způsobů filtrace, které se konstrukčně liší podle druhu odsávané vzdušiny, jejího množství a koncentrace škodlivin. U vzdušiny je nutné znát její složení, vlhkost, mastnotu a výbušnost. Správné určení druhu odsávané vzdušiny je základním předpokladem pro výběr vhodného filtračního zařízení a jeho hospodárné činnosti.

Mezi nejčastěji používaná filtrační zařízení patří filtrační systémy s pasivními filtračními elementy, elektrostatické filtry, dynamické separátory a filtrační systémy s čistitelnými (tzv. aktivními) filtry. [21]

4.1.1 Systémy s pasivními filtračními elementy



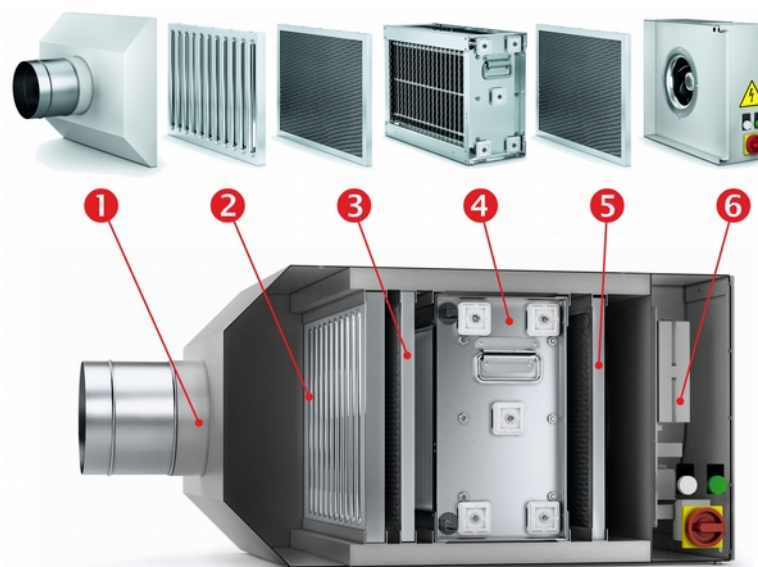
Obr. 4.1: Princip funkce odsávací jednotky s pasivními filtry (BOFA AD Oracle) [22]

Filtrační systémy s pasivními filtry nacházejí uplatnění při odsávání suché vzdušiny a v málo vytížených provozech. Systém se skládá z několika za sebou řazených filtrů rozdílné konstrukce. První filtr zachytává největší částice, výstupní filtr pak ty nejmenší. Filtry zařízení se průchodem znečištěné vzdušiny zanášejí a průtok

vzdušniny filtračním elementem klesá. Po čase je nutné zanesené filtry vyměnit za nové, manuálně čistitelné filtry vyčistit. [21] Lze se ale setkat s řešením prodlužujícím životnost filtru tím, že zachycené částice, vlivem své hmotnosti, samovolně vypadávají z filtru do sběrné nádoby. [5]

4.1.2 Elektrostatické odlučovače

Elektrostatická filtrační zařízení pracují na principu ulpívání elektricky nabitých částic na sběrných lamelách o opačném náboji. Po průchodu předfiltrem získávají částice škodlivin potřebný elektrický náboj v ionizační komoře. Účinnost filtrace je přímo závislá na zanesení sběrných lamel. V případě zanesení sběrných lamel může docházet ke vzniku elektrického oblouku a k jiskření, což vede ke vzniku ozonu. Proto je nutné sledovat stav zanesení lamel a pravidelně je čistit. Elektrostatické filtry jsou vhodné pro filtraci suché vzdušniny s nižší koncentrací škodlivin a částicemi o rozměrech 0,1 až 1 μm . [21]



Obr. 4.2: Elektrostatický odlučovač Bristol: 1 - vstup, 2 - cyklónový předfiltr, 3 - pětivrstvý štěpinový předfiltr, 4 - ionizační a sběrná komora, 5 - štěpinový předfiltr, 6 - ventilátor, elektronika [13]

4.1.3 Odstředivé dynamické separátory

Dynamické separátory využívají odstředivé síly k odloučení škodlivých částic, které jsou těžší než vzduch. Mohou být použity jako předseparátory suchých částic před samotnou filtrační jednotkou nebo jako separátory chladiv a emulzí v kovoprůmys-

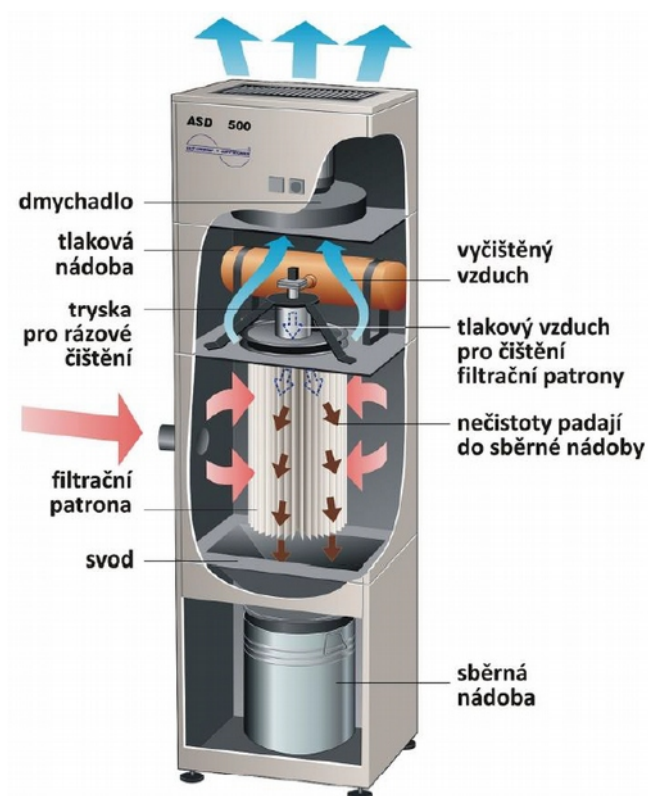
lu. Dělí se tedy podle vlhkosti filtrované vzdušiny a užívají se pro nižší koncentrace škodlivin. Separátory pro suchou vzdušinu neobsahují žádný spotřební materiál, mohou tedy pracovat neustále a bez dalších nákladů na provoz. [21]



Obr. 4.3: Odstředivý separátor Filtermist [13]

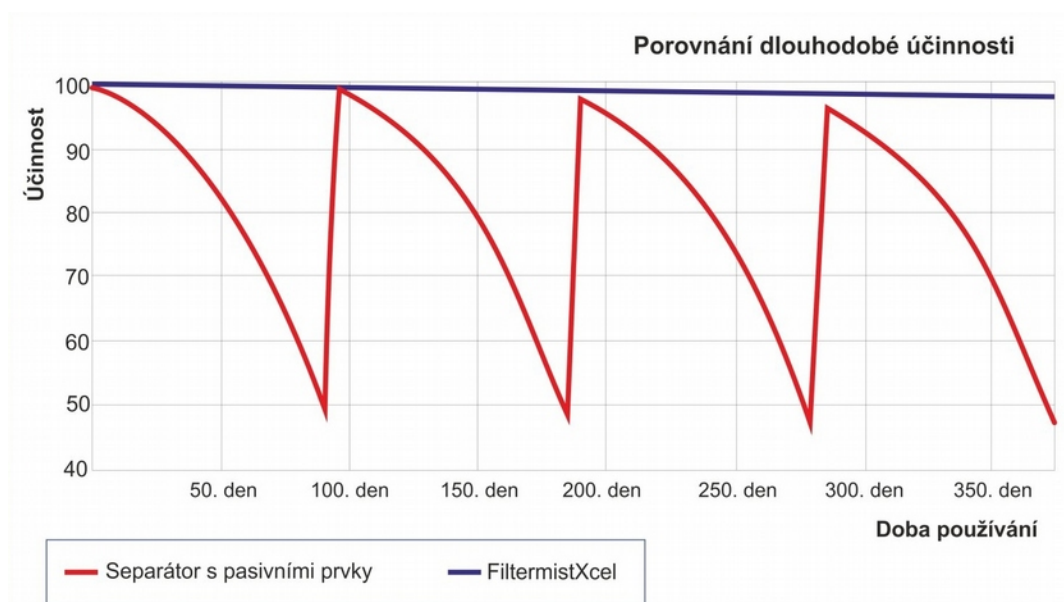
4.1.4 Systémy s aktivními filtračními elementy

Filtrační systémy s aktivními filtry jsou vhodné pro nejtěžší provoz, kde vzniká vysoké množství škodlivin. Zařízení je složeno z kaskády filtrů, které jsou při určité hodnotě nasycení samovolně nebo nuceně čištěny. Filtry mívají nejčastěji podobu patron nebo kazet. Nejčastějším mechanismem čištění je pomocí proudu tlakového vzduchu, který je na filtr pouštěn v krátkých impulzech. [16] Filtry ovšem mohou být čištěny i zpětným proudem vzduchu. [17] Tím jsou částice vytřásány z filtru a padají do sběrné nádoby. Lze se setkat i s mechanickým čištěním filtrů. [23] V případě odsávání vlhkých vzdušnin, jako jsou olejové aerosoly, se částice ve filtru slučují do kapek a ty poté stékají do sběrné nádoby. Takto mohou filtrační zařízení pracovat i několik roků, než bude nutné vyměnit filtry za nové. [21]



Obr. 4.4: Odsávací jednotka s aktivními filtry (ULT AG) [13]

Vhodnou skladbou filtrů lze u filtračních systémů ovlivnit provozní náklady zařízení a hlavně samotnou kvalitu odsávání a filtrace kontaminované vzdušiny. Účinnost některých druhů filtračních systémů v závislosti na čase znázorňuje graf 1.



Graf 1: Porovnání účinnosti filtrů v závislosti na době provozu (jednotka s pasivními filtry vs. odstředivý separátor) [13]

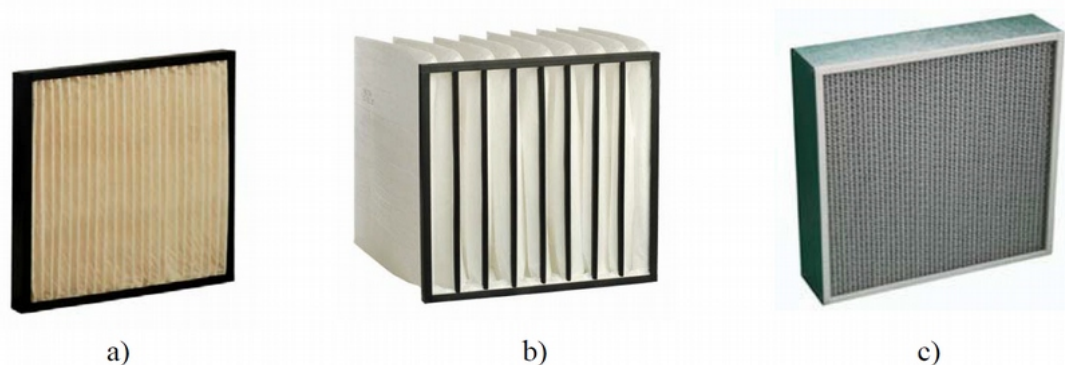
4.2 Filtrace škodlivin u technologií termického dělení

Pro filtraci škodlivin vznikajících při procesech termického dělení se nejčastěji užívají filtrační systémy s mechanickými filtry. Jednotky bývají složeny z filtrů přímo určených pro účinnou separaci i těch nejmenších částic a plynů. Pro menší a méně vytížené stroje se užívají jednotky s pasivními filtry, pro stroje s nepřetržitým provozem nebo stroje odsávané centrálně pak systémy s filtry automaticky čistitelnými.

Filtrace znečištěné vzdušiny obvykle probíhá ve dvou až čtyřech fázích. Minimum u jednotek s pasivními filtry bývá použití filtru pro jemný prach a filtru pro aerosoly. Jednotka může být vybavena odstředivým předseparátorem na vstupu a dále filtrem sorpčním na výstupu. Větší jednotky s čistitelnými filtry často filtrují vzdušninu v jednom nebo ve dvou stupních.

4.2.1 Prachové filtry a filtry aerosolové

Filtry pro hrubý, středně hrubý a jemný prach jsou klasifikovány dle ČSN EN 779 a filtry pro aerosoly podle normy ČSN EN 1822. Každá skupina filtrů pro prachy zahrnuje několik tříd filtrace, které se liší podle stupně odlučivosti. Filtry pro aerosoly se dělí na skupiny E (EPA), H (HEPA), U (ULPA). Ty jsou odstupňovány podle účinnosti filtrace od těch méně účinných (skupina E) až po ty nejúčinnější (skupina U). Každá skupina se ještě dále dělí na několik podtříd (viz. Příloha B). [24]



Obr. 4.5: „Příklady provedení filtrů: a) rámečkový filtr G1 až G3, b) kapsový filtr, F6 až F9, c) kazetový filtr (kompaktní vložka) H10 až H13“ [2]

Filtry pro hrubý prach se vyrábí z organických, skelných, syntetických vláken nebo z kovových materiálů. Filtry pro jemný prach a aerosoly jsou obvykle tvořeny vlákny skleněnými, jejichž průměr je 1 až 10 μm . Vláknata hrubých filtrů mohou být

navíc ošetřena adhezivním prostředkem. U jemných filtrů je tato úprava zbytečná, protože malé částice jsou k vláknům vázány van der Waalsovými silami. [24]

4.2.2 Sorpční filtry

Sorpční filtry pracující na principu adsorpce se užívají k zachytávání plynů, par a pachů z filtrované vzdušiny na konci procesu filtrace. Filtry jsou tvořeny náplní impregnovaného nebo neimpregnovaného uhlí (tzv. aktivní uhlí). Uhlí je ve filtru rozprostřeno na velké ploše s velkou tloušťkou vrstvy. [25]

4.3 Filtrační jednotky pro operace termického dělení

Jednotky jsou vybrány průřezově z celého spektra nabízených filtračních zařízení od nejméně výkonných po ty nejvýkonnější. Všechny uvedené jednotky jsou přímo určené, případně jednoduše upravitelné, pro odtah a filtraci škodlivin vznikajících při operacích termického dělení.

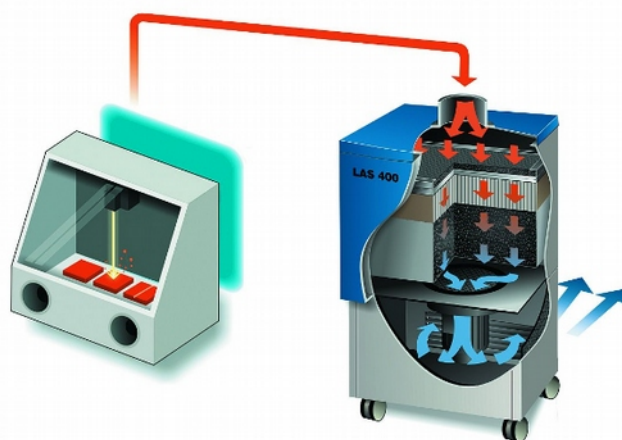
4.3.1 BOFA AD Oracle

Mobilní odsávací a filtrační zařízení AD Oracle britské společnosti BOFA filtruje vzdušninu ve třech stupních. První stupeň sestává z filtru pro jemný prach třídy F8 s 95 % odlučivostí pro částice velikosti 0,8 μm . Filtr ze skleněných vláken má pracovní plochu 12 m^2 . Druhým a třetím stupněm filtrace je kombinovaný filtr složený z aerosolového HEPA filtru třídy H13 a sorpčního filtru s náplní aktivního uhlí. HEPA filtr má udávanou odlučivost 99,997 % pro částice velikosti 0,3 μm . Aktivní uhlí je přítomno v množství 15 kg. Oba filtry jsou situovány v krabicích z pozinkovaného plechu. Při výměně filtru se mění celá krabice s filtrem. Znečištěná vzdušnina je přiváděna dospodu zařízení. Tím je dosaženo samovolného čištění prvního stupně filtrace, kdy těžší částice odpadávají z filtru. Zároveň také těžší částice při vstupu do zařízení vlivem ztráty rychlosti padají do sběrné nádoby a nevstupují do filtru. [5]

Jednotka na vstupu dokáže vytvořit podtlak 9600 Pa a pohání ji elektromotor pracující s napětím od 90 do 257 V. Proto je možné zařízení používat kdekoli po světě. Udávaný průtok dosahuje hodnoty 380 m^3/hod , hlučnost pak hodnoty 58 dB. Zařízení je možné dovybavit předfiltrem, zhášecem jisker, senzorem těkavých sloučenin nebo systémem pro zobrazení stavu filtrů. Hmotnost zařízení činí 65 kg. [22]

4.3.2 ULT AG LAS 400-2

Výrobek německé společnosti ULT AG pracuje na obdobném principu jako jednotka AD Oracle. V mobilní jednotce se nachází kaskáda pasivních filtrů a filtr sorpční. Prvním stupněm je hrubý předfiltr tvořený ocelovými štěpinami. Další stupeň sestává z filtru s filtrační tkaninou. Jedná se o filtr třídy F5, případně F7. Filtry prvního i druhého stupně jsou uloženy ve výměnném kovovém rámu. Aerosolový HEPA filtr třídy H13 tvoří stupeň třetí. Čtvrtým stupněm je sorpční kazeta naplněná aktivním uhlím. [13] Jednotka může dosahovat průtoku až 1500 m³/hod, maximální podtlak má hodnotu 3250 Pa. Nominální hodnota podtlaku při průtoku 600 m³/hod činí 2500 Pa. [26]



Obr. 4.6: Odsávací jednotka ULT AG LAS 400-2 [13]

4.3.3 Tigemma TIG FSD 1250

Odsávací jednotka české firmy TIG FSD 1250 spadá do kategorie filtračních zařízení s automaticky čistitelnými filtry. Zařízení je vhodné pro procesy tepelného dělení, svařování, pájení, broušení nebo tryskání kovů. Jednotka se pro konkrétní aplikaci přizpůsobuje volbou adekvátních filtračních patron. V počtu dvou kusů přítomné filtrační patrony jsou vyrobeny z polyesteru s PTFE (teflon) membránou. Patrony jsou dle ČSN EN 779 třídy M se stupněm odlučivosti 99,99 % a jejich pracovní plocha činí 19 m². Patrony jsou čištěny tlakovým vzduchem z dílenského rozvodu. Průtok zařízením při podtlaku 2885 Pa je 1224 m³/hod. Příkon jednotky je 3 kW a její hmotnost činí 393 kg. Rozběh elektromotoru je řešen elektronickým softstarterem s možností doplnění o frekvenční měnič. Zařízení je možné spojovat s dalšími jednotkami pro větší odsávací výkon. Řídící jednotka zapíná zařízení podle činnosti pracovního stroje a nastavuje parametry pro regeneraci filtračních patron. [27]



Obr. 4.8: Odsávací jednotka Tigemma TIG FSD 1250 [27]

4.3.4 Nederman Filtermax F 60

Švédská společnost Nederman má v nabídce zařízení s filtračními vložkami Filtermax F. Filtrační zařízení je vhodné zejména pro jemný, suchý, nevýbušný prach a dým a pro konkrétní aplikaci se upravuje vhodnou volbou filtračního materiálu. Jedná se o modulární jednotku, v tomto případě jednotka obsahuje dva moduly. Přidáním modulu se zvětšuje filtrační plocha a maximální možný průtok zařízením. Jednotka může být použita i pro odsávání od více strojů. [17]



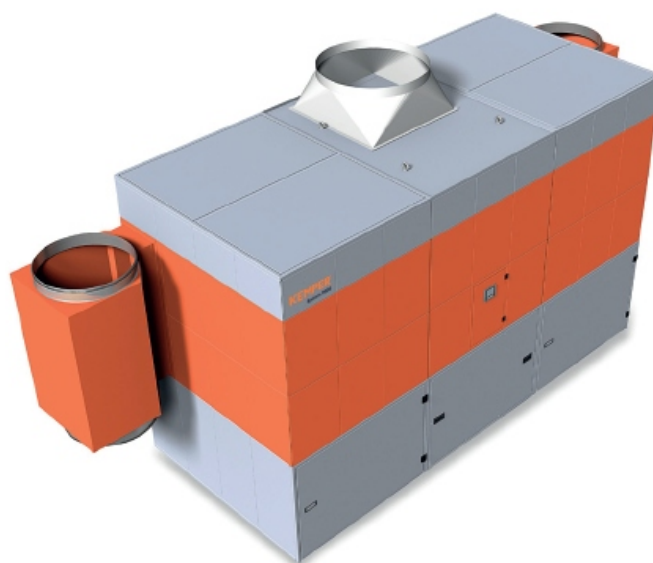
Obr. 4.7: Odsávací jednotka Nederman Filtermax F 60 [17]

Regenerace tlakovým vzduchem probíhá rovnoměrně po celém povrchu filtračních vložek a kazet. Jednotka disponuje předseparátorem pro těžší částice a jiskry.

Automatický řídicí systém sleduje a řídí proces čištění filtrů při odsávání i po odsávání. Model F 60 obsahuje 12 filtračních vložek s celkovou pracovní plochou 120 m² a odlučivostí vyšší než 99 %. Průtok jednotkou se může pohybovat v rozmezí 3000 až 7000 m³/hod, maximální podtlak může dosáhnout hodnoty 5 kPa. Jednotka nemá integrovaný ventilátor, ten je nutné připojit zvenčí. Hmotnost zařízení činí 900 kg a jeho hlučnost může při provozu dosáhnout hodnoty 63 dB. [17]

4.3.5 Kemper System 9000

Centrální odsávací systém 9000 z produkce německé firmy Kemper je stacionární jednotkou s variabilitou při volbě požadované kapacity. Jednotku je možné pořídit v několika výkonnostních verzích v rozmezí od cca 10 000 do 20 000 m³/hod. Zařízení je vhodné pro vysoké koncentrace kouře a prachu se zaměřením na operace termického dělení, svařování a broušení. Jednotka je snadno rozebiratelná vlivem modulární konstrukce a je ovládána skrze dotykovou obrazovku. Nízkých provozních nákladů lze dosáhnout automatickým čištěním filtrů, které je řízeno tlakovým spádem nebo užitím volitelné automatické regulace objemového toku. Jednotka disponuje jedním filtračním stupněm, který tvoří třináct filtračních ePTFE patron s celkovou filtrační plochou 260 m² a odlučivostí vyšší jak 99,99 % pro prachy třídy M. Verze jednotky s průtokem od 13 000 do 18 720 m³/hod dosahuje podtlaku od 1150 do 1900 Pa. Výkon motoru činí 22 kW a hladina hluku se pohybuje na úrovni 65 dB. Hmotnost jednotky je 2 320 kg. [12]



Obr. 4.9: Odsávací jednotka Kemper System 9000 [12]

5 Kapacitní propočty pro laserový stroj

Při operacích řezání a gravírování je u laserového stroje používán asistenční plyn o tlaku 15 bar, který je přiváděn do řezací hlavy a tryskou o průměru 2 mm vypouštěn na řezaný materiál.

5.1 Určení množství odsávané vzdušiny

Laserový stroj bude, tak jak stojí, krytován na bocích, zepředu a zezadu. Jelikož rám leží na podlaze, není potřeba krytování zespodu. Jak již bylo řečeno, v horní části je stroj překryt několika měchy, které prostor stroje zakrývají ve dvou vodorovných rovině. V přechodech mezi těmito rovinami jsou však mezery. Proto stroj nelze označit za plně krytovaný a uzavřený. Mezery mezi měchy ovšem nejsou nijak rozměrné, proto lze pro porovnání provést oba způsoby návrhu kapacity odsávacího zařízení.

5.1.1 Metoda objemu odsávaného prostoru

Plocha roštu měřená mezi vnitřními stranami rámové konstrukce je dána stranami o rozměrech 1660 mm a 1360 mm. Pokud se ve výpočtu zanedbá prostor v bocích stroje, kde jsou rámové vzpěry, a výška prostoru stroje se určí od podlahy až po horní hranu lineární jednotky osy Y, kde leží krycí měchy, bude výpočet odsávaného objemu stroje vypadat následovně:

$$V = 1,66 \text{ m} \cdot 1,36 \text{ m} \cdot 0,76 \text{ m} = 1,72 \text{ m}^3 \quad (2)$$

Při zvoleném počtu výměn vzduchu v prostoru stroje s hodnotou $4\times$ za minutu bude minimální potřebná kapacita odsávacího zařízení činit:

$$\dot{V} = 1,72 \text{ m}^3 \cdot (4 \cdot 60) \text{ hod}^{-1} \approx 413 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1} \quad (3)$$

5.1.2 Metoda plochy otevíraných dveří

Velké mezery mezi měchy a rámem se na stroji vyskytují dvě, a to mezi měchy překrývající lineární jednotky osy Y, a jednotkou osy X. Šířka mezer je 1500 mm. Jedna mezera je hluboká 170 mm, druhá 44 mm. Pro zvolenou rychlost proudu vzduchu $c = 0,4 \text{ m/s}$, který proudí mezerami, lze vypočítat minimální potřebnou kapacitu odsávacího zařízení:

$$\dot{V} = 1,5 \text{ m} \cdot (0,170 \text{ m} + 0,044 \text{ m}) \cdot 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3600 \approx 462 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1} \quad (4)$$

Výsledek této metody je pouze orientační, jelikož nelze přesně určit celkovou plochu všech otvorů ve stroji. Ta bude jistě větší, než plocha použitá ve výpočtu.

5.1.3 Zhodnocení výsledků výpočtů

Výsledky obou metod dle rovnic (3, 4) jsou rozdílné, ovšem ne nějak výrazně. Stroj je z větší části krytován, avšak vlivem několika větších či menších mezer mezi měchy a rámem se nejedná o stroj uzavřený, ale ani otevřený. Tudíž ani jeden výsledek nemůže být plně směrodatný. Dohromady však dávají dobrou představu o požadovaném výkonu odsávacího zařízení. To by mělo pro odsávání lehkých škodlivin disponovat průtokem přibližně 500 m³/hod.

5.2 Určení množství přiváděného vzduchu

Pro zjištění množství vzdušniny přisávané do stroje a ze stroje odsávané je vhodné znát množství přiváděného asistenčního plynu, který je používán při operacích laserového řezání. Plynem může být vzduch, kyslík nebo dusík. Vzhledem k vysokým provozním nákladům při užívání stlačeného kyslíku nebo dusíku je upřednostňován tlakový vzduch. Vzduch o tlaku $p_0 = 15$ bar a teplotě 20 °C je tryskou o průměru $d_t = 2$ mm vypouštěn do prostředí o mírném podtlaku ($p \approx 100$ kPa) oproti tlaku atmosférickému. Poissonova konstanta κ je pro dvouatomový idealizovaný vzduch rovna 1,4. Měrná plynová konstanta $r = 287,1$ J/(kg·K). Výpočty jsou provedeny dle [28] a [29].

Kritický poměr tlaků:

$$\beta_{krit} = \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} = \left(\frac{2}{1,4 + 1}\right)^{\frac{1,4}{1,4 - 1}} = 0,528 \quad (5)$$

Poměr tlaků:

$$\beta = \frac{p}{p_0} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{1,5 \cdot 10^6 \text{ Pa}} = 0,067 < 0,528 \quad (6)$$

Z výpočtu poměru tlaků (6) je patrné, že se jedná o kritické proudění.

Tlak na výstupu z trysky:

$$\beta_{krit} = \frac{p_{krit}}{p_0} \Rightarrow p_{krit} = p_0 \cdot \beta_{krit} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 0,528 = 792\,000 \text{ Pa} \quad (7)$$

Hustota vzduchu v potrubí:

$$p_0 = \rho_0 \cdot r \cdot T_0 \Rightarrow \rho_0 = \frac{p_0}{r \cdot T_0} = \frac{1,5 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{287,1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (273,15 + 20) \text{ K}} = 17,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (8)$$

Hustota vzduchu na výstupu z trysky:

$$\beta_{\text{krit}} = \left(\frac{\rho_{\text{krit}}}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \Rightarrow \rho_{\text{krit}} = \rho_0 \cdot (\beta_{\text{krit}})^{\frac{1}{\kappa}} = 17,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0,528)^{\frac{1}{1,4}} = 11,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (9)$$

Teplota vzduchu na výstupu z trysky:

$$p_{\text{krit}} = \rho_{\text{krit}} \cdot r \cdot T_{\text{krit}} \Rightarrow T_{\text{krit}} = \frac{p_{\text{krit}}}{\rho_{\text{krit}} \cdot r} = \frac{792000 \text{ Pa}}{11,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 287,1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 244,34 \text{ K} \quad (10)$$

Rychlost vzduchu na výstupu z trysky:

$$c = \sqrt{\kappa \cdot r \cdot T_{\text{krit}}} = \sqrt{1,4 \cdot 287,1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 244,34 \text{ K}} = 313,38 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (11)$$

Hmotností průtok vzduchu tryskou:

$$\dot{m} = \rho_{\text{krit}} \cdot c \cdot A = \frac{\rho_{\text{krit}} \cdot c \cdot \pi \cdot d_t^2}{4}$$

$$\dot{m} = \frac{1}{4} \cdot 11,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 313,38 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \pi \cdot (0,002 \text{ m})^2 \cdot 3600 = 39,97 \frac{\text{kg}}{\text{hod}} \quad (12)$$

Do prostoru stroje je dle rovnice (12) tryskou přivedeno přibližně 40 kg asi-
stenčního plynu (vzduchu) za hodinu.

6 Volba filtračního zařízení

Laserový stroj je v současné době v provozu přibližně pět hodin týdně. Odsávací zařízení musí běžet po celou dobu práce stroje, takže i ono by pracovalo poměrně krátkou dobu. Spolu s laserovým strojem není potřeba odsávat žádné další podobné zařízení. Z těchto důvodů stačí k odsávání a filtrování škodlivin malá odsávací jednotka s pasivními filtry, které se vždy po skončení své životnosti vymění za nové. Lze použít i zařízení s filtry čistitelnými, které by se ale vzhledem k pořizovací ceně a potřebné době provozu nemuselo finančně vyplatit.

V laboratoři je již umístěno odsávací a filtrační zařízení AD Oracle. Tato mobilní odsávací jednotka by měla dle výrobce disponovat objemovým průtokem $380 \text{ m}^3/\text{hod}$. V porovnání s výsledkem kapacitních propočtů je toto množství nižší než množství potřebné. Vhodnou konstrukcí sacích přípravků nebo úpravou stroje však lze s potřebnou účinností odsávání toto zařízení použít. Druhou možností by bylo pořízení výkonnějšího zařízení, které bude potřebnou kapacitou již disponovat. V této práci se autor zabývá konstrukčními návrhy sacích přípravků pro odtah škodlivin s použitím odsávací jednotky AD Oracle.

6.1 Určení parametrů jednotky AD Oracle

Objemový průtok jednotkou AD Oracle by při podtlaku $p_p = 9\,600 \text{ Pa}$ a otvoru o průměru 75 mm měl být $380 \text{ m}^3/\text{hod}$. Tyto hodnoty jsou předepsány pro vstupní otvor zařízení, tudíž budou v sacím nástavci nižší v závislosti na délce potrubí, druhu a množství tvarových kusů potrubí. Pro přibližnou představu o velikosti hmotnostního průtoku je však lze použít. Jelikož nelze zjistit skutečné hodnoty, je pro výpočet použit idealizovaný vzduch o teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Ve skutečnosti se ovšem ve vzduchu budou nacházet příměsi škodlivin, které ovlivní hustotu odsávané vzdušiny.

Průřez potrubí se ve vzduchotechnice určuje z požadovaného průtoku a zvolené rychlosti proudu vzdušiny. [30] Zde je počítána rychlost proudu vzdušiny, jelikož průřez vstupního otvoru a průtok jsou dány výrobcem odsávacího zařízení. Ve výpočtu není zahrnut potrubní rozvod, ale jen samotný vstupní otvor odsávacího zařízení.

Hustota odsávané vzdušiny:

$$p = \rho \cdot r \cdot T \Rightarrow \rho = \frac{p_0 - p_p}{T \cdot r} = \frac{101\,325\text{ Pa} - 9600\text{ Pa}}{(273,15 + 20)\text{ K} \cdot 287,1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 1,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (13)$$

Hmotnostní tok odsávané vzdušiny:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = 1,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 380 \frac{\text{m}^3}{\text{hod}} = 414,14 \frac{\text{kg}}{\text{hod}} \quad (14)$$

Přibližná rychlost proudu vzdušiny na vstupu do jednotky:

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho \cdot c \cdot A = \frac{\rho \cdot c \cdot \pi \cdot d^2}{4} \\ \Rightarrow c &= \frac{4 \cdot \dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 414,14 \frac{\text{kg}}{\text{hod}}}{1,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (0,075\text{ m})^2 \cdot 3600} \approx 24 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned} \quad (15)$$

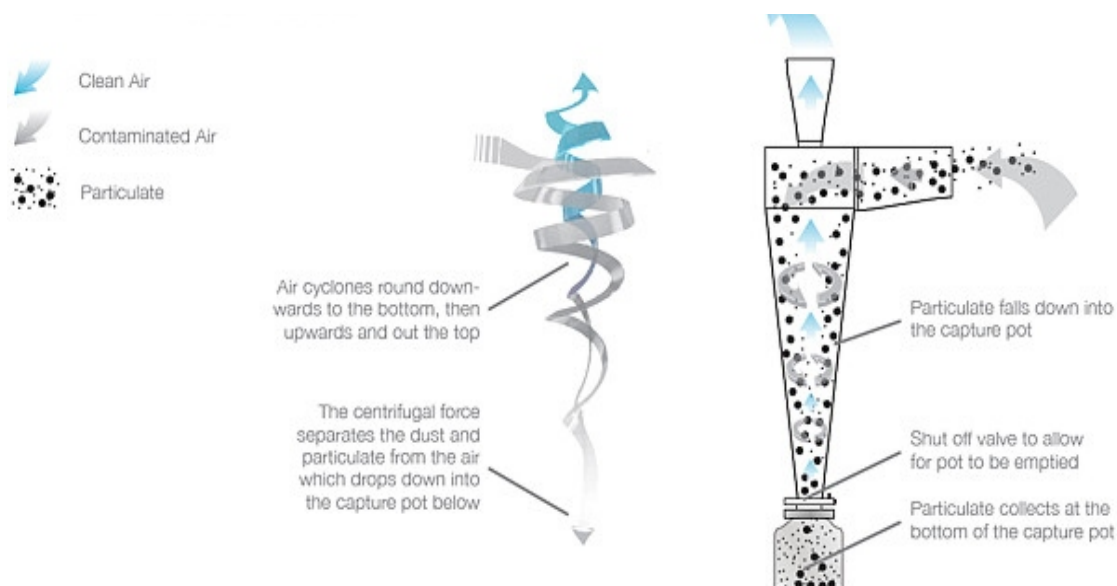
Z výpočtu (14) je patrné, že hmotnostní průtok odsávaného vzduchu je přibližně desetkrát větší než průtok vzduchu přiváděného tryskou. Ve stroji tedy vznikne mírný podtlak a mezerami v krytování se bude samovolně přisávat okolní vzduch, aby byla udržena bilance mezi odsávaným a přiváděným množstvím vzduchu. Z výpočtu rychlosti proudu vzdušiny na vstupu do jednotky (15) plyne, že by v jednoduchém a krátkém potrubí mělo být dosaženo dostatečné rychlosti i pro odvod suchých dřevěných třísek.

6.2 Připojitelná zařízení

Při řezání dřevotřískových desek jsou vedlejším produktem suché třísky, které je potřeba z místa řezu odvádět. Rychlost proudu vzdušiny pro odvod třísek by dle tab. 1 měla v potrubí dosahovat hodnoty alespoň 16 m/s.

Jednotkou AD Oracle nasávaná kontaminovaná vzdušina ztrácí při vstupu do zařízení rychlost, tudíž těžší částice ani nestačí vstoupit do předfiltru a rovnou vlivem své hmotnosti padají do sběrné nádoby. Odsáváním třísek, jejichž velikost by však byla neúměrně větší oproti částicím prachu a dýmu, a jejich koncentrace ve vzdušnině rovněž veliká, by se předfiltr i tak zanášel a vyžadoval by dřívější výměnu. Řešením by mohl být odstředivý separátor těžších částic, který se připojuje před odsávací jednotku a nevyžaduje žádné další napájení. Separátor BOFA C5 CYCLONE neobsahuje žádný filtr,

který by se zanášel. Jeho provoz je, až na vyprazdňování sběrné nádoby, bezúdržbový. [22]



Obr. 6.1: Princip funkce odstředivého separátoru BOFA C5 Cyclone [22]

Jednotka AD Oracle není nijak chráněna proti nasátí jisker, které vznikají při procesu řezání. Ty by mohly způsobit poškození filtrů nebo i požár zařízení. Před odsávací jednotku je proto možné připojit zařízení ke zhášení jisker. Jedním takovým může být BOFA ILF Spark Arestor. [22]



Obr. 6.2: Zařízení ke zhášení jisker BOFA ILF Spark Arestor [22]

7 Konstrukční návrhy odsávání

V této práci budou popsány 3 konstrukčně odlišné přístupy k odsávání škodlivin z prostoru stroje. Všechny návrhy jsou optimalizovány pro použití s jednotkou AD Oracle. Konstrukční návrhy jsou provedeny v softwaru Creo Parametric 2.0 se školní licencí. Normalizované součásti jsou vkládány z knihovny ProStandards. V návrzích je vždy jako základ použita upravená sestava laserového stroje z [4]. Trojrozměrné CAD modely pneumatických pohonů jsou staženy z internetového katalogu firmy Festo [31]. Z internetového katalogu společnosti Item [32] jsou staženy některé další komponenty.

7.1 Odsávání zpod roštu

Škodliviny by měly být zachytávány nejlépe ve směru jejich pohybu, u laserového stroje to znamená umístit sací přípravek pod pracovní rošt stroje. Tento způsob odsávání nemůže být realizován bez přestavby současné konstrukce stroje. Stroj nebo jeho rošt je potřeba vyzdvihnout, aby bylo možné pod rošt umístit odsávací přípravek.

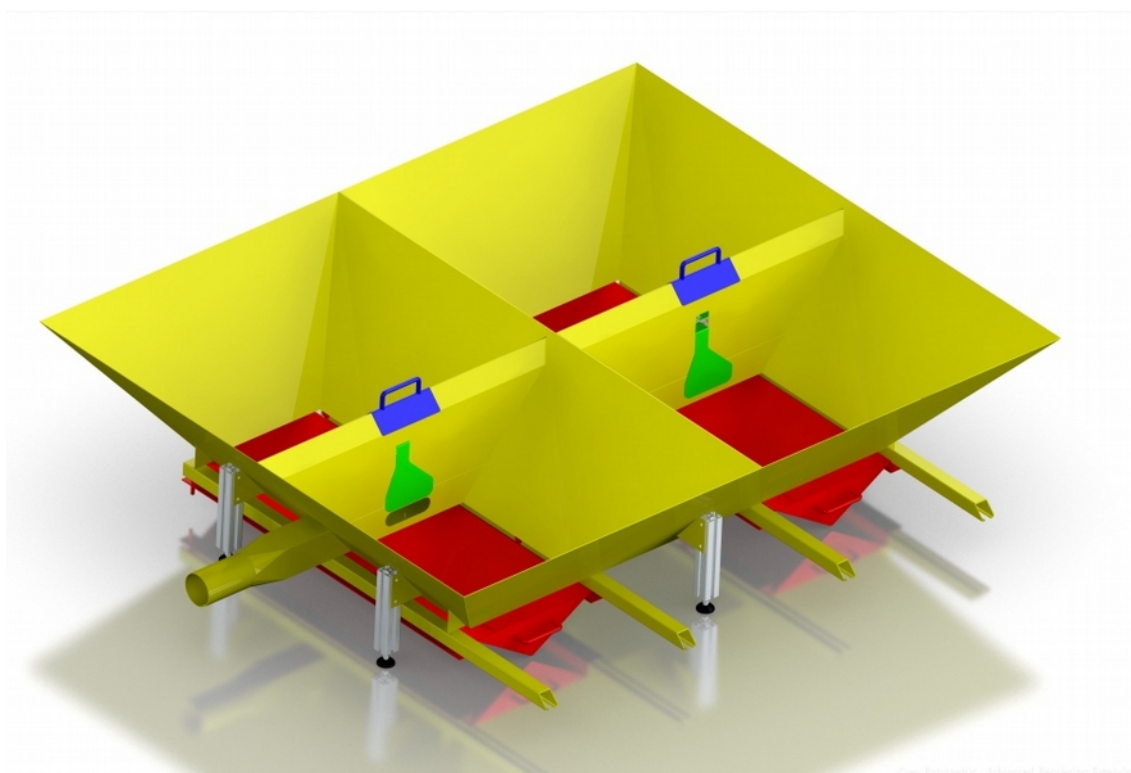
V tomto návrhu je většina rámové konstrukce pozměněna. Zachovány zůstávají profily nesoucí lineární jednotky a profily v zadní části stroje. Místo svisle umístěných rohových profilů délky 590 mm jsou použity profily dlouhé 990 mm. Lineární jednotky a rošt jsou tedy zvednuty o rovných 400 mm. Jeden svislý a dva šikmé profily umístěné v každé z bočnic stroje jsou nahrazeny jedním párem šikmých profilů. To by mělo zajistit dostatečnou tuhost rámové konstrukce. Vodorovné profily v přední a zadní části stroje nesoucí rošt zůstávají zachovány, poloha roštu vůči lineárním jednotkám se nemění. Rošt je ale navíc ve střední části stroje podpírán namísto jednoho hliníkového profilu dvěma ocelovými profily tvaru U, aby se co nejvíce eliminoval propal materiálu a odraz paprsku. Vodorovné profily v přední části stroje jsou vyztuženy krátkými šikmými profily.

Odvod škodlivin zpod roštu je zajištěn svařovanou plechovou konstrukcí. Obvod konstrukce je tvořen čtyřmi plechy tvaru rovnoramenného lichoběžníku. Ty mají ve dvojicích odlišné délkové rozměry. Plechy jsou po kratších stranách svařeny a při pohledu shora tvoří obdélník. Kratší plechy jsou ve svých středech spojeny jedním úzkým plechem, nad kterým jsou dále postupně navařeny dva ohýbané plechy tvořící dva tune-

ly. Tunely jsou ve středu konstrukce spojeny s delšími obvodovými plechy jedním ohnutým plechem na každé straně. Tím je sací přípravek rozdělen na čtyři sekce. Naklonění plechů v konstrukci napomáhá k soustředění padající strusky a materiálu na malou plochu sběrné nádoby a zmenšuje odsávaný objem v sekci.

Spodní tunel je určen pro odsávanou vzdušninu, ve vrchním tunelu jsou umístěny dvojčinné pneumatické válce a rozvod tlakového vzduchu. Posuvové desky válců jsou opatřeny plechovými klapkami, které otevírají nebo uzavírají otvory ve spodním tunelu. Otvory jsou v tunelu čtyři, jeden pro každou sekci. Pneumatické válce jsou v tunelu upevněny po dvojicích na frézované desce. V případě poruchy je možné desku s válci demontovat a vyjmout skrze otvory v horní části vrchního tunelu. Každý otvor je při řezání zakryt plechovým dílem s madlem.

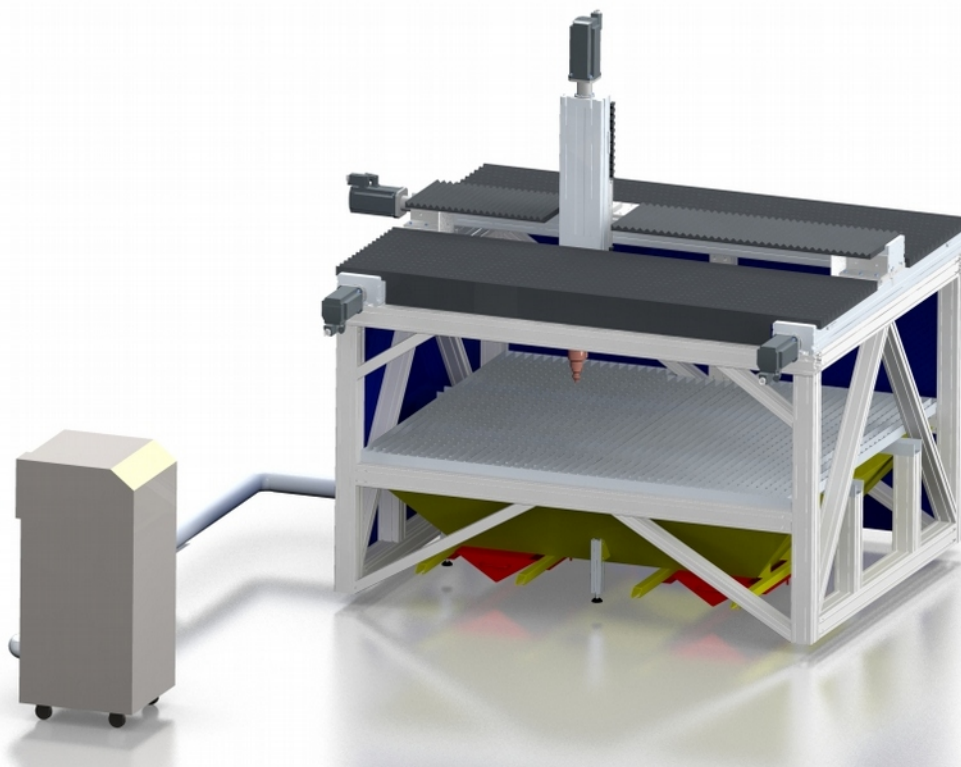
O sběr strusky a malých kusů řezaného materiálu se starají dvě sběrné nádoby. Nádoby se od vrchní sběrné plochy směrem dolů zužují. Správné polohy nádob pod sekci a jednoduché vyjímatelnosti je dosaženo uchycením nádob ke svařované konstrukci pomocí závěsných kladek a závěsných drah. Každá nádoba zajišťuje svod pro dvě sekce a je opatřena dvěma madly.



Obr. 7.1: Sestava odsávací vany

Připojení kruhového potrubního rozvodu ke čtvercovému tunelu je řešeno tvarovým kusem, který převádí kruhový průřez na průřez čtvercový. Vysunutá klapka netvoří překážku proudící vzdušnině. Vstupní otvor do tunelu má tvar těsného pera a jeho plocha přibližně odpovídá ploše průřezu kruhového potrubí. Vždy je otevřen pouze jeden sací otvor a to v té sekci, nad kterou se nachází řezací hlava. Řízení otevírání a zavírání sacích otvorů zajišťuje podprogram řídicího systému Sinumerik. Pneumatický rozvod se skládá ze čtyř dvojčinných válců, čtyř dvoupolohových pěticestných elektromagneticky řízených ventilů a jednosměrných škrťacích ventilů. Ventily a pneumatické válce o zdvihu 40 mm s integrovaným kluzným vedením jsou od firmy Festo. Konstrukci nese šestice hliníkových profilů se stavitelnými dorazy pro vyvážení. Celá tato konstrukce, která se umístí pod rošt stroje váží cca 72 kg. Pneumatické ventily mohou být umístěny z vnější strany svařované konstrukce na tunelu pro odvod vzdušninu nebo mimo stroj.

Sací potrubí je ze stroje vyvedeno na levé straně tak, aby délka potrubí od odsávací jednotky byla co nejmenší. Sestavený stroj je po svém obvodu krytován. Zezadu a po stranách celistvými panely, zepředu dvěma odnímatelnými panely pro prostor se sběrnými nádobami a pracovní prostor stroje.



Obr. 7.2: Návrh odsávání stroje zpod roštu

Odsávání zpod roštu stroje je při operacích řezání nejúčinnější metodou odvodu škodlivin z prostoru stroje a zamezení jejich unikání do okolí. Při gravírování rozměrného materiálu překrývajících odsávanou sekci, kdy nedochází k propalu materiálu a škodliviny se proudem asistenčního plynu nedostávají pod rošt stroje, by nemuselo docházet k efektivnímu odtahu škodlivin. Pro realizaci tohoto návrhu je nutné provést poměrně rozsáhlou úpravu konstrukce stroje a vyrobit spoustu dodatečných částí. To znamená vyrobit svařenec vany, uzavírací klapky, dvě sběrné nádoby a dále zakoupit hliníkové profily, závěsné kladky a dráhy, stavitelné nohy pro vanu, krycí panely a pneumatické prvky (4× dvojčinný válec, 4× dvoupolohový pěticestný ventil, 8× jednosměrný škrťací ventil). Konstrukci laserového stroje by bylo pro přestavbu pravděpodobně nutné celou rozebrat.

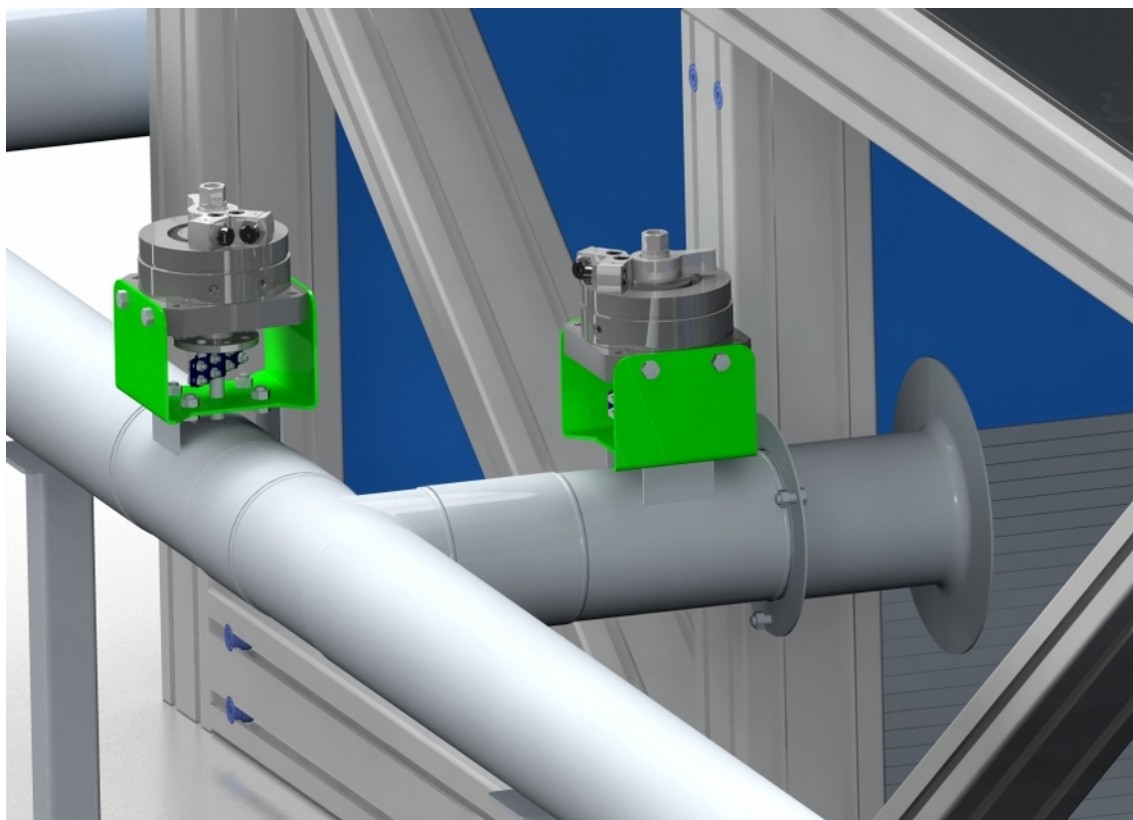
7.2 Odsávání z boku stroje

Odsávání škodlivin z prostoru stroje může být realizováno skrze otvory v bocích stroje. Takovýto způsob odsávání eliminuje nutnost zasahovat do konstrukce stroje. Již dopředu je důležité vědět, že tento způsob odsávání nebude schopen zajistit z důvodu velké pracovní plochy stroje odsátí těžších částic jako jsou dřevěné třísky. K návrhu odsávání ostatních škodlivin lze již dobře použít kapacitní výpočty uvedené výše. Jednotka AD Oracle ovšem nedisponuje potřebným výkonem pro odsávání celého prostoru stroje. Stejně jako v prvním návrhu je tedy nutné rozdělit prostor stroje na sekce a odsávat vždy jen tu sekci, ve které se nachází řezací hlava stroje.

Pro účinné odsávání škodlivin a zároveň minimální množství práce při výrobě a montáži sacího přípravku je v tomto návrhu prostor stroje rozdělen do tří sekcí. Škodliviny jsou z každé sekce jednotlivě odsávány jedním kruhovým sacím otvorem. Kruhový sací otvor v porovnání s jinými tvary otvorů vykazuje menší propad rychlosti proudu vzdušnin se zvětšující se vzdáleností od otvoru. Aby byl propad rychlosti ještě menší, je vhodné nasávací otvor osadit přírubou. Jedna z možností je jako přírubu použít krycí panel. V tomto případě by panel byl tzv. nekonečnou přírubou a montáž ke stroji by byla jednoduchá. Krycí panely ale budou upevněny na stroj zvenčí, tudíž mezi panelem a pracovním prostorem stroje je ještě 80 mm široká rámová konstrukce stroje. Účinnější odsávání lze docílit prostrčením kruhového odsávacího potrubí skrze otvor v krycím panelu a osazením konce potrubí sacím nástavcem s dostatečně di-

menzovanou přírubou. Z literatury plyne, že u kruhových otvorů s přírubou o průměru větší než 1,5 násobku průměru sacího otvoru se již sací rychlost dále nezvyšuje. [1]

Odsávací potrubí (vedlejší větve) se sacím nástavcem je vyvedeno skrze zadní panel a oba panely boční. Toto uspořádání nijak neomezuje práci na laserovém stroji. Potrubní rozvod je sestaven ze vzduchotechnického potrubí o průměru 80 mm. Pro uzavírání průtoku vzdušniny se ve vzduchotechnice užívá škrtících nebo redukčních (těsných) klapek. Ty mohou být ovládány ručně nebo elektrickými servomotory. Čas přestavění klapky z polohy otevřeno do polohy zavřeno nebo naopak se při použití servomotoru pohybuje mezi 75 až 90 sekundami. To je ovšem při potřebě rychlého a častého přestavění klapky při přejezdu řezací hlavy mezi sekcemi nedostačující. Proto je v tomto návrhu použito pneumatických kyvných pohonů. Ty dokáží změnit polohu klapky za necelé dvě sekundy. Aby však při takto krátkém čase přestavění nedošlo k poškození těsnění, které je upevněno po obvodu klapky, je vhodné pomocí škrtících ventilů mírně zpomalit chod kyvného pohonu.

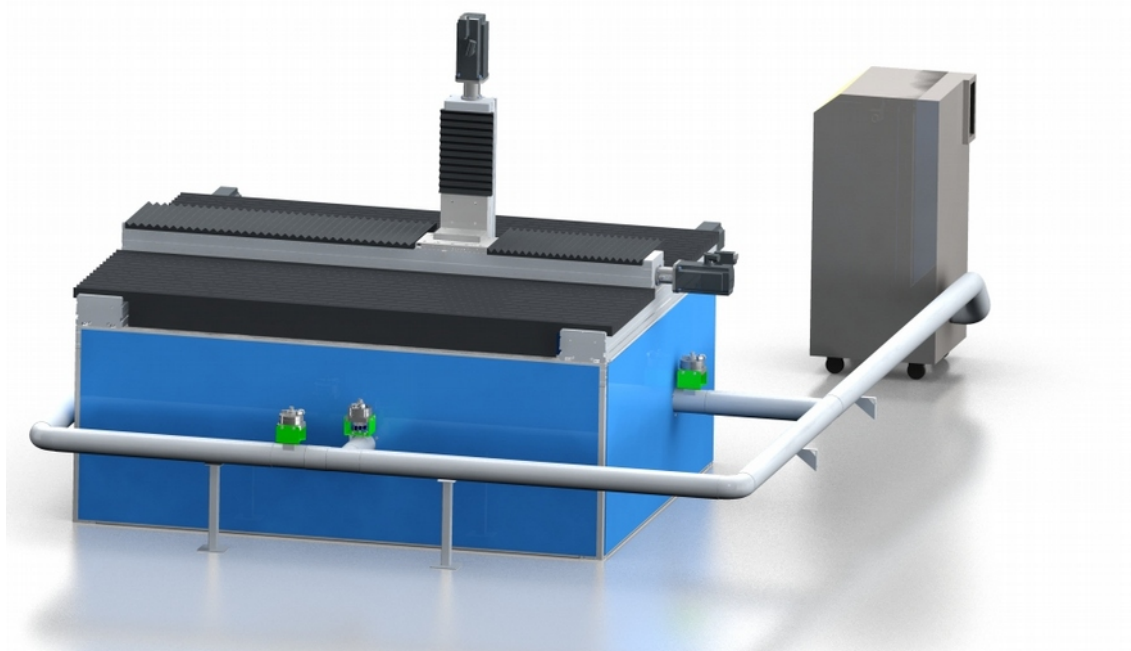


Obr. 7.3: Detail sacího ústrojí a pneumatických kyvných pohonů

Těsné klapky jsou ovládány pomocí svěrného spoje realizovaného mezi stahovací objímkou servomotoru a kulatým čepem klapky. Použité kyvné pohony firmy Festo

mohou disponovat přírubou pro upevnění k manipulovanému stroji. Ke spojení pneumatického pohonu s čepem klapky je použito dvou příčně umístěných a do příruby zasunutých kulatých čepů a dvou vytvarovaných plechových dílů. Ty obepínají oba čepy a čep klapky. Plechové díly jsou k sobě přitaženy několika šroubovými spoji, jejichž předpětí realizuje svěrný spoj zajišťující přenos krouticího momentu. Kyvný pohon je k těsné klapce připevněn plechovým výliskem.

Vzduchotechnické potrubí vedoucí od odsávací jednotky je pomocí pravoúhlých kolen stáčeno kolem obvodu stroje tak, aby jedním hlavním odvodním potrubím bylo zajištěno odsávání ze všech sekcí. O dělení potrubí do sekcí se starají dvě jednostranné odbočky. Ty jsou napojeny na hlavní větev potrubí přímo proti otvorům v krycích panelech. Díky tomu jsou vedlejší větve potrubí jen tak dlouhé, aby se mezi odbočku a krycí panely vešly těsné klapky. Poslední těsná klapka směrem od odsávací jednotky je umístěna hned za druhou jednostrannou odbočkou. Tím je zajištěna nižší prostorová náročnost potrubí. Část potrubí vedoucí od odsávací jednotky podél stěny laboratoře je podepřena dvěma do stěny uchycenými konzolami. Potrubí umístěné za strojem je z důvodu nerovnoměrnosti stěny podepřeno dvěma stojany. Samotné sací nástavce jsou pomocí navařeného mezikusu připevněny k panelům pomocí šroubových spojů.



Obr. 7.4: Návrh odsávání stroje skrze boční panely

Potrubí se sacími nástavci je situováno do poloviční výšky prostoru stroje, aby bylo možné efektivně zachytávat vznikající škodliviny a nedocházelo k jejich úniku skrze mezery mezi krycími měchy.

Odsávání z boků stroje by mělo zajistit efektivní odvod vznikajících škodlivin, a to jak při dělení, tak i gravírování, neboť sacími nástavci jsou zachytávány všechny stoupající škodliviny. Pouze těžší částice nebudou odsáty. Ty by bylo nutné jednou za čas odstranit dodatečným čištěním. Tento způsob odsávání škodlivin je poměrně jednoduše realizovatelný. Vzduchotechnické potrubí a tvarové prvky (4× koleno 90°, 1× koleno 45°, 2× jednostranná odbočka, 3× těsná klapka) – volené dle [33], pneumatické prvky (3× kyvný pohon, 3× dvupolohový pěticestný ventil, 6× jednosměrný škrtící ventil) a spojovací materiál lze jednoduše koupit. Nutné je vyrobit pouze stojany a konzoly pro podepření, sací příruby a příruby pro uchycení potrubí k panelům a plechové díly ke kyvným pohonům. Do krycích panelů je nutno před montáží vytvořit otvory pro potrubí a šroubové spoje. Samotná montáž odsávacího přípravku ke stroji je jednoduchá a vyžaduje pouze mírné posunutí stroje směrem ke středu laboratoře.

7.3 Odsávání od řezací hlavy

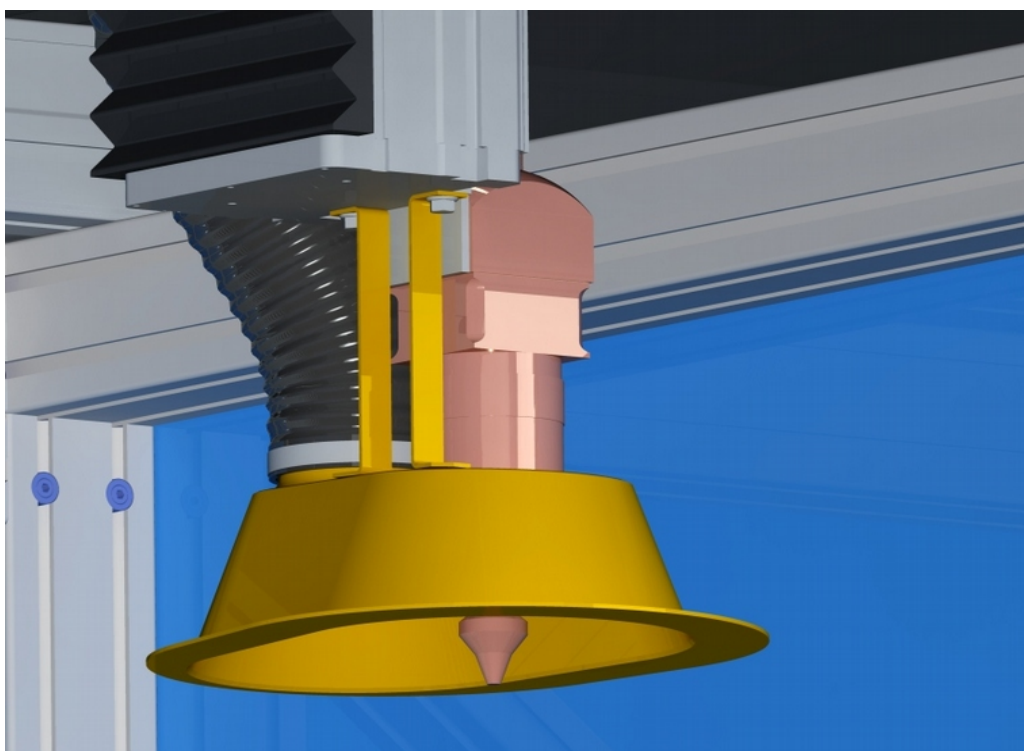
Z hlediska náročnosti montáže a pořizovací ceny se jako výhodná alternativa jeví způsob odsávání přímo od řezací hlavy stroje. Sací nástavec překrývající řezací hlavu by odváděl škodliviny přímo z místa jejich vzniku. Díky tomu by výkon odsávací jednotky AD Oracle měl dostávat i pro odsávání suchých dřevěných třísek. Rozměry sacího nástavce je nutno přizpůsobit velikosti prostoru mezi vnitřními okraji konstrukce stroje a krajními polohami lineárních jednotek stroje. Sací nástavec by měl mít nízkou hmotnost, aby co nejméně ovlivňoval dynamické vlastnosti pohybujících se lineárních os a tím výslednou přesnost výrobku. To je důležité řešit z důvodu velkého pracovního vysunutí lineární jednotky osy Z.

Odtah škodlivin od sacího nástavce je kvůli požadavku co nejnižší hmotnosti řešen pomocí polymerové flexibilní hadice. Hadici je z prostoru stroje možné vyvést pouze podél lineární jednotky osy Z. K této jednotce pomocí objímek upevněná hadice je dále vedena nad prostor stroje a pomocí dvou ze stropu zavěšených vyvažovačů nesena až ke zdi laboratoře. Zde je již napojena na potrubní rozvod vedoucí k odsávací jednotce. K tomuto účelu dobře poslouží v laboratoři již umístěný potrubní rozvod z PVC

s průměrem 75 mm. Vyvažovače s nastavitelnou silou tahu umožní hadici volně se pohybovat podle polohy lineárních jednotek stroje.

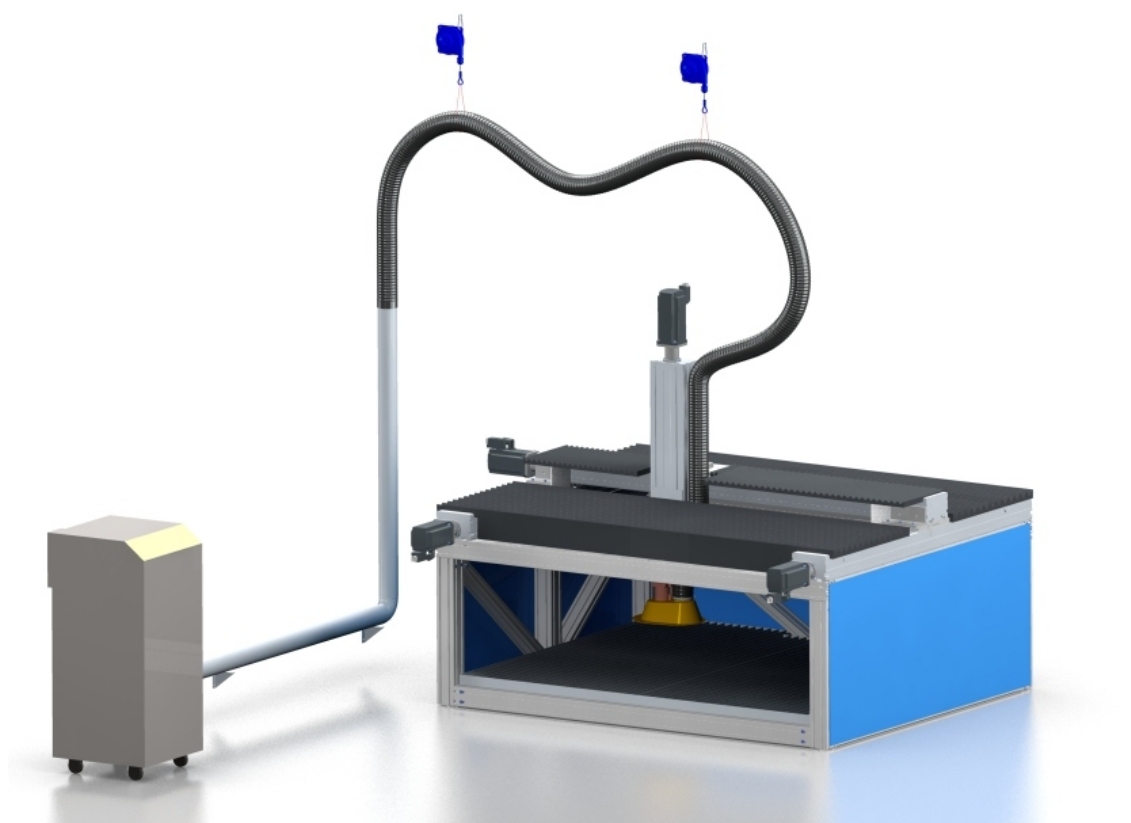
Hadice je pro co nejsnazší montáž upevněna k pravé straně lineární osy Z. Na druhé straně jednotky jsou již upevněna pohybová čidla. Mezi pravým okrajem lineární osy Z a měchem zakrývajícím jednotku osy X je volný prostor o délce přibližně 40 mm. To pro hadici jejíž vnější průměr činí cca. 90 mm nestačí. Krycí měch tedy musí být posunut o 50 mm. Nekryté místo lineární jednotky osy X je nutné překrýt měchem o menší šířce. Touto montáží ovšem dojde k mírnému omezení pohybu lineární osy X, která nebude moci dojet až do pravé koncové polohy.

Hadice je svedena až k řezací hlavě, kde je objímkou uchycena k plechovému sacímu nástavci. Sací nástavec se od výusti do hadice směrem k řezací hlavě rozšiřuje, aby pokryl větší prostor kolem vznikajících škodlivin. Řezací hlava je prostrčena otvorem v nástavci, který supluje její tvar. Příruba s proměnnou šířkou je k sacímu nástavci přivařena. Příruba je nejširší v okolí řezací hlavy, kde je potřeba dosáhnout co nejvyšší rychlosti proudu vzdušniny. Nástavec je uchycen pomocí dvou navařených plechových dílů ke spodní straně lineární jednotky osy Z, kde jsou plechové díly přitaženy šroubovými spoji. Hmotnost celého sacího nástavce činí 900 gramů.



Obr. 7.5: Detail sacího nástavce obklopujícího řezací hlavu

Mezi přednosti odsávání přímo od řezací hlavy patří jednoduchost provedení a montáže, minimální zásah do konstrukce stroje a minimální finanční nároky. Naopak mezi nevýhody lze zařadit omezení (avšak malé) pohybu stroje v ose X a větší zatížení pohonu osy Z. Při gravírování, kdy spaliny nepronikají pod materiál, ale šíří se nad řezaným materiálem, bude sací nástavec účinný. Naopak při dělení materiálů, a to hlavně větších rozměrů, nebude schopen zachytit zpod řezaného materiálu stoupající škodliviny. Asistenční plyn proudící z řezací hlavy bude nástavcem taktéž nasáván, odsávací jednotka by však svým výkonem neměla strhávat asistenční plyn ještě před jeho stykem s řezaným materiálem.



Obr. 7.6: Návrh odsávání stroje přímo od řezací hlavy

8 Závěr

Na základě analýzy vstupních parametrů, mezi které patří druh vznikajících škodlivin, konstrukce, povaha, velikost a doba provozu stroje, způsoby odsávání a filtrace v průmyslu, a v neposlední řadě také již dostupné technické zařízení, byla vybrána odsávací jednotka a byly vyhotoveny tři konstrukční návrhy na odtah škodlivin z prostoru stroje. Jako vhodná odsávací jednotka byla zvolena již pořízená a plně funkční jednotka s pasivními filtry AD Oracle společnosti BOFA. Ta plně pokryje nároky na kvalitní filtraci škodlivin a při současném provozu laserového stroje nebude životnost jejích filtrů limitující. Konstrukční návrhy odsávacích přípravků byly uzpůsobeny pro nižší odsávací výkon jednotky.

V prvním návrhu je konstrukce stroje pozměněna a vyvýšena, do spodní části stroje je umístěna svařovaná vana, která je rozdělena do čtyř sekcí. Odsávaná je vždy jen ta sekce, nad kterou se nachází řezací hlava. O řízení otevírání a zavírání otvorů jednotlivých sekcí se stará pneumatický rozvod. Takovýto způsob odtahu škodlivin od řezacích laserových strojů je v průmyslu nejčastější a jeho výhodnost spočívá v odsávání škodlivin ve směru jejich proudění. Mezi nevýhody tohoto řešení patří náročná přestavba stroje, nemalé finanční náklady na stavbu a malá efektivita odtahu při gravírování.

Druhý návrh je založen opět na sekčním odtahu škodlivin z prostoru stroje, tentokrát však skrze boky stroje. Potrubní rozvod je složen z běžných vzduchotechnických potrubí a tvarových prvků. Sekční odsávání je řízeno pneumatickým rozvodem ovládaným z řídicího systému Sinumerik. Stroj by nevyžadoval žádnou přestavbu, krycí panely by se instalovaly společně s realizací návrhu. Tento návrh je univerzálním řešením pro účinné odsávání operací dělení a gravírování.

Snahou posledního návrhu je odsávat škodliviny přímo od řezací hlavy stroje. O to se stará přípravek, který řezací hlavu překrývá. K odsávání je možné použít stávající potrubní rozvod. Hadice je vedena k nástavci podél lineární jednotky osy Z a lehce omezuje dojezd osy do pravé krajní polohy stroje. Výhodou řešení je jeho jednoduchost, proveditelnost a pořizovací náklady. Nejlepší uplatnění nalezne při odsávání gravírovacích operací.

Z důvodů náročné přestavby, menší efektivitě odtahu škodlivin při gravírování a v porovnání s ostatními návrhy složitá konstrukce, není vítězným návrhem návrh

první, zajišťující odvod škodlivin zpod roštu stroje. Místo něj je volen návrh druhý, který odsává škodliviny sekčně z boků stroje. Tímto návrhem sice nelze zajistit naprosto čistý prostor stroje a ergonomie při obsluze stroje se taktéž nezlepší. Na druhou stranu však bude při nezanedbatelně jednodušší montáži přípravku zajištěn kvalitní odtah škodlivin, při všech prováděných operacích, vyhovující daným směrnícím. Třetí návrh se nestal návrhem vítězným z důvodu malé účinnosti při operacích řezání.

Seznam použitých zdrojů

- [1] NOVÝ, R. *Technika prostředí*. 1. vyd. Praha: ČVUT, Strojní fakulta, 2000. 265 s. ISBN 80-01-02108-4.
- [2] DRKAL, F., M. LAIN, J. SCHWARZER a V. ZMRHAL. [online]. Praha. 2009. [cit. 2016-01-30]. Dostupnost z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/VZT/Vzduchotechnika.pdf
- [3] ČSN EN 14799 (12 5000). *Filtry pro čištění vzduchu – Terminologie*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 36 s. Třídící znak: 125000.
- [4] TAUCHMAN, J. *Konstrukce prototypu CNC stroje pro laserové řezání plechů: Design of CNC prototype machine for metal sheets laser cutting*. [CD-ROM] Liberec, 2012. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní.
- [5] BOFA International Ltd, *BOFA International™ - Fume Extraction and Filtration Technology*. [online]. © 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupnost z: <http://www.bofa.co.uk/>
- [6] KRATOCHVÍL, D. Odsávání a filtrace u obráběcích strojů. *MM Průmyslové spektrum*. Praha, 2015, č. 4, s. 24-26. ISSN 1212-2572.
- [7] WEMAC spol. s.r.o. Odsávání a filtrace vzduchu v průmyslu - levně a účinně. *Technika a trh*. Brno, 2008, č. 9, s. 78-79. ISSN 1210-5902.
- [8] JANEČEK, O. Odsávání a filtrace technologie termického dělení materiálu. *MM Průmyslové spektrum*. Praha, 2004, č. 5, s. 67. ISSN 1212-2572.
- [9] ČESKO. Nařízení vlády č. 93/2012 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb. 2012, částka 37, příloha č. 2. [online] [cit. 2016-06-15] Dostupnost z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=93&r=2012>.
- [10] GUZIUR, P. Zdravotní rizika při svařování. *MM Průmyslové spektrum*. Praha, 2005, č. 10, s. 32-33. ISSN 1212-2572.
- [11] Vanad 2000 a.s. *CNC řezací stroje, prodej cnc strojů Vanad 2000*. [online]. © 2016 [cit. 2016-03-13]. Dostupnost z: <http://www.vanad.cz/>
- [12] KEMPER GmbH. *Odsávání svařovacích dýmů s odsávacím zařízením KEMPER*. [online]. [cit. 2016-04-24]. Dostupnost z: <http://www.kemper.eu/>
- [13] WEMAC spol. s.r.o. *Odsávání a filtrace olejových aerosolů, mlhovin a prachu*. [online]. © 2012 [cit. 2016-03-25]. Dostupnost z: <http://www.wemac.cz/>
- [14] VESELÝ, R. Zásady realizace systému odsávání a filtrace svařovacího aerosolu. In: *Facebook* [online]. 30. červen 2013 6:15. [cit. 2016-04-05] Dostupnost z: <https://www.facebook.com/notes/474346879317541/>
- [15] ČSN 12 7040. *Vzduchotechnická zařízení. Odsávání škodlivin od strojů a technických zařízení. Všeobecná ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1986. 16 s. Třídící znak: 127040.
- [16] KALENDA, L. a Z. NODL. Odsávací a filtrační systémy používané v kovoprůmyslu. *MM Průmyslové spektrum*. Praha, 2002, č. 10, s. 32-33. ISSN 1212-2572.

- [17] Nederman Holding AB. *Nederman - odsávání prachu, plynů a aerosolů*. [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupnost z: <http://www.nederman.cz/>
- [18] VESELÝ, R. a P. PAZDERA. *Identifikace nadměrných provozních nákladů při aplikaci odsávání a filtrace vzduchu*. [online]. [cit. 2016-04-08]. Dostupnost z: <http://www.cipres.cz/clanky-identifikace-nadmernych-provoznich-nakladu-pri-aplikaci-odsavani-a-filtrace-vzduchu.html>
- [19] KRATOCHVÍL, D. Jak zvolit princip filtrace. *MM Průmyslové spektrum*. Praha, 2015, č. 6, s. 76-78. ISSN 1212-2572.
- [20] Narran, s.r.o. *Mercury - NARRAN - laserová technika*. [online]. © 2013 [cit. 2016-03-14]. Dostupnost z: <http://www.narran.cz/mercury-609>
- [21] KRATOCHVÍL, D. Principy filtrace olejových a emulzních mlhovin. *MM Průmyslové spektrum*. Praha, 2005, č. 5, s. 68. ISSN 1212-2572.
- [22] ErgoPlan, s.r.o. *Odsavače zplodin*. [online]. © 2016 [cit. 2016-04-17]. Dostupnost z: <http://www.ergoplan.cz/eshop/category/test/>
- [23] MAŘATA, L. Sací a foukací systém pro obrábění. *MM Průmyslové spektrum*. Praha, 2004, č. 5, s. 54. ISSN 1212-2572.
- [24] KS Klima-service a.s. *KS Klima-Service: Vzduchové filtry a filtrační zařízení*. [online]. © 2002-2016 [cit. 2016-04-15]. Dostupnost z: <http://www.ksklimaservice.cz/>
- [25] KLIMAFIL PRAHA s.r.o.. *Sorpční filtry, záchyt plyných škodlivin*. [online]. © 2015 [cit. 2016-04-15]. Dostupnost z: <http://www.klimafil.cz/sorpcni-filtry.php>
- [26] ULT AG. *Extraction Filtration Systems for Air Purification - Laser Fume*. [online]. [cit. 2016-04-17]. Dostupnost z: <https://www.ult.de/en/products-and-services/process-solutions/laser-smoke.html>
- [27] TIGEMMA, spol. s r.o. *Filtrační zařízení, odsávací zařízení*. [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupnost z: <http://www.tigemma.cz/cz/kategorie/filtracni-a-odsavaci-zarizeni-tig-fsd.aspx>
- [28] DVOŘÁK, V. *Úvod do proudění stlačitelných tekutin*. (Přednáška pro předmět mechanika tekutin). [online]. Liberec. [cit. 2015-12-01]. Dostupnost z: <http://www.kez.tul.cz/cs/studenti/zobraz-predmet-obsah-prednasejici/56>
- [29] DVOŘÁK, V. *Izoentropické proudění*. (Přednáška pro předmět mechanika tekutin). [online]. Liberec. [cit. 2015-12-01]. Dostupnost z: <http://www.kez.tul.cz/cs/studenti/zobraz-predmet-obsah-prednasejici/56>
- [30] SZÉKYOVÁ, M., K. FERSTL, R. NOVÝ A Z. TICHÁ. *Větrání a klimatizace*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2006. 359 s. ISBN 80-8076-037-3.
- [31] Festo, s.r.o. *Výrobky*. [online]. © 2000-2010 [cit. 2016-05-20]. Dostupnost z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products/
- [32] item Industrietechnik GmbH. *Product Catalogue*. [online]. © 2016 [cit. 2016-05-05]. Dostupnost z: <http://product.item24.cz/en/home/products/product-catalogue.html>
- [33] UNIVENT CZ s.r.o. *Ventilátory, rekuperace, ventilace - UNIVENT s.r.o.* [online]. © 2006-2010 [cit. 2016-05-13]. Dostupnost z: <https://www.univent.cz/web/cs/>

Seznam příloh

A OBSAH PŘILOŽENÉHO CD.....	59
B KLASIFIKACE FILTRŮ.....	60
C SCHÉMATA PNEUMATICKÝCH OBVODŮ.....	61

A Obsah přiloženého CD

- text bakalářské práce
 - bakalarska_prace_2016_Jakub_Taich.pdf
 - kopie_zadani_bakalarska_prace_2016_Jakub_Taich.pdf
- ilustrace
 - fotografie stroje
 - renderované obrázky
- technická dokumentace – konstrukční návrhy
- katalogové listy

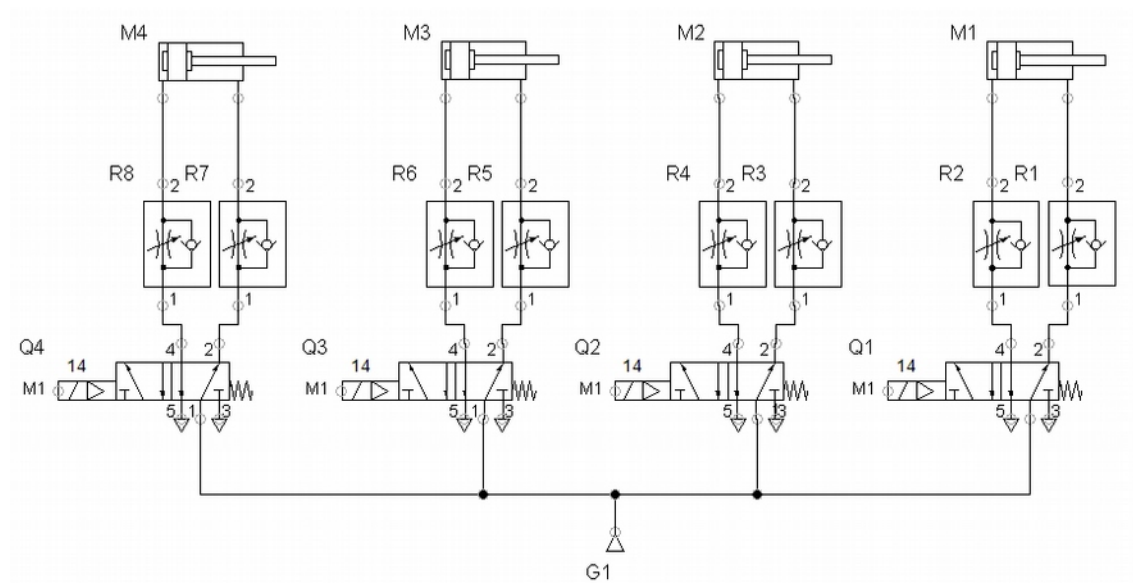
B Klasifikace filtrů

Tab. 2: Klasifikace filtrů [23]

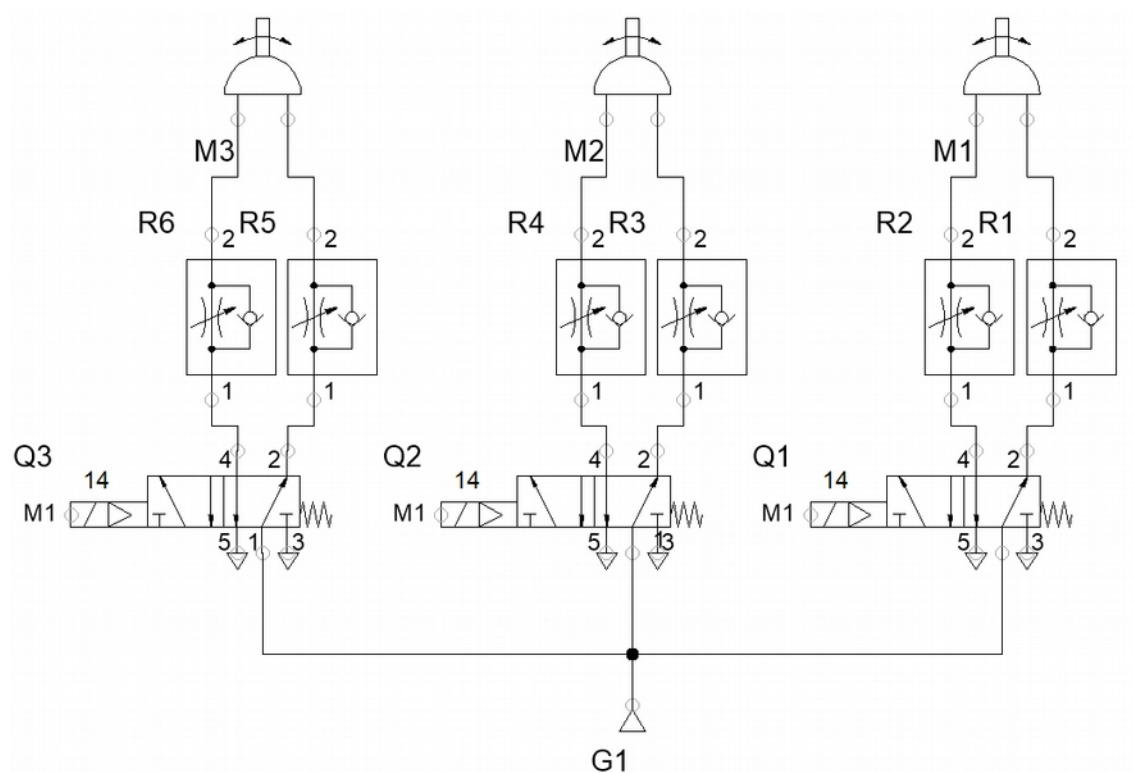
EN 779		Střední stupeň odlučivosti (Am) syntetického prachu (%)	Střední stupeň účinnosti (Em) částic 0,4 µm (%)	Minimální účinnost (M.E. u částic 0,4 µm (%))
Skupina filtrů	Třída filtrace			
Hrubý prach	G1	50 < Am < 65	–	–
	G2	65 < Am < 80	–	–
	G3	80 < Am < 90	–	–
	G4	90 < Am	–	–
Středně hrubý prach	M5	–	40 < Em < 60	–
	M6	–	60 < Em < 80	–
Jemný prach	F7	–	80 < Em < 90	35
	F8	–	90 < Em < 95	55
	F9	–	95 < Em	70

EN 1822		Celková hodnota pro MPPS částice (0.1–0.3 µm)		Integrální hodnota pro MPPS částice (0.1–0.3 µm)	
Skupina filtrů	Třída filtrace	Účinnost (%)	Průnik (%)	Účinnost (%)	Průnik (%)
Skupina E EPA	E 10	≥ 85	≤ 15	–	–
	E 11	≥ 95	≤ 5	–	–
	E 12	≥ 99.5	≤ 0.5	–	–
Skupina H HEPA	H13	≥ 99.95	≤ 0.05	≥ 99.75	≤ 0.25
	H 14	≥ 99.995	≤ 0.005	≥ 99.975	≤ 0.025
Skupina U ULPA	U 15	≥ 99.999 5	≤ 0.000 5	≥ 99.997 5	≤ 0.002 5
	U 16	≥ 99.999 95	≤ 0.000 05	≥ 99.999 75	≤ 0.000 25
	U 17	≥ 99.999 995	≤ 0.000 005	≥ 99.999 9	≤ 0.0001

C Schémata pneumatických obvodů



Obr. 8: Pneumatický obvod návrhu odsávání zpod roštu stroje



Obr. 9: Pneumatický obvod návrhu odsávání z boku stroje

Řídící vstupy 14 jsou napojeny na řídicí systém Siemens Sinumerik 840D.

Obvody jsou kresleny v programu FluidDraw S5 v Demo verzi.