



Návrh a realizace filtračního zařízení pro čerpání pájecího prášku Flux z plynného prostředí přečerpávacího zařízení

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil
Studijní obor: 3106R016 – Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Autor práce: Jaroslav Lachman
Vedoucí práce: Ing. Ondřej Novák, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering ■

Design and realisation filtration device for pumping brazing powder Flux from gaseous environment of pumping device

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil
Study branch: 3106R016 – Textile Technologies, Materials and Nanomaterials

Author: Jaroslav Lachman
Supervisor: Ing. Ondřej Novák, Ph.D.



Tento list nahradte
originálem zadání.

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:

Podpis:

Poděkování

Děkuji panu doktoru Novákovi za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady, trpělivost a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout a otestovat filtrační zařízení, která má sloužit k zabránění úniku pájecího prášku Flux. Rešeršní část je zaměřena na filtraci pevných částic z plynného prostředí, používanými materiály a způsoby testování filtračních vlastností. Dále se podrobně zabývá procesem přečerpávání pájecího prášku v provozu DENSO Manufacturing Czech s.r.o. a navržením možných postupů filtrování znečištěného vzduchu. Filtrační zařízení bude umístěno na zařízení pro čerpání zbytkového pájecího prášku z přečerpávané nádoby do doplňované nádoby. Filtrován je vzduch, který při přečerpávání vychází z doplňované nádoby, protože médium které bude unášet pájecí prášek je tlakový vzduch, který při vstupu do přečerpávané nádoby má tlak 6 barů. Pro tento účel budou vytvořeny koncepty zařízení zahrnující filtrační materiál a filtrační nádobu. Vybraný koncept filtrace bude realizován a následně prakticky ověřován. Získané výsledky testování budou prodiskutovány s ohledem na funkčnost a účinnost.

Hlavní přínos této práce spočívá v prostudování a návrhu filtračního zařízení, které by mělo filtrovat pevné částice pájecího prášku z plynného prostředí. Důsledkem bude zlepšení pracovních podmínek, kdy bude dosaženo čistšího prostředí v provozu DENSO Manufacturing Czech s.r.o. s určením životnosti filtru a případně mechanismu pro čištění filtru. Přínos praktické části spočívá v ověření vybraného konceptu a jeho zavedení do dalších procesů DENSO Manufacturing Czech s.r.o.

Klíčová slova: filtrační zařízení, filtrace, pájecí prášek Flux, filtrační nádoba, filtrační materiál.

Abstract

The aim of this work is propose and test filtration device, which function is prevention to leakage of brazing powder Flux. Research part is about filtration firm particles from gaseous environment, used materials and way of testing filtration properties. Farther this work is detailed engage about process pumping brazing powder in operation DENSO Manufacturing Czech s.r.o. and propose of possible going of filtration contaminated air. Filtration device will be placed on device for pumping residual brazing powder from first pumping barrel to second refilling barrel. Filtered is air which come out of first pumping barrel, because medium which will carry brazing powder is pressured air, which at come in to second refilling barrel have pressure 6 bars. Agree at previous points will be constitute concepts of filter which will include filtration material, filtration container. Selected concept will be realized and then practically verified. Gained results will be discussed with regarding on functionality and efficiency.

Main contribution this work is in study and proposal filtration device, which should be filtration firm particles of brazing powder from gas environment. Consequence will be improvement working conditions, when will be reach cleaner environment in operation DENSO Manufacturing Czech s.r.o. with determination of life time filter and alternatively mechanism of cleaning filter. Contribution of practice part is in certification of chosen concept and introduction to next work cycles DENSO Manufacturing Czech s.r.o.

Key words: filtration device, filtration, brazing powder Flux, filtration container, filtration material.

Obsah

Úvod.....	11
1 Rešeršní část	12
1.1 Filtrace vzdušnin.....	12
1.2 Rozdělení vzduchových filtrů podle konstrukce	14
1.3 Rozdělení vzduchových filtrů podle třídy filtrace	16
1.4 Hodnocení účinnosti vzduchových filtrů.....	17
1.5 Zdravotní rizika při vdechnutí pevných částic.....	20
2 Popis přečerpávacího zařízení a charakteristika pájecího prášku.....	21
3 Tvorba konceptů.....	24
3.1 Volba filtru a předfiltru.....	25
3.2 Orientace filtračního zařízení.....	26
3.2.1 Horizontální uložení	26
3.2.2 Vertikální uložení	27
3.2.3 Volba nejvhodnější orientace uložení.....	27
3.3 Návrh provedení přívodu vzduchu (filtračního zařízení)	28
3.3.1 Uložení s přímým vzduchovým přívodem.....	28
3.3.2 Uložení s rozšiřujícím se vzduchovým přívodem.....	28
3.3.3 Uložení s přímým na konci rozšířeným vzduchovým přívodem.....	29
3.3.4 Uložení se zužujícím se vzduchovým přívodem	30
3.3.5 Volba uložení filtračního zařízení.....	31
3.4 Návrh provedení spoje částí filtračního zařízení	31
3.4.1 Spojení pant a upínka.....	32
3.4.2 Spojení čtyřmi upínkami.....	32
3.4.3 Šroubové spojení.....	33
3.4.4 Závitové spojení.....	33
3.4.5 Volba spojení filtračního zařízení.....	34
3.5 Návrh spojení filtračního zařízení s víkem doplňované nádoby.....	35
3.5.1 Lepený spoj.....	35
3.5.2 Šroubový spoj	35
3.5.3 Svařený spoj.....	36
3.5.4 Kombinace šroubového spoje a těsnění.....	36

3.5.5	Tabulka výhod a nevýhod spojení zařízení s víkem doplňované nádoby...	36
3.5.6	Volba spojení zařízení s víkem doplňované nádoby	36
3.6	Volba výsledného konceptu.....	37
4	Experiment	38
4.1	Ověření velikosti částic.....	38
4.2	Stanovení účinnosti filtru.....	40
4.3	Realizace konceptu a experimentální ověření	42
5	Výsledky a diskuze.....	47
5.1	Návrh optimalizace	48
6	Závěr.....	49
	Použitá literatura	51
	Seznam obrázků.....	53
	Seznam tabulek	54
	Seznam grafů	55
	Přílohy.....	56

Seznam zkratek

Apod.	A podobně
Atd.	A tak dále
ASHRAE	American society of heating, refrigerating, air-conditioning Engineers; Americká společnost techniků pro vytápění, chlazení a klimatizaci
CBR	Chemical, biological, or radiological; Chemické, biologické nebo radio- aktivní
č.	číslo
DFT - 2	Dust filter tester, Práškové testovací zařízení filtrů
EPA	Efficient particulate air (filter), Účinný částicový filtr
HEPA	High-efficiency particulate air; Vysoce účinný vzduchový filtr
HDPE	High density polyetylen; Vysoko hustotní polyetylen
HVAC	Heating, ventilating and air conditioning; Ohřev, ventilace a klimatizace vzduchu
MERV	Minimum efficiency reporting value; Minimální účinnost uváděné hod noty
Např.	Například
min	Minuta
NaCl	Chlorid sodný
nm	Nanometr
obr.	Obrázek
OM	Optický mikroskop
PE	Polyetylen
PP	Polypropylen
PSE	Particle size efficiency; Účinnost v závislosti na velikosti částic
PUR	Polyuretan
sek	Sekunda
SEM	Skenovací elektronový mikroskop
tab.	tabulka
Tzv.	Takzvaně
ULPA	Ultra low penetration (filter); Filtr s velmi nízkou penetrací
μm	Mikrometr

Úvod

V této práci je pojednáno o návrhu a realizaci filtračního zařízení, které má být použito na stávajícím přečerpávacím zařízení pro přesun pájecího prášku Flux z čerpané do doplňované nádoby. Přečerpávání pájecího prášku je zajištěno pomocí tlakového vzduchu, který podtlakem unáší pevné částice pájecího prášku do doplňované nádoby.

Při doplňování nádoby je nutné odvádět proud vzduchu z nádoby ven, ale současně je potřeba zajistit, aby vycházející vzduch neobsahoval částice pájecího prášku. Proto je cílem této práce navrhnout a zrealizovat filtrační zařízení, které to umožní.

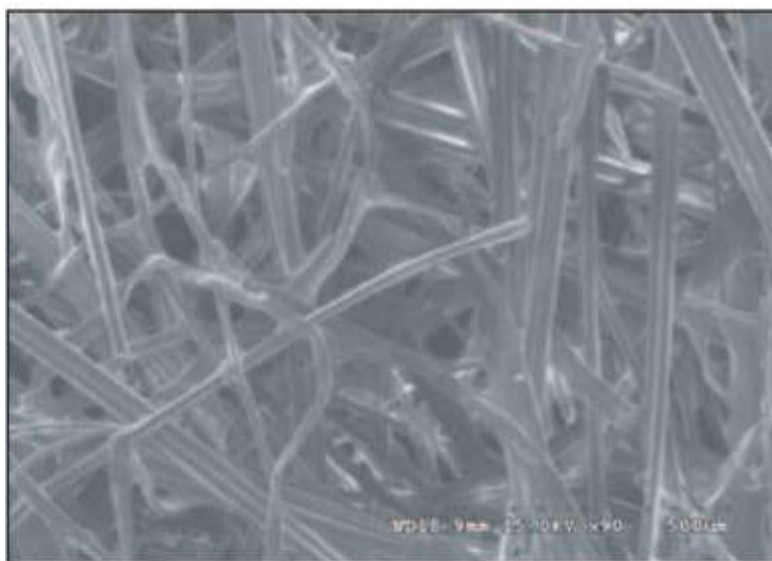
Zabránit úniku pájecího prášku je nutné zejména proto, že může způsobit zdravotní potíže osobám nacházejícím se v okolí přečerpávacího zařízení, znečištění životního prostředí a zanášení ostatních strojů a zařízení v provozu DENSO Manufacturing Czech s.r.o.

1 Rešeršní část

Materiál použitý v částicových filtrech je složen z vrstev náhodně orientovaných mikrovláken průměrů v rozmezí 1 až 10 μm . Schopnost filtru zachytit částice škodliviny z ovzduší je dána fyzikálními a mechanickými vlastnostmi filtračního média. Princip filtrace spočívá v následujících mechanismech: gravitační, setrvačný, difuzní, intercepční a elektrostatický [Malina safety, 2018].

1.1 Filtrace vzdušnin

Částicové vzduchové filtry jsou klasifikovány buď jako mechanické filtry nebo elektrostatické filtry. Ačkoli je mnoho důležitých rozdílů v provedení těchto dvou typů filtrů, oba typy jsou z vlákenného materiálu a rozsáhle se používají v systémech pro odstranění částic ze vzduchu včetně biologických materiálů. Částicový filtr je tvořen vlákny, která jsou náhodně uložena obvykle kolmo na směr proudění vzduchu (obr. 1). Vlákná mají průměry v rozsahu od 1 μm do 50 μm . Zaplnění filtru je od 1 % do 30 %. Vlákná jsou vyrobena nejčastěji z bavlny, skelných vláken, polyesteru, polypropylenu a mnoha dalších materiálů [Davies, 1973].

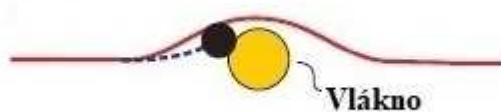


Obr. 1: Uložení vláken v částicovém filtru

Rozeznáváme pět různých filtračních mechanismů řízeného sběru částic vzduchovým filtrem: setrvačný princip, intercepce, difuze, gravitační princip a elektrostatická přitažlivost.

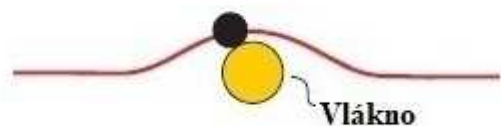
Setrvačný princip využívá působení setrvačných sil na částice unášené proudem nosného plynu. Proudění částic se v důsledku působení těchto sil odchyluje od proudu nosného plynu a odchýlení se zvětšuje současně s rostoucí hmotností částic a klesající viskozitou plynu. Rozdílné zakřivení trajektorií částic a proudění nosného plynu účinkem pevné stěny je využíváno k jejich vzájemnému odloučení, kdy jsou částice zachy-

ceny na vlákna filtru (obr. 2). Čím jsou menší průměry vláken filtru, tím se zvyšuje účinnost setrvačného zachycení částic [Diane publishing, 2003; Šulc a Šinták, 1990].



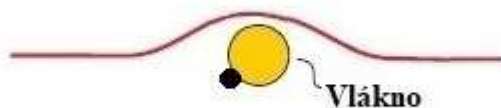
Obr. 2: Setrvačný princip [Diane publishing, 2003]

Intercepční způsob záchytu spočívá v principu odlučování částic na filtrační mřížci tvořené prostorově uspořádanou strukturou vláken. U tohoto principu se využívá tzv. síťového účinku, který spočívá v tom, že jsou zachyceny částice většího průměru, než jsou mezery mezi vlákny (obr. 3). V případě, že jsou na vláknech uplatněny povrchově aktivní síly, tak částice tvoří řetězce, které se zachytí na vláknech filtru, i když průměry jednotlivých částic jsou menší než mezery mezi vlákny filtru [Diane publishing, 2003; Šulc a Šinták, 1990].



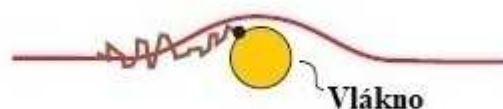
Obr. 3: Intercepční způsob [Diane publishing, 2003]

Gravitační princip funguje při vodorovném proudění nosného plynu a znečišťujících částic, které jsou vystaveny vlivu unášivé a gravitační síly. V mezní vrstvě plynů obtékajících povrch filtračních ploch se rychlost plynu blíží k nulové hodnotě a tak klesá i setrvačná síla částic. Poté co na částice přestane působit setrvačná síla, tak jsou vlivem gravitační síly zachycena mezi vlákny a na vláknech filtru (obr. 4) [Šulc a Šinták, 1990].



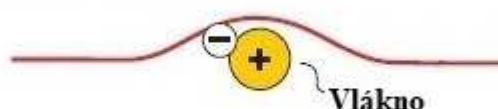
Obr. 4: Gravitační princip [Diane publishing, 2003]

Difuze je významná zejména pro částice, jejichž průměry jsou menší než 1 μm . Se zmenšujícím průměrem částic dochází k zvyšování tzv. difuzního jevu, což je pohyb velmi malých částic, který je ovlivněn tepelným pohybem molekul plynu a vlivem srážek s molekulami nosného plynu nesledují částice submikronové velikosti své trajektorie, ale pohybují se neuspořádaně všemi směry (Brownův pohyb). Tento pohyb vede k dopadu částic na vlákna filtru (obr. 5) a jejich případnému zachycení [Šulc a Šinták, 1990].



Obr. 5: Difuze [Diane publishing, 2003]

Elektrostatická přitažlivost je založena na účincích elektrostatického pole na elektricky nabité částice. K intenzivnímu filtrování částic dochází jejich umělým nabíjením opačným nábojem, než je náboj filtrační plochy. Částice jsou tedy na vlákna filtru zachyceny vlivem přitažlivých elektrostatických sil (obr. 6) [Šulc a Šinták, 1990].



Obr. 6: Elektrostatická přitažlivost [Diane publishing, 2003]

1.2 Rozdělení vzduchových filtrů podle konstrukce

Filtry pro vzduchovou filtraci se dělí podle konstrukce nejčastěji na tyto typy: kapsové, pytlkové, rámečkové, kompaktní a kazetové.

Kapsové filtry (obr. 7) jsou vyráběny v podobě filtrační vložky, která je nepropustně uzavřena v rámu z papíru, kovu, plastu nebo polyuretanové pěny. Tloušťka filtru je větší než 150 mm. Pro materiál filtrační vložky se používají netkané textilie (skleněná nebo syntetická vlákna) nebo filtrační papíry a jejich tvar je plochý nebo skládaný. Používají se jako předfiltry nebo hlavní filtry k odloučení hrubého prachu ve větracích a klimatických zařízeních [Wikipedie, 2018, MDfilter, 2018, KSklimaservice, 2018].



Obr. 7: Kapsový filtr [KSklimaservice, 2018]

Pytlové filtry (obr. 8), do kterých spadají i filtry tvaru vaku a rukávce jsou vyráběny z papíru, polyesteru, polypropylenu, skelných a syntetických vláken. Používají se především v plastikářském, dřevařském, potravinářském, těžebním průmyslu apod. [MDfilter, 2018]



Obr. 8: Pytlový filtr [MDfilter, 2018]

Rámečkové filtry (obr. 9) jsou vyráběny stejným způsobem jako kapsové filtry a jsou uzavřeny v odpovídajícím rámu ze stejných materiálů jako je tomu u kapsových filtrů s tím rozdílem, že maximální tloušťka filtru je do 149 mm. Používají se do klimatizačních nebo vzduchotechnických jednotek [Wikipedie, 2018; KSklimaservice, 2018].



Obr. 9: Rámečkový filtr [KSklimaservice, 2018]

Kompaktní filtry (obr. 10) jsou uloženy v plastové nebo kovové výztuži rámu a jsou vhodné pro usazení do rámu kapsových filtrů. Filtrují jemný prach a aerosoly, proto se používají v obchodních centrech, průmyslových halách a lakovnách. Filtrační materiál je vyroben ze skelných nebo polypropylenových vláken [KSklimaservice, 2018].



Obr. 10: Kompaktní filtr [KSklimaservice, 2018]

Kazetové filtry (obr. 11) používají jako filtrační materiál syntetická a skelná vlákna. Rám filtru je vyroben z plastu, kovu nebo papíru. Využívají se v lakovnách, lékařství, mikrobiologii, potravinářství apod. [MDfilter, 2018; Fit-pro, 2018]



Obr. 11: Kazetový filtr [MDfilter, 2018]

1.3 Rozdělení vzduchových filtrů podle třídy filtrace

Rozdělení vzduchových filtrů podle třídy filtrace je závislé na jemnosti filtru a tím i zařazení do určité třídy vzduchových filtrů. Jednotlivé třídy mají své označení dle písmen od nejhrubších vstupních filtrů G, středních M, jemných F, efektivních E, velmi účinných H až po nejjemnější U, který je používán jako koncový filtr pro nejvyšší stupeň čištění vzduchu. Čím je filtr jemnější, tím je schopen zachytit menší částice obsažené ve vzduchu.

Třída G slouží pro filtraci odváděného vzduchu v lakýrnických komorách, autonomních klimatizacích a v kuchyňských digestořích. V systémech HVAC se používá jako filtr prvního stupně čištění nebo hlavní filtr. Používá se jako vstupní filtr a může být použit jako předfiltr pro filtr třídy M.

Střední třída M jsou filtry k čištění vzduchu přiváděného do místností a výrobních procesů. Současně se používá jako filtr ochrany prvního stupně čištění nebo hlavní filtr v systémech HVAC. Je možné použít ho jako předfiltr pro filtry třídy F.

F je třída jemných filtrů používaná pro čištění vzduchu do kancelářských místností, nemocnic, výrobních procesů a filtr druhého stupně nebo hlavní filtr systému HVAC. Dále se používá pro přípravu vzduchu filtrů tříd E, H a U.

Třída E (EPA – účinný částicový filtr) se používá ve stropních operačních sálů, vzduchových kanálech vyžadujících nejvyšší stupeň čištění vzduchu a kontrolovaného proudění. Dále se používá v systémech HVAC v nemocnicích, potravinovém a farmaceutickém průmyslu.

Třída H (HEPA označuje velmi účinný vzduchový filtr) se používá v čistých (sterilních) místnostech s laminárním a turbulentním prouděním. Systémech HVAC v nemocnicích a jaderných elektrárnách.

Třída U (ULPA –vzduchový filtr s velmi nízkou penetrací). Používá se ve stejných oblastech použití jako filtry třídy H, ale tento druh filtru je schopen filtrovat ještě jemnější částice než filtr třídy H.

1.4 Hodnocení účinnosti vzduchových filtrů

Vzduchové filtry jsou obvykle popsány a hodnoceny na základě jejich účinnosti zachytu, poklesu tlaku (nebo odporu vzduchu) a množství zachycených částic. V současné době se používají v České republice metody měření podle evropských norem EN 779 – 2002 a EN 1822 [KSklimaservice, 2018].

Určení filtračních vlastností pro jednotlivé třídy filtrů dle výše zmíněných norem se měří pomocí charakteristických veličin (střední stupeň odloučení, střední stupeň účinnosti, integrální činitel počátečního prostupu a místní činitel počátečního prostupu) uvedených v tabulce (tab. 1). Střední stupeň odloučení je procentuální vyjádření zachyceného množství zkušebního syntetického prachu. Další charakteristickou veličinou je střední stupeň účinnosti, který je také procentuálně vyjádřen a určuje účinnost filtru. Integrální činitel počátečního prostupu slouží pro určení nezachycených částic o určitých velikostech na výstupní ploše a pro určení tlakové ztráty filtru. Místní činitel počátečního prostupu udává místa netěsnosti při jmenovitém průtoku vzduchu.

Tab. 1: Měření charakteristických veličin dle EN [KSKlimaservice, 2018].

Charakteristické veličiny	Střední stupeň odloučení A_m (%)	Střední stupeň účinnosti E_m (%)	Integrální činitel počátečního prostupu D_i (%)	Místní činitel počátečního prostupu D_L (%)
Zkušební postupy Princip měření	EN 779 - 2002 Vážení	EN 779 - 2002 Počítání částic s LPC	EN 1822 Přísání částic pomocí CNC nebo LPC	EN 1822 Scanning s počítáním částic / vizuálně
Zkušební aerosol	Vzduch s hrubým syntetickým zkušebním prachem	Čistý vzduch s DEHS-aerosolem, 0,4 μ m	Čistý vzduch + MPPS-DEHS - aerosol	Čistý vzduch + MPPS - DEHS- / Paraf. - aerosol
Kritéria resp. podmínky	$E_a < 20\%$ $\Delta p_{(konc)} = 250$ Pa	$E_a \geq 20\%$ $\Delta p_{(konc)} = 450$ Pa	Průkazné hranice CNC/LPC < MPPS	Průkazné hranice CNC/LPC < MPPS
Skupina filtrů	Tř. filt.	Hranice tříd v %		
G Filtry pro hrubý prach	G1 G2 G3 G4	$A_m < 65$ $65 \leq A_m < 80$ $80 \leq A_m < 90$ $90 \leq A_m$	$E_m = ca. 35$	
F Filtry pro jemný prach	M5 M6 F7 F8 F9	$A_m = ca. 95$ $A_m = ca. 100$	$40 \leq E_m < 60$ $60 \leq E_m < 80$ $80 \leq E_m < 90$ $90 \leq E_m < 95$ $95 \leq E_m$	$D_i = ca. 15$
H HEPA filtry pro mikročástice	E10 E11 E12 H13 H14		$E_m = ca. 98$	$D_i \leq 15$ $D_i \leq 5$ $D_i \leq 0,5$ $D_i \leq 0,05$ $D_i \leq 0,005$
U ULPA filtry pro mikročástice	U15 U16 U17			$D_L \leq 0,0025$ $D_L \leq 0,00025$ $D_L \leq 0,00010$

Pro srovnání jsou zde uvedeny metody testování filtračních vlastností spojených státech dle dvou zkušebních metod, které jsou k tomu určeny: Americká společnost techniků pro vytápění, chlazení a klimatizaci (ASHRAE) Standart 52.1 – 1992 a ASHRAE Standart 52.2-1999 [Diane publishing, 2003].

Standart 52.1. – 1992 stanovuje záchyt prachu, účinnost filtru a množství zadržného prachu. Záchyt prachu je schopnost filtru zachytit prach popsáný hmotnostním zlomkem hrubého zkušebního prachu a je vhodný pro středně účinné filtry pracující za nízkých tlaků. Hodnoty záchytumohou být vysoké a to i pro filtry s nízkou účinností a nepřímo ukazují na účinnost filtrů pro ochranu chemickou, biologickou a radioaktivní (CBR). Účinnost filtru určuje schopnost filtru odstraňovat velké částice, které mají tendenci se vyskytovat v interiérech budov. Množství záchytuprachu je určené mírou záchytu části prachu z celkového množství prachu během testování [Diane publishing, 2003].

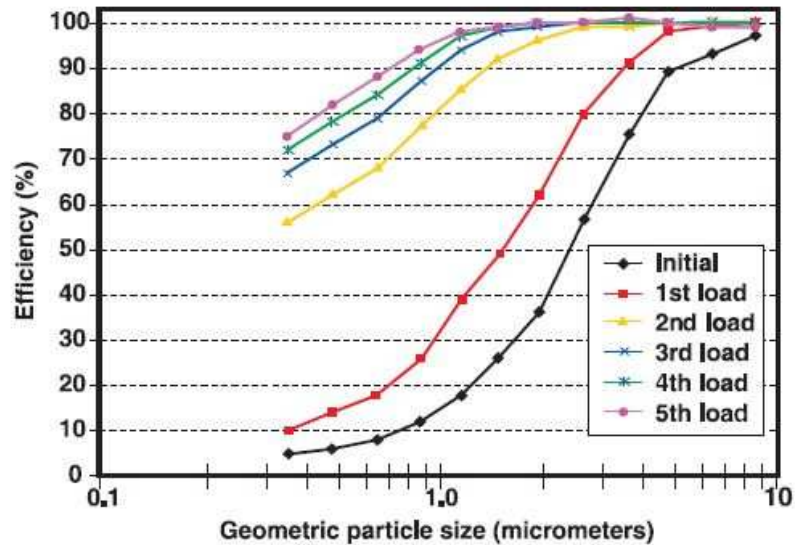
ASHRAE Standart 52.2 – 1999 měří účinnost filtru v závislosti na velikosti částic (PSE – particle size efficiency; účinnost v závislosti na velikosti částic). Tento novější standart je lépe popsáným testem, který vyčísluje filtrační účinnost v různých rozměrech částic pro čištění a přírůstkové zatížení filtru zajišťující kombinovanou hodnotu účinnosti. Poskytuje lepší stanovení účinnosti filtru schopnosti filtru zachytit tuhé částice a aerosoly. Standart z roku 1999 hodnotí účinnost záchytu velkých částic jako MERV

v rozmezí 1 – 20, přičemž vyšší číslo označuje výkonnější filtr. Standart 52.2 uvádí tabulku (viz tabulka 2), která ukazuje minimální PSE ve třech rozmezích pro každé z MERV čísel od 1 do 16. Pokud je známá velikost kontaminující látky, je dle tabulky možné určit vhodný filtr, který má požadované PSE pro konkrétní velikost částic. Graf 1 znázorňuje skutečné výsledky testů pro filtr MERV 9 a odpovídající účinnost sběru filtru [Diane publishing, 2003].

Tab. 2 Srovnání ASHRAE Standartu 52.1 a 52.2 [ASHRAE, 1999; Spengler, 2000]

MERV	ASHRAE 52.2			ASHRAE 52.1		Particle size range, μm	Applications
	Particle size range			Test			
	3 to 10 μm	1 to 3 μm	.3 to 1 μm	Arrestance	Dust spot		
1	< 20%	—	—	< 65%	< 20%	>10	residential light pollen, dust mites
2	< 20%	—	—	65–70%	< 20%		
3	< 20%	—	—	70–75%	< 20%		
4	< 20%	—	—	> 75%	< 20%		
5	20–35%	—	—	80–85%	< 20%	3.0–10	industrial, dust, molds, spores
6	35–50%	—	—	> 90%	< 20%		
7	50–70%	—	—	> 90%	20–25%		
8	> 70%	—	—	> 95%	25–30%		
9	> 85%	< 50%	—	> 95%	40–45%	1.0–3.0	industrial, Legionella, dust
10	> 85%	50–65%	—	> 95%	50–55%		
11	> 85%	65–80%	—	> 98%	60–65%		
12	> 90%	> 80%	—	> 98%	70–75%		
13	> 90%	> 90%	< 75%	> 98%	80–90%	0.3–1.0	hospitals, smoke removal, bacteria
14	> 90%	> 90%	75–85%	> 98%	90–95%		
15	> 90%	> 90%	85–95%	> 98%	~95%		
16	> 95%	> 95%	> 95%	> 98%	> 95%		
17	—	—	$\geq 99.97\%$	—	—	<0.3	clean rooms, surgery, chem-bio, viruses
18	—	—	$\geq 99.99\%$	—	—		
19	—	—	$\geq 99.999\%$	—	—		
20	—	—	$\geq 99.9999\%$	—	—		

Graf 1: Data testování dle ASHRAE Standart 52.2 pro filtr MERV 9, který ukazuje účinnost sběru při zatížení filtru



1.5 Zdravotní rizika při vdechnutí pevných částic

Rizika způsobená vdechnutím pevných částic závisí hlavně na těchto faktorech:

- a) fyzikální, chemické a biologické vlastnosti částic
- b) velikost a forma částic
- c) koncentrace částic v plynném médiu a době expozice
- d) množství vdechnutých částic

Fyziologické účinky částic na lidský organizmus se liší podle následujících typů seřazených od nejméně nebezpečných po nejnebezpečnější: inertní částice, nebezpečné částice, karcinogenní částice, radioaktivní částice a mikrobiologické částice. Sami o sobě nemají inertní částice špatný vliv na dýchací cesty. Hlavním faktorem ovlivňující lidský organizmus je jejich koncentrace. Při koncentraci menší než $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ dochází k lehkému podráždění, pokud koncentrace přesáhne $30 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, tak dojde k silnému podráždění. Nebezpečné částice při vdechování způsobují negativní změny v plicích tkáních, silikózu, fibrózu nebo rakovinu plic. Nebezpečnými částicemi mohou být azbest, křemenný prach nebo vlákna (syntetická, skleněná). Karcinogenní částice jsou velmi nebezpečné. Pokud dojde k jejich kontaktu s dýchacími cestami, mohou způsobit zhoubné bujení buněk. Tyto částice mohou vznikat například z výparů těchto toxických kovů: olovo, kadmium a rtuť. Radioaktivní částice způsobují těžké fyziologické poruchy a zvyšují riziko nádorových onemocnění. Neméně nebezpečné jsou mikrobiologické částice, které způsobují mnoho vážných onemocnění včetně alergií [Specifikace filtrů Scott PRO2000, 2018].

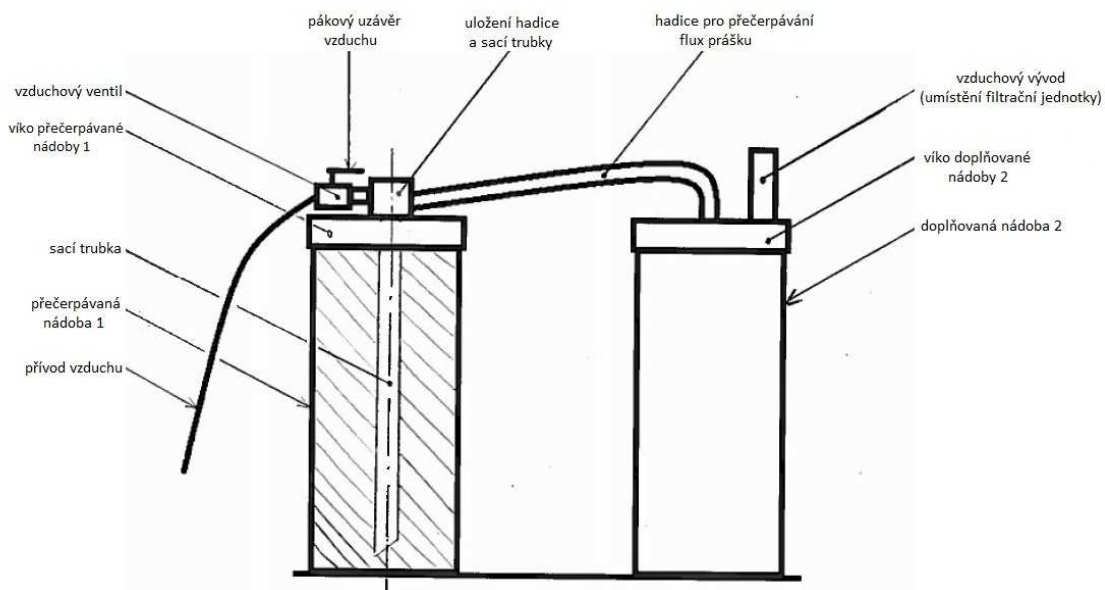
Hloubka průniku částic do dýchacích cest je ovlivněna jejich velikostí. Částice o velikosti 10 μm a větší zasahují horní dýchací cesty a průdušnice. Při velikosti 5 až 10 μm zasahují průdušnice a větvení průdušek. Pokud jsou menší než 5 μm , tak pronikají do průdušek a průdušinek. Částice s velikostí pod 1 μm pronikají až do plicních sklípků [Specifikace filtrů Scott PRO2000, 2018].

Částice, které negativně působí na dýchací cesty, se nejčastěji vyskytují ve formě prachu, páry, kouře, spreje, mikroorganismů, radioaktivních částic [Specifikace filtrů Scott PRO2000, 2018].

Prach je tvořen drobnými pevnými částicemi s průměry menšími než 500 μm , vznikajícími v průběhu zpracování rozmanitých organických i anorganických materiálů jako jsou kovy, minerály, dřevo, bavlna, uhlí, zemědělských produkty, azbest nebo sklo. Páry mají obecně plynné skupenství a vznikají při sublimaci, vypařování materiálů nebo ochlazování horkých látek při procesech, kterými jsou např. zpracování kovů, sváření, pájení. Reakcí horkých materiálů s kyslíkem se tvoří oxidy. Kouř je produktem nedokonalého spalování. Obsahuje drobné částičky uhlí, sazí a vodních par, které mohou vytvářet jak pevné, tak i kapalné částice. Spreje jsou tvořeny aerosolem rozptýlených pevných nebo kapalných částic nebo jejich směsí v plynném prostředí se zanedbatelnou rychlostí pádu. Využívají se např. pro aplikaci barev, deodorantů nebo chlazení kovů. Mikroorganismy jsou jednobuněčné mikroskopicky pozorovatelné organizmy, mezi které se řadí viry, bakterie, houby, plísňe a výtrusy. V závislosti na rychlosti rozmnožování a schopnosti přežít se nacházejí téměř na všech místech kolem nás. Poslední forma částic negativně působící na dýchací cesty jsou radioaktivní částice, vznikající působením radioaktivního záření. Při něm dochází k vnitřní přeměně složení nebo energetického stavu atomových jader [Wikipedie, 2018; Specifikace filtrů Scott PRO2000, 2018].

2 Popis přečerpávacího zařízení a charakteristika pájecího prášku

Proces čerpání pájecího prášku slouží k přesunu zbytku pájecího prášku, který zůstává v nádobě při čerpání pájecího prášku strojem pro nanášení pájecího prášku flux v dalším procesu. Přečerpávací zařízení (obr. 12) tedy slouží k tomu, aby se zbytkový pájecí prášek z přečerpávané nádoby 1, přesunul do doplňované nádoby 2. Nádoby 1 a 2 jsou standartní nádoby, v kterých je dodáván pájecí prášek flux od výrobce Solvay (obr. 13).

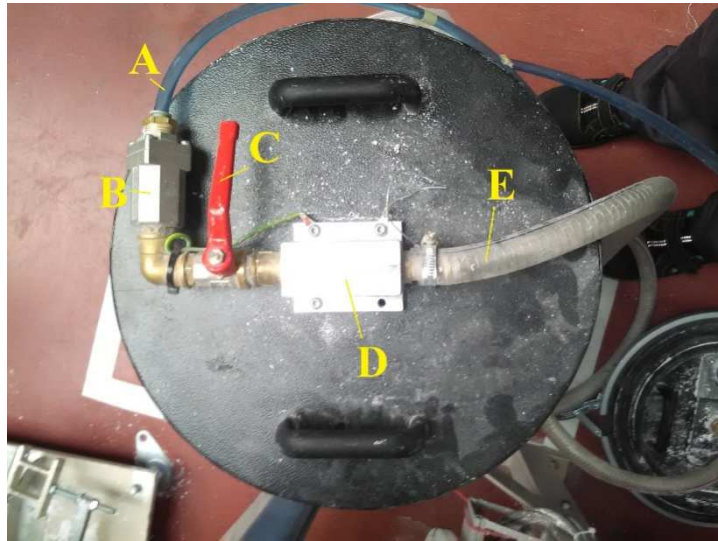


Obr. 12: Schéma přečerpávacího zařízení



Obr. 13: Nádoba s pájecím práškem Flux

Ve víku přečerpávané nádoby se nachází T rozvod (obr. 14), kdy na jednom jeho konci je pomocí jednosměrného zpětného ventilu (obr. 13 – B) připojen technický vzduch, který vstupuje pod tlakem 6 barů (obr. 14 – A). Přívod vzduchu je ovládán pákovým uzávěrem (obr. 14 – C). Na druhém konci T rozvodu je připojena hadice (obr. 14 – E), která propojuje přečerpávanou a doplňovanou nádobu. Tato hadice slouží k proudění technického vzduchu, který unáší pevné částice pájecího prášku. Poslední vývod na T rozvodu, který je v kolmém směru na předchozí vstup a výstup vzduchu z rozvodu je rovná sací trubka (uložena v místě obr. 14 – D), která je na konci, který je blíže dnu nádoby horizontálně seříznuta pod úhlem 45°, proto aby bylo dosaženo lepšího nasávání zbytkového pájecího prášku a sací trubka se neucpávala.



Obr. 14: Víko přečerpávané nádoby

Pájecí prášek je přečerpáván pomocí proudění technického vzduchu, který ho pod tlakem 6 barů nasává ze dna přečerpávané nádoby a prouděním hadicí (obr. 15 – A) připojené přes hadicový trn (obr. 15 – B) na víko doplňované nádoby zajišťuje tok pájecího prášku do doplňované nádoby. Vzduch z nádoby uniká skrze vzduchový vývod (obr. 15 – C), na který je při přečerpávání připojeno odsávací zařízení.



Obr. 15: Doplněvaná nádoba

Součástí víka doplňované nádoby je vzduchový vývod, skrze který proudí vzduch ven. Pro zajištění toho, aby pájecí prášek neunikal do ovzduší a okolí přečerpávacího zařízení, bude navrhnout takový vzduchový vývod, ve kterém bude umístěn filtr. Tento filtr bude zajišťovat oddělení pevných částic pájecího prášku od proudu vzduchu, kterým je prášek unášen.

Pájecí prášek flux je označován chemickým názvem Fluorid hlinitodraselný (AlF_6K_3). Jedná se o bílou látku pevného skupenství, která se vyskytuje ve formě prášku, kdy velikost částic je 2 – 6 mikrometru (50%). Synná měrná hmotnost tohoto prášku je 350 - 550 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, molekulová hmotnost je 150 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ a pH 5,0 – 7,0 v nasyceném vodném roztoku (50 $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) při teplotě 20°C. Rozpustnost ve vodě je u této látky 4,5 $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ při teplotě 20°C. Tato látka je nehořlavá a nevýbušná, teplota tání je v rozmezí 564-572°C, teplota rozkladu této látky je při teplotách vyšších než 700°C. Měrná hmotnost je 2500 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Při styku pájecího prášku Flux s očima dochází k jejich vážnému podráždění. V důsledku vdechování je tento prášek zdraví škodlivý. Během prodloužené nebo opakované expozici vůči prášku při vdechování způsobuje poškození orgánů (dýchacích cest). Nedoporučuje se styk s práškem v době těhotenství a kojení matkám, protože prášek může vážně poškodit zdraví plodu nebo kojence. Prášek je škodlivý pro vodní organismy, které mohou být postihnuty dlouhodobými negativními účinky.

Před používáním pájecího prášku flux je nutné obstarat speciální instrukce pro zacházení s ním. Není vhodné vdechovat prach, dým, mlhu, páry nebo aerosoly tohoto média a je doporučeno použití zejména ochranných dýchacích filtrů, dýchacích masek případně roušek. Prevence při těhotenství a kojení je vyhnout se styku s práškem. Důležité je zabránění úniku do životního prostředí a přírody. Při styku s pájecím práškem se doporučuje používat ochranné brýle nebo obličejový štít [Bezpečnostní listy Solvay, 2015].

Při bezprostředním vdechnutí prášku je nutné zasaženou osobu přenést na čerstvý vzduch a uložit jí do stabilizační polohy usnadňující dýchání a zavolat odbornou lékařskou pomoc. Pokud se necítíte dobře po styku s pájecím práškem, ihned kontaktujte toxikologické informační středisko nebo lékaře [Bezpečnostní listy Solvay, 2015].

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že prášek je zdraví škodlivý a je nežádoucí, aby při manipulaci, používání či skladování docházelo k jeho úniku do okolního prostředí a vhodné filtrační zařízení je tedy nutností.

3 Tvorba konceptů

Těleso filtračního zařízení se bude skládat ze tří základních částí: vzduchového vývodu, filtrační jednotky a části pro uložení filtru. Vzduchový vývod bude sloužit k výstupu čistého vzduchu z doplňované nádoby s pájecím práškem. Filtrační jednotka bude obsahovat filtr v kombinaci s předfiltrem. Předfiltr bude spojen přímo s filtrem pomocí nasunutí předfiltru přímo na filtr pomocí držáku předfiltru. Funkce filtrační jednotky

umožní průchod čistého vzduchu ven z doplňované nádoby, ale zachytí částice pájecího prášku, aby nedocházelo k znečištění pájecím práškem v okolí přečerpávacího zařízení. Návrh uložení je složení jednotlivých částí filtračního přípravku. Kdy je nutno zohlednit složitost, počet částí, volbu materiálu, směr uložení, cenu, druh spojení, uložení filtru, konstrukci vzduchového vývodu a montáž přípravku na víko doplňované nádoby. Požadavek je na jeho konstrukční jednoduchost pro snížení celkové ceny přípravku a v důsledku toho výběr nejvhodnějšího konceptu uložení filtrační jednotky. Spojení filtru s uložení filtru je řešeno závitovým spojením kartuše filtru a vzduchového vývodu filtračního zařízení. Návrh uložení je složení jednotlivých částí filtračního přípravku, kdy je nutno zohlednit složitost, počet částí, volbu materiálu, směr uložení, cenu, druh spojení, uložení filtru, konstrukci vzduchového vývodu a montáž přípravku na víko doplňované nádoby. Požadavek je na jeho konstrukční jednoduchost pro snížení celkové ceny přípravku a v důsledku toho výběr nejvhodnějšího konceptu uložení filtrační jednotky. Spojení filtru s uložení filtru je řešeno závitovým spojením kartuše filtru a vzduchového vývodu filtračního zařízení.

3.1 Volba filtru a předfiltru

Dle bezpečnostních listů k pájecímu prášku Flux se doporučuje chránit dýchací cesty pracovníků proti vdechování pájecího prášku dýchacími maskami osazenými filtrem třídy P3. Vzhledem k očekávané dostatečné účinnosti byl tento filtr zvolen jako filtrační médium pro separaci pájecího prášku při jeho přečerpávání. Pro zvýšení životnosti filtru P3 je přidán předfiltr, který zachycuje větší pevné částice a zabraňuje jejich průniku do filtru. Menší částice, které proniknou skrze předfiltr, jsou zachyceny filtrem. V případě této bakalářské práce je použita otočená sestava filtru a předfiltru (filtrační jednotky), tak aby filtrovaný vzduch neproudil dovnitř (jako v případě ochranné dýchací masky), ale ven ze vzduchové vývodu přečerpávacího zařízení.

Konkrétní filtr P3 PRO 2000 a předfiltr byl vybrán od anglického výrobce Scott safety a dodán firmou Vochoc s.r.o., vybrán byl v důsledku kvality a ceny komponent filtrační jednotky. Filtr P3 je umístěn v kartuši kruhového průřezu, která má vnější průměr 110 mm (obr. 16), spojení kartuše s maskou je řešeno přes závitové spojení Rd 40x1/7“. Předfiltr má kruhový tvar o průměru 80 mm a tloušťce 3 mm a na filtr je upevňován tak, že je nejprve vložen do rámečku předfiltru (obr. 17) a poté nasunut na kartuši filtru (obr. 16). Ověření správnosti výběru filtračního média bude ověřeno experimentálně.



Obr. 16: Filtr P3 PRO 2000 [Vochoc, 2018] Obr. 17: Předfiltr(A) a rámeček předfiltru (B) [Vochoc, 2018]



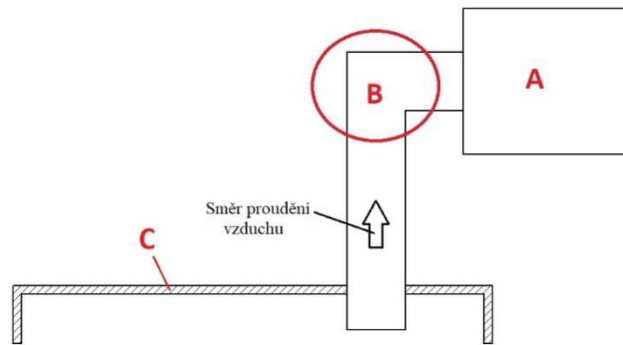
Obr. 18: Filtrační jednotka (filtr + předfiltr) [Vochoc, 2018]

3.2 Orientace filtračního zařízení

Pro zmíněné druhy uložení jsou navrženy dvě polohy uložení filtru a to horizontální a vertikální poloha. Volba orientace uložení ovlivňuje proudění vzduchu unášející pájecí prášek skrze filtrační přípravek, vliv gravitační síly na pájecí prášek zejména po vypnutí přívodu vzduchu, aplikaci přípravku na víko doplňované nádoby.

3.2.1 Horizontální uložení

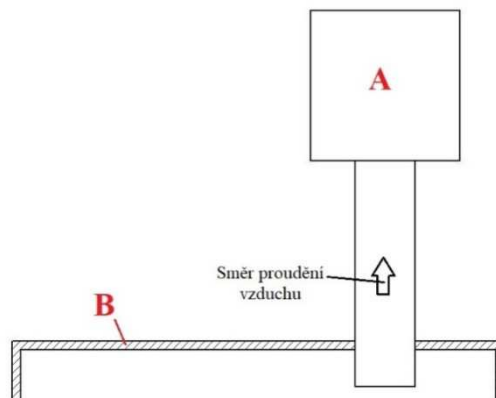
Horizontální návrh uložení může způsobit hromadění prášku v trubce, kterou je přiváděn se vzduchem, což může vést ke složitějšímu čištění filtru. Horizontální poloha uložení filtru se vyznačuje také další nevýhodou, kterou je složitější konstrukční řešení než u vertikální polohy. Tím je myšleno, že uložení v horizontální poloze by muselo obsahovat koleno (obr. 19 - B, které by dalo uložení vodorovnou polohu). I koleno však může zvyšovat proudění a následné hromadění prášku. Dále se znesnadňuje čištění kanálu před filtrem. V neposlední řadě se zvětšuje zástavbový prostor.



Obr. 19: Horizontální uložení filtru (A-uložení filtru, B-koleno, C-víko doplňované nádoby)

3.2.2 Vertikální uložení

Při volbě vertikální polohy (obr. 20) dojde k tomu, že se poté co bude zastaveno proudění vzduchu, pájecí prášek v důsledku působení gravitační síly spadne zpět do doplňované nádoby. Proto bude i následné čištění snadnější, protože filtr bude možno čistit oklepem.



Obr. 20: Vertikální uložení filtru (A-uložení filtru, B-víko doplňované nádoby)

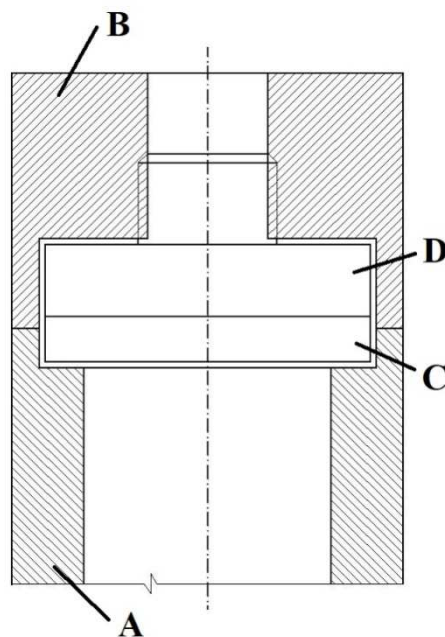
3.2.3 Volba nejvhodnější orientace uložení

Z porovnání obou poloh uložení lze vyvodit závěr, že vertikální poloha uložení bude vhodnější a proto bude použita v dalším řešení filtrace vzduchu v přečerpávacím zařízení pájecího prášku Flux.

3.3 Návrh provedení přívodu vzduchu (filtračního zařízení)

3.3.1 Uložení s přímým vzduchovým přívodem

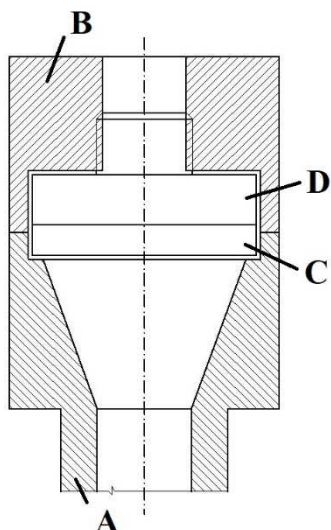
Tento druh uložení (obr. 21) se skládá ze tří dílů sestavy přívodu vzduchu, vzduchového vývodu a filtrační jednotky. Výhodou tohoto uložení je, že proudění vzduchu a tlak vznikající při přečerpávání působí na celou plochu filtrační jednotky. Nevýhodou je větší spotřeba materiálu pro výrobu části pro přívod vzduchu a tím roste i cena tohoto uložení.



Obr. 21: Uložení s rovnou trubicí (A-přívod vzduchu, B-vzduchový vývod, C-předfiltr, D-filtr)

3.3.2 Uložení s rozšiřujícím se vzduchovým přívodem

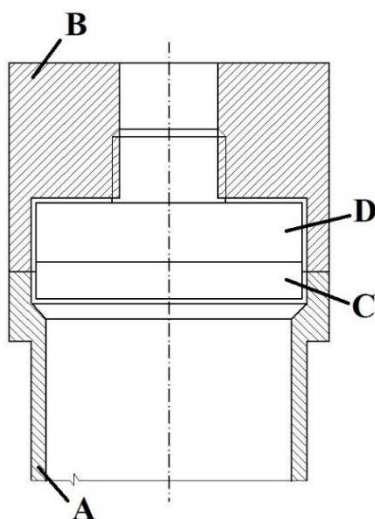
Proti předchozímu uložení je tento typ rozdílný v tvaru trubky (obr. 22), kterou je přiváděn proud vzduchu obsahující pájecí prášek. V tomto případě je trubka nejprve malého průměru, který se rozšiřuje ve větší průměr. V důsledku rozšíření trubky dochází k rozložení tlaku proudícího vzduchu a tak na filtr působí menší tlaková síla.



Obr. 22: Uložení s rozšířeným vnitřním průměrem (A-přívod vzduchu, B-vzduchový vývod, C-předfiltr, D-filtr)

3.3.3 Uložení s přímým na konci rozšířeným vzduchovým přívodem

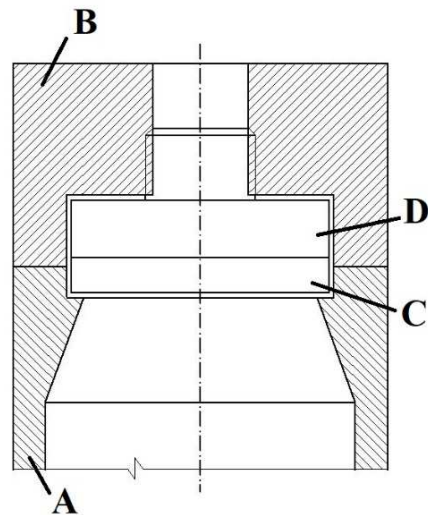
Druh tohoto uložení se vyznačuje rovnou vnitřní trubkou velkého vnitřního průměru (obr. 23), která je na konci přiléhajícímu k filtru rozšířena z důvodu snížení tlakové síly působící na filtr. Součástí sestavy tohoto uložení je i předfiltr, který slouží k zachycení větších pevných částic a tím výrazně prodlužuje životnost filtru.



Obr. 23: Uložení s přímým na konci rozšířeným vnitřním průměrem (A-přívod vzduchu, B-vzduchový vývod, C-předfiltr, D-filtr)

3.3.4 Uložení se zužujícím se vzduchovým přívodem

U tohoto uložení je trubka velkého průměru zúžena do malého průměru (obr. 24) z důvodu usměrnění proudění vzduchu skrze filtr, ale současně dojde k zvýšení objemu celého uložení přípravku. Také se zvýší náletová rychlost, která může zvýšit hloubku průniku částic do struktury a následně zhoršené čištění filtru.



Obr. 24: Uložení se zúženým vnitřním průměrem (A-přívod vzduchu, B-vzduchový vývod, C-předfiltr, D-filtr)

3.3.5 Volba uložení filtračního zařízení

Tab. 3: Hodnocení parametrů uložení filtrační jednotky (bodové hodnocení je v rozmezí jeden až čtyři body, kdy jeden bod = nejlepší)

Uložení	S přímým vzduchovým příívodem	S rozšiřujícím se vzduchovým příívodem	S přímým na konci rozšiřujícím se vzduchovým příívodem	Se zužujícím se vzduchovým příívodem
Nejmenší objem materiálu přípravku	1	2	1	3
Nejméně složitá konstrukce	1	4	2	3
Nejnižší cena materiálu	1	2	1	3
Nejnižší cena výroby	1	3	2	4
Využití plochy filtru	2	4	1	3
Spad pájecího prášku do nádoby po přečerpávání	2	3	1	2
Nejmenší hmotnost uložení filtrační jednotky	2	3	1	4
Hodnocení (součet bodů)	10	21	9	22

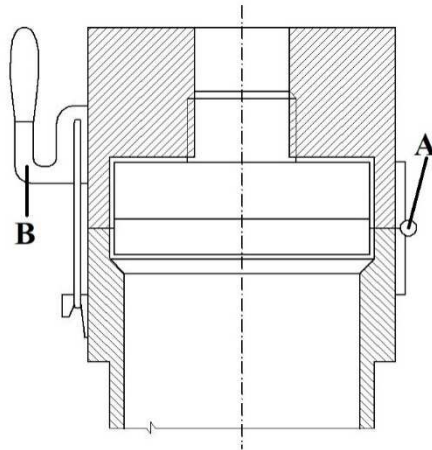
Z výše uvedených návrhů uložení filtrační jednotky byla vybrána varianta s rovnou na konci rozšířenou trubkou (viz obr. 23). Podle porovnávaných parametrů návrhů se jeví nejvýhodněji a v součtu bodů hodnotících jednotlivé parametry má nejmenší výsledné číslo, tudíž nejlepší hodnocení.

3.4 Návrh provedení spoje částí filtračního zařízení

Pro spojení vzduchového vývodu a uložení filtru bylo nutné navrhnout způsob spojení daných částí filtračního zařízení. Při návrhu tohoto spojení je nutné zahrnout to, že bude potřeba filtr měnit případně čistit. Proto je nutné, aby výsledný návrh bylo možné jednoduše otevřít, ale také to aby při přečerpávání mezi dílem vzduchového vývodu a uložení filtru neunikal vzduch obsahující pájecí prášek. Požadavky tedy byly těsnost a snadná manipulace.

3.4.1 Spojení pant a upínka

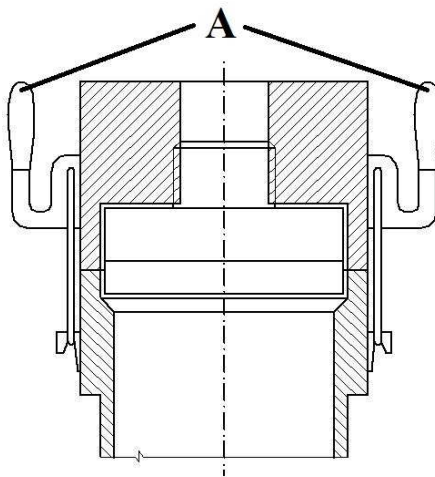
Návrh obsahuje kombinaci pantu a upínky, kdy se tyto dva prvky nacházejí proti sobě, rozmístěny po 180° po kruhové průřezu přípravku (obr. 25). Tento druh spojení umožňuje snadné otevírání, ovšem po zašroubování filtru do části pro uložení již není možné přípravek zavřít, protože tomu překáží výška filtru a při dimenzování přípravku pro správnou funkci spojení by bylo nutné přípravek zvětšit. Tím by došlo ke zvětšení celého přípravku, tím i jeho hmotnosti a ceny za materiál a výrobu.



Obr. 25: Spojení pant a upínka (A-pant, B-upínka)

3.4.2 Spojení čtyřmi upínkami

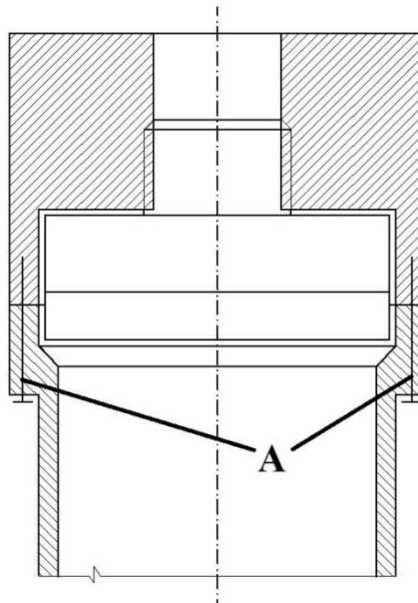
Druh tohoto spojení se skládá ze čtyř upínek, které jsou rozmístěny po 90° po kruhovém průřezu přípravku (obr. 26). Při vytváření tohoto návrhu byla provedena změna a snížení celkového počtu upínek ze 4 na 2. Změna byla provedena kvůli zjednodušení otevírání, snížení hmotnosti přípravku a snížení nákladů na cenu spojení.



Obr. 26: Spojení dvěma upínkami (A – upínky)

3.4.3 Šroubové spojení

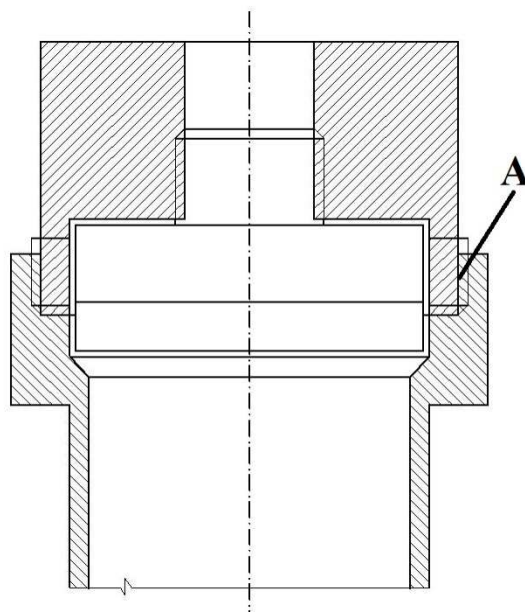
Při návrhu tohoto spojení dojde k propojení části vzduchového vývodu a části uložení filtru, kdy na kraji po obvodu části uložení filtru je 6 průchozích děr po 60° a na protikusku ve stejném rozmístění je 6 závitových děr (obr. 27). Skrze průchozí díry prochází šrouby, které jsou zašroubovány do děr závitových. Výhodou tohoto spojení je jeho rozebíratelnost a pevné spojení obou částí k sobě. Nevýhodou je oproti upínkám delší demontáž šroubů a nutnost zvětšení vnějších průměrů částí přípravku, čímž dojde ke zvýšení hmotnosti a ceny přípravku v důsledku náročnější výroby tohoto řešení.



Obr. 27: Šroubové spojení (A-šrouby)

3.4.4 Závitové spojení

Konstrukce tohoto návrhu spočívá v tom, že na části pro uložení filtru se vyrobí vnější závit a část vývodu vzduchu se zvětší a vytvoří se v ní velký vnitřní závit a obě části se do sebe zašroubují (obr. 28). Řešení je těsné a snadno rozebíratelné, ovšem opět vznikají vyšší náklady na výrobu a materiál pro konstrukci přípravku při čemž se zvýší i hmotnost.



Obr. 28: Závité spojení (A – závit)

3.4.5 Volbaspojení filtračního zařízení

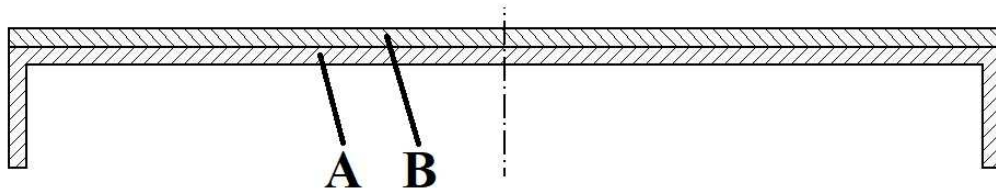
Tab. 4: Hodnocení parametrů spojení částí filtračního zařízení (bodové hodnocení je v rozmezí jeden až čtyři body, kdy jeden bod = nejlepší)

Spojení	Pant a upínka	S dvěma upínkami	Šroubové spojení	Závité spojení
Nejmenší objem materiálu spojení	1	3	2	4
Nejméně složitá konstrukce	3	1	2	4
Nejnižší cena	3	1	2	4
Nejnižší hmotnost	2	3	1	4
Nejjednodušší otevírání	2	1	4	3
Možnost čištění filtrační jednotky	2	1	4	3
Nejkratší čas potřebný k otevření	2	1	4	3
Hodnocení	15	11	19	25

Podle tabulky pro porovnání výhod a nevýhod jednotlivých návrhů spojení částí filtračního zařízení byl vybrán návrh se dvěma upínkami, protože dle hodnocení jednotlivých parametrů spojení tento návrh získal nejlepší hodnocení. Dvě upínky zajišťují jednoduché a rychlé otevření i zavření filtračního zařízení. Cena tohoto řešení je také velmi příznivá a celkově z vybraných návrhů zajišťuje nejjednodušší manipulaci.

3.5 Návrh spojení filtračního zařízení s víkem doplňované nádoby

Původní víko doplňované nádoby je vyrobeno z HDPE (obr. 29 – A), které není dostatečně pevné, proto bylo navrženo vyztužit víko pomocí plechu kruhového průřezu (obr. 29 – B), který se uloží na plastové víko a spojí se pomocí hadicového trnu se závitem z vnější části plechového víka a pomocí protikusů se závitem ze spodní strany plastového víka. U každé varianty je přípravek uložen tak, že od části jeho osazení menší průměr přípravku prochází skrze obě víka a končí ve vnitřním prostoru doplňované nádoby.



Obr. 29: Vyztužení HDPE víka nádoby plechem kruhového průřezu (A-HDPE víko, B-plechové víko)

3.5.1 Lepený spoj

Návrh lepeného spoje spočívá v přilepení filtračního zařízení k plechové výztuze a přilepení plechové výztuhy k HDPE víku nádoby. Tento spoj zajišťuje těsnost přípravku, ale způsob lepení je nevhodný, protože se k sobě lepí dva rozdílné materiály (HDPE a ocel). Další nevýhodou je, že lepení polyetylenu je problematické.

3.5.2 Šroubový spoj

Tento druh spojení zajišťuje pevné spojení vík k sobě. V návrhu je použito 6 šroubů, které jsou rozmístěné po obvodu osazené části přípravku po 60° stupních a ze spodní části víka je podložka s 6 dírami, která upevňuje utahení vík k sobě. Tento druh spojení je nevhodný, protože není dokonale těsný a může docházet k úniku vzduchu s pájecím práškem.

3.5.3 Svařený spoj

U tohoto druhu spojení je plech (sloužící k vyztužení polyethylenového víka) přivařen ke kovovému tělu filtračního zařízení a tento způsob je vhodný z toho důvodu, že spojení mezi kovovým víkem a přípravkem je dokonale těsné a pevné. Problémem tohoto spojení je, že není pevně připevněno plastové víko ke kovovému a proto je nutné použití dalšího druhu spojení proto, aby byla zajištěna těsnost a připevnění HDPE víka a výztuhy k sobě. S tím je spojený růst nákladů na výrobu i konstrukci.

3.5.4 Kombinace šroubového spoje a těsnění

Tento návrh obsahuje šroubové a lepené spojení a kombinuje výhody obou řešení. Šroubové spojení zajišťuje pevné sevření mezi filtračním zařízením a víkem nádoby, těsnost je zajištěna prvním těsněním nasunutým na osazený průměr přípravku mezi kovovým víkem a filtračním zařízením. Dále se zde nachází druhé těsnění mezi HDPE víkem a podložkou, které je opět navlečeno na osazený průměr přípravku a celá sestava je utažena šesti šrouby. Tyto šrouby procházejí skrze podložku tvaru mezikružní, která v sobě má šest děr po 60° a zlepšují pevnost celého spojení.

3.5.5 Tabulka výhod a nevýhod spojení zařízení s víkem doplňované nádoby

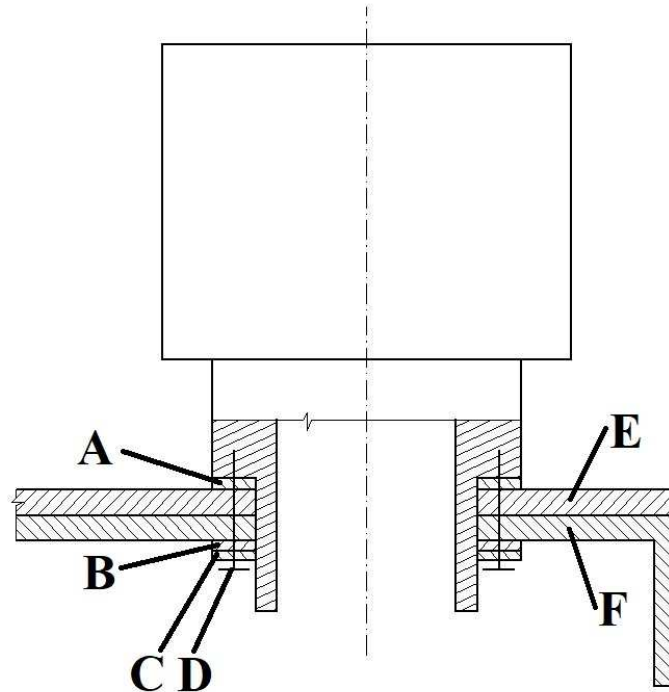
Tab. 5: Hodnocení parametrů spojení HDPE víka, plechové výztuhy a filtračního zařízení (bodové hodnocení je v rozmezí jeden až čtyři body, kdy jeden bod = nejlepší)

Spojení víka, výztuhy a filtračního zařízení	Lepený spoj	Šroubový spoj	Svařovaný spoj	Šroubový spoj s těsněním
Nejmenší hmotnost použitých materiálů spojení	1	3	2	4
Nejméně složitá konstrukce	3	1	4	2
Nejnižší cena materiálu	1	2	3	4
Možnost výměny jednotlivých komponent spojení po opotřebení	4	1	4	1
Těsnost	4	2	3	1
Pevnost spojení	4	2	3	1
Hodnocení	17	11	19	13

3.5.6 Volba spojení zařízení s víkem doplňované nádoby

Ze srovnání podle tabulky výhod a nevýhod spojení HDPE víka, plechové výztuhy a filtračního zařízení vyplývá, že bodové hodnocení má nejlepší varianta šroubového

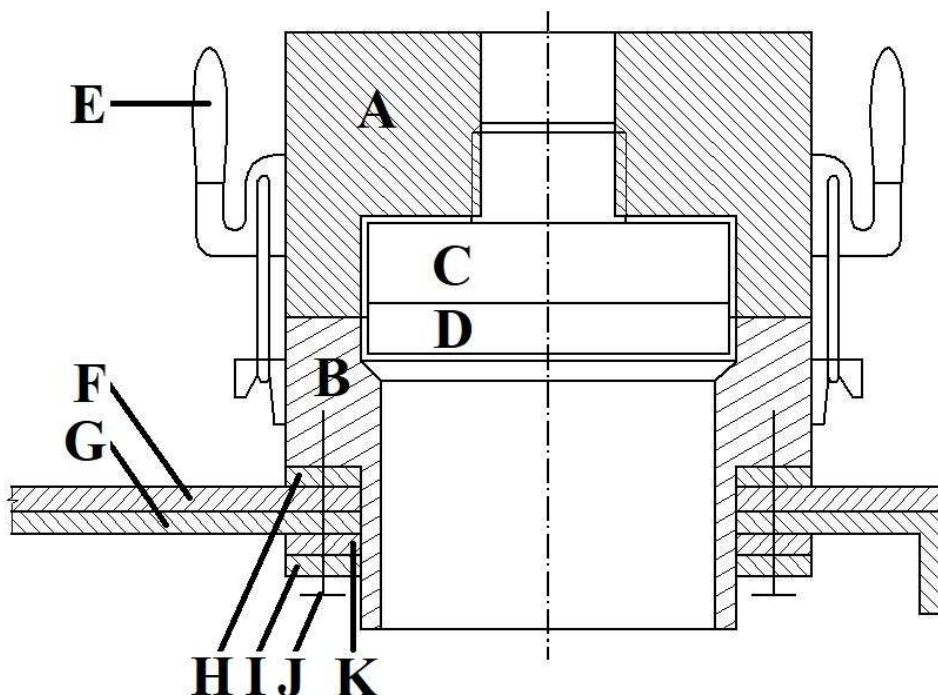
spojení. Ovšem s ohledem na těsnost toto řešení je horší než šroubové spojení s těsněním, proto nebude toto řešení použito. Těsnost je velmi důležitý parametr při přečerpávání pájecího prášku Flux a je potřeba, aby nedocházelo k jeho úniku při přesunu z přečerpávané do doplňované nádoby. Proto bylo vybráno šroubové spojení s těsněním (obr. 30).



Obr. 30: Kombinace šroubového spoje a těsnění (A-vrchní těsnění, B-spodní těsnění, C-podložka, D-šroub, E-plechové víko, F-HDPE víko)

3.6 Volba výsledného konceptu

Výsledný návrh konceptu (obr. 31) se skládá z vertikálně uloženého filtračního zařízení, uvnitř kterého se nachází filtrační jednotka složená z předfiltru a Filtru P3. Spojení částí filtračního zařízení (části vzduchového vývodu a přívodu) jsou spojeny pomocí dvojice upínek. Spojení filtračního zařízení a vyztuženého víka doplňované nádoby je realizováno pomocí šroubového spojení s těsněním.



Obr. 31: Výsledná varianta konceptu (A-vzduchový vývod, B-vzduchový přívod, C-filtr, D-předfiltr, E-upínka, F-plechová výztuha, G-HDPE víko, H-vrchní těsnění, I-Podložka, J-šroub, K-spodní těsnění)

4 Experiment

Experiment je zaměřen na stanovení a ověření velikosti pevných částic pájecího prášku Flux. Další část experimentu je zaměřena na filtrační účinnost zvoleného filtru P3 PRO2000 od firmy Scott Safety.

4.1 Ověření velikosti částic

Měření velikosti částic bylo provedeno v laboratořích TUL na optickém mikroskopu (OM) Nikon H550L při dvěstěnásobném zvětšení a na skenovacím elektronovém mikroskopu (SEM) Vega 3 Tescan při pětitisícinásobném zvětšení částic. Měřené částice byly připraveny tak, že na terčík byla přilepena oboustranná lepicí páska na kterou byla nanesena vrstva pájecího prášku. V případě SEM byl terčík pozlacen vrstvou zlata o tloušťce vrstvy 7 nm, poté byl vložen do snímací komory SEM a následně probíhalo vlastní měření velikosti průměrů částic pájecího prášku. SEM byl použit, protože při tomto způsobu měření je větší hloubka ostrosti než u OM a tím je přesnost SEM výrazně vyšší pro menší částice pájecího prášku.

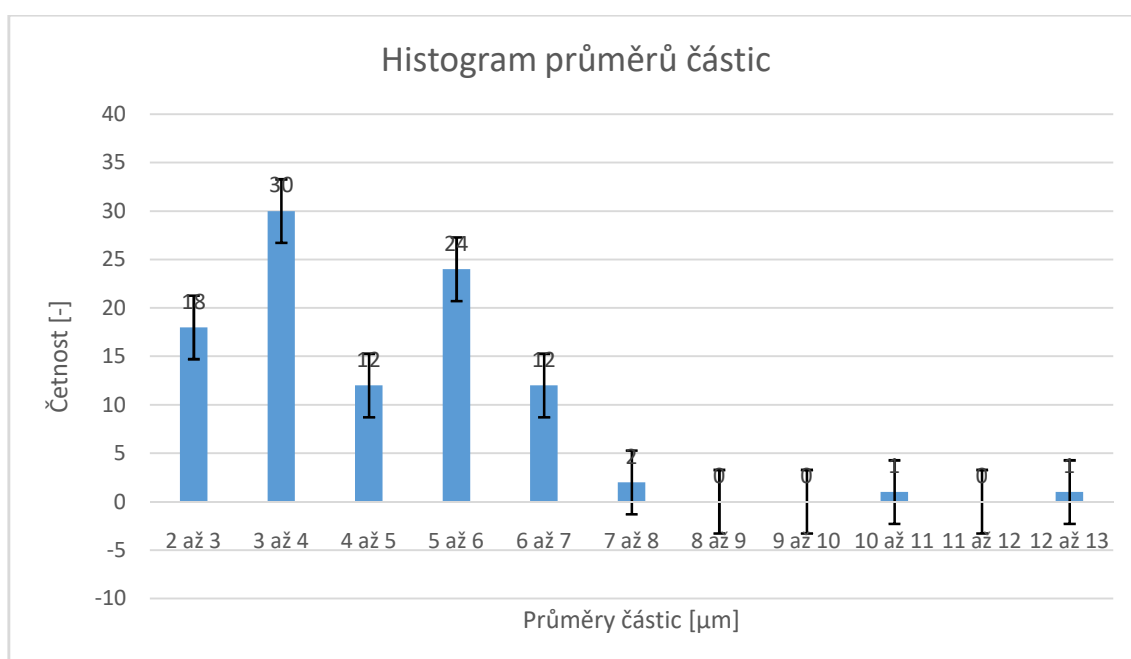
Při měření optickým mikroskopem bylo měřeno pomocí obrazové analýzy NIS Elements AR 100 náhodných průměrů částic pájecího prášku Flux. Stanovené hodnoty

průměrů byly zaneseny do tabulky č. 6 a dále byl vytvořen histogram (graf 2). Výsledné statistické hodnoty byly zapsány do tabulky č. 7.

Tab. 6: Průměry částic z OM

Průměr částice [μm]	2 až 3	3 až 4	4 až 5	5 až 6	6 až 7	7 až 8	8 až 9	9 až 10	10 až 11	11 až 12	12 až 13
Počet částic	18	30	12	24	12	2	0	0	1	0	1

Graf 2: Histogram průměrů částic z OM



Tab. 7: Statistické hodnoty částic z OM

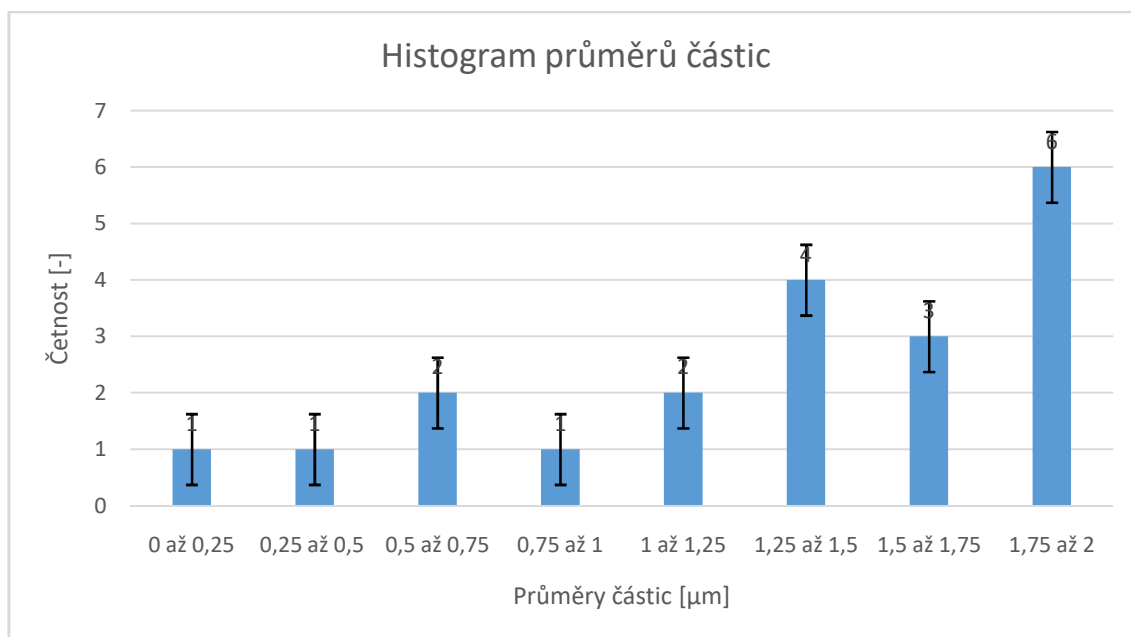
Počet měření	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	95% IS
100	4,67	1,92	(4,29 - 5,04)

Pro ověření, zda se nevyskytují také částice s průměrem nižším než 2 μm, tedy hodnota uváděná výrobcem prášku, byly vytvořeny snímky na skenovacím elektronovém mikroskopu a poté byly zkoumány nejmenší průměry částic pájecího prášku Flux pomocí nástroje „Měření“ v ovládacím programu elektronového mikroskopu VEGA TC. Bylo zjištěno, jaké nejmenší průměry částic prášek obsahuje a ty byly následně zaznamenány do tabulky č. 8. Statistické hodnoty měření jsou zapsány v tabulce č.9.

Tab. 8: Průměry částic ze SEM

Průměr částice [μm]	0 až 0,25	0,25 až 0,5	0,5 až 0,75	0,75 až 1	1 až 1,25	1,25 až 1,5	1,5 až 1,75	1,75 až 2
Počet částic	1	1	2	1	2	4	3	6

Graf 3: Histogram průměru částic ze SEM



Tab. 9: Statistické hodnoty částic ze SEM

Počet měření	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	95% IS
20	1,32	0,57	(1,049 - 1,58)

Z naměřených hodnot průměrů částic vyplývá, že se jejich velikost pohybuje od 0,21 μm do 12,45 μm. Největší množství částic se pohybuje v rozmezí od 3 do 4 μm. Měřením bylo tedy ověřeno, že střední velikost částic uvedená v bezpečnostních listech k pájecímu prášku Flux odpovídá deklarovaným hodnotám. Avšak bylo zjištěno, že se zde nachází i částice menší a to s průměrem pod 1 μm. Jejich četnost je však poměrně malá (přibližně 9,5%). Je tedy nutno počítat s tím, že drobnému průniku částic filtrem může docházet.

4.2 Stanovení účinnosti filtru

Účinnost filtru byla měřena na zařízení Bench Mounting Rig type 1100 P pro testování aerosolem NaCl, kdy je měřena odlučivost polydisperzních částic. Toto zařízení je ur-

čené pro testování jemných, respiračních a vysoce účinných filtrů např. HEPA, filtry třídy F a jiné. Přístroj umožňuje stanovit efektivitu filtrace a tlakového spádu na částicích o velikosti 0,02 až 2 μm a při rychlostech proudění od 1,5 do 9,5 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Měřený filtr byl nejprve testován bez předfiltru a poté s předfiltrem, po aplikaci předfiltru došlo k nárůstu tlakového spádu (tab. 10) a zvětšila se také efektivita zachytu částic aerosolu.

Tab. 10: Hodnoty měření účinnosti

Sestava	Proudění [$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$]	Tlakový spád [Pa]	Účinnost [%]
Filtr P3	95	116	99,98
Filtr P3 a předfiltr	95	125	99,99

Podle naměřených hodnot bylo zjištěno, že filtr P3 PRO 2000 v sestavě s předfiltrem je velmi účinný při zachytu pevných částic, jejichž náletová rychlost byla 0,16 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Jeho účinnost při zvýšení tlakového spádu ze 116 Pa na 125 Pa klesla pouze o 0,01 % z toho lze určit, že při zvýšení tlakového spádu filtrační účinnost klesá velmi pomalu a proto je tento typ filtru vhodný pro další použití při realizaci konceptu filtračního zařízení.

Dále byl měřen nárůst tlakového spádu při postupném zanášení filtru pomocí zařízení Dust Filter Tester 2 (DFT-2). Na tomto přístroji lze testovat odlučivost syntetického prachu, tlakový spád, náletovou rychlost vzduchu pronikající filtrem, živostnost filtru a změny uvedených vlastností v průběhu filtrace. V případě tohoto testování na místo syntetického prachu byl použit pájecí prášek a testovanou veličinou byl tlakový spád filtru. Tento přístroj lze také použít v kombinaci s odprašovacím zařízením, kde je používán zpětný tlak od 0,1 do 0,5 MPa, ovšem v případě tohoto testování nebylo odprašovací zařízení použito. Výsledky nárůstu tlakového spádu byly zaznamenány do tabulky č. 11. Postupně bylo přidáváno 0,2 g prášku v každém cyklu za konstantní hodnoty průtoku 3200 $\text{l}\cdot\text{hod}^{-1}$ a náletové rychlosti částic 0,09 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tlakový spád filtru P3 PRO 2000 narůstal v závislosti na zanesení filtru, kdy v každém měřeném cyklu byla přidána stejná dávka pájecího prášku (graf 4).

Tab. 11: Tabulka nárůstu tlakového spádu v závislosti na množství zachyceného prášku

Cyklus	Množství přidávaného prášku [g]	Celkové množství prášku [g]	Tlakový spád [Pa]
1	0,2	0,2	116
2		0,4	132
3		0,6	146
4		0,8	168
5		1	202
6		1,2	232
7		1,4	264
8		1,6	287
9		1,8	318
10		2	349

Graf 4: Graf nárůstu tlakového spádu v závislosti na množství zachyceného prášku



4.3 Realizace konceptu a experimentální ověření

Koncept byl podrobně popsán v kapitole 3 (Volby výsledného konceptu). Poté byl sestaven (obr. 33) a připraven k ověřování. Výkresy realizovaného konceptu jsou umístěny v příloze A. Vybrané konkrétní části filtračního zařízení jsou uvedeny a popsány dále v textu. Víko je k doplňované nádobě připevněno stahovací objímkou (obr. 34), která je standardně dodávána s nádobami pájecího prášku Flux. Do víka doplňované nádoby byl podle vzoru předchozího řešení přecherčovacího zařízení umístěn hadicový trn se zpětnými hroty (Mosazný hadicový trn 3/4" x 20 mm – obr. 32) pro připojení tla-

kové hadice (průměr 19 mm), kterou je přečerpáván pájecí prášek. Ostatní části přečerpávacího zařízení (viz kapitola 2 Charakteristika přečerpávacího zařízení) byly zachovány podle původního schématu (obr. 12).



Obr. 32: Mosazný hadicový trn $\frac{3}{4}$ " x 20 mm [Cerpadlobezstarosti, 2018]



Obr. 33: Sestavený koncept



Obr. 34: Objímka (A-otevřená poloha, B-uzavřená poloha)

Po přečerpání byla provedena fotografická dokumentace částí filtrační jednotky uložené ve vzduchovém vývodu (obr. 35), kde je možné vidět filtrační jednotku (obr. 36) složenou z filtru (obr. 37) a předfiltr (obr. 38). Spojení vzduchového přívodu je zobrazeno na obrázku č. 39 – A, na tomto obrázku je možné vidět i druhou část hadicového trnu (obr. 39 – B). Vyztužení (obr. 40 – A) a pohled na vzduchový přívod při pohledu shora je zachycen na obr. 40 – B, na tomto obrázku lze spatřit i hadicový trn (obr. 40 – C).



Obr. 35: Filtrační jednotka uložená ve vzduchovém vývodu



Obr. 36: Vzduchový vývod



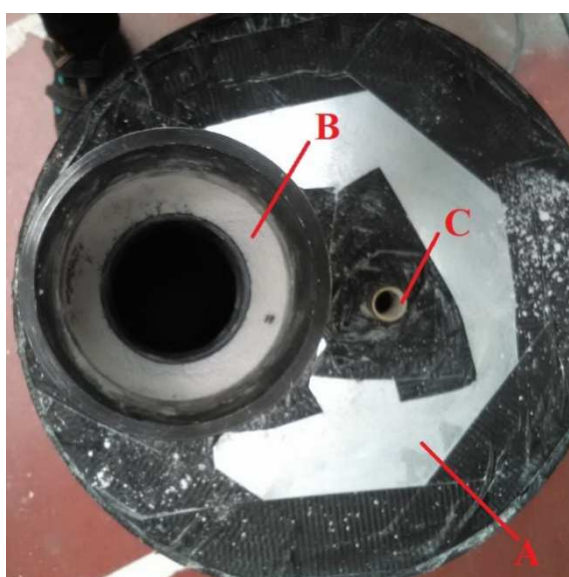
Obr. 37: Filtr po procesu přečerpávání pájecího prášku



Obr. 38: Předfiltr



Obr. 39: Víko doplňované nádoby ze spodní strany (A-spojení vzduchového přívodu a víka doplňované nádoby, B-hadicový trn)



Obr. 40: Víko doplňované nádoby (A-výztuž víka, B-vzduchový přívod, C-hadicový trn)

Testování filtračního zařízení probíhalo po dobu, kterou trvá přečerpání objemu jedné nádoby s pájecím práškem Flux. Doba plnění jedné doplňované nádoby je přibližně 50 minut. Test probíhal tak, že na doplňovanou nádobu bylo umístěno víko spojené s přečerpávacím zařízením. Po upevnění víka doplňované nádoby byl zahájen test otevřením pákového uzávěru a tím bylo umožněno proudění tlakového vzduchu, který přečerpává pájecí prášek. Zároveň bylo započato měření času, při kterém dojde k ucpání filtračního zařízení a bude nutná údržba filtru (čištění, resp. výměna). Tato doba je určena nárůstem tlaku v doplňované nádobě. Po ucpání filtru obsluha vypnula přívod vzduchu a ten byl vyjmut a očištěn oklepem. Po očištění byl opět vložen zpět do filtrač-

ního zařízení a proces přečerpávání pokračoval po zapnutí přívodu vzduchu. Tento cyklus se opakoval, dokud nebyla doplňovaná nádoba plná.

Dále byla změřena hodnota hmotnosti před a po ucpání filtru, z níž je možné určit množství zachycených částic.

5 Výsledky a diskuze

Výsledky měření jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 10), v které jsou zahrnuty měřené časy přečerpávacího cyklu včetně doby do jednotlivých ucpání filtru a počet čištění pro přečerpání objemu jedné doplňované nádoby.

Tab. 12: Výsledky měření přečerpávání nádoby (Celkový čas měření 50 minut a 28 sekund)

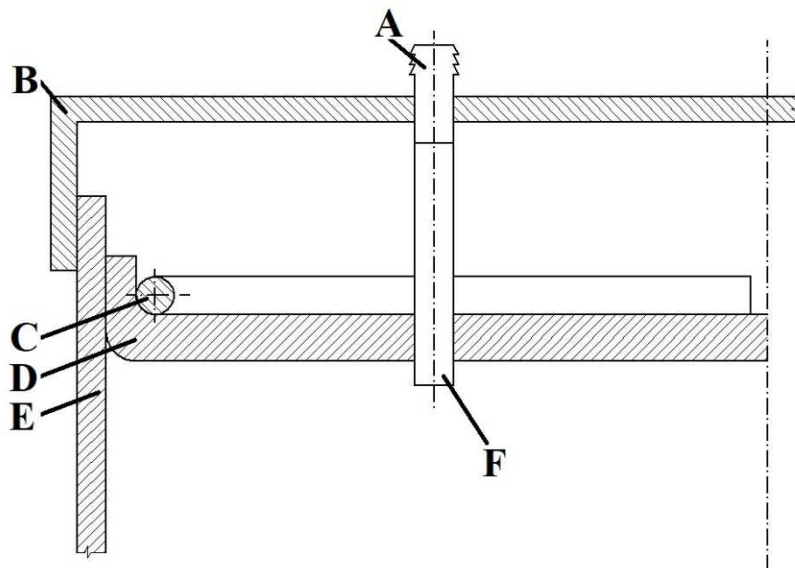
Počet měření	Čas do ucpání filtru		Čas údržby filtru [sek]	Hmotnost filtrační jednotky [g]		Hmotnost pájecího prášku Flux [g]
	[min]	[sek]		před ucpáním	po ucpání	
1	3	38	53	101,44	123,28	21,85
2	3	12	51	109,28	124,65	15,38
3	3	10	48	111,24	125,07	13,83
4	3	8	50	112,16	126,48	14,33
5	3	10	49	111,26	125,36	14,10
6	3	5	53	112,59	126,87	14,29
7	3	14	47	111,41	125,69	14,28
8	3	2	45	112,07	125,84	13,78
9	3	6	52	112,43	126,35	13,92
10	3	7	48	111,58	126,26	14,68
11	3	10	51	111,73	125,48	13,76
12	3	5	54	112,03	126,49	14,45
13	3	9	47	111,87	126,46	14,59
14	3	6	51	112,23	125,99	13,76
15	3	4	50	111,89	126,87	14,98
16	3	2	53	112,16	126,37	14,21
Průměrné hodnoty	3	9	50,13	111,09	125,85	14,76

Z měření vyplývá, že filtr do ucpání vydrží být funkční průměrně po dobu tří minut a devíti sekund. Celkem se musel vyčistit šestnáctkrát během jednoho přečerpávacího cyklu, který bez času čištění filtru trval 50 minut a 28 sekund. Průměrné množství zachyceného pájecího prášku je 14,76 g. Průměrný čas čištění se pohyboval okolo 50

sekund, což při 16 čištěních představuje nárůst celkové doby přečerpávání o 13 minut a 20 sekund. Nevýhodou je, že pracovník musí být neustále poblíž přečerpávacího zařízení, a nelze jej využít pro další činnost.

5.1 Návrh optimalizace

Z důvodu častého čištění filtru byla navržena optimalizace v podobě hrubého filtru, který by byl umístěn přímo do doplňované nádoby před část vzduchového přívodu do filtračního zařízení (obr. 41). Tento filtr by měl zachycovat větší částice pájecího prášku, proto aby byla prodloužena životnost filtrační jednotky a doba mezi jednotlivými čištěními. Pro jednoduchost je navržen filtr plochý, nikoliv skládaný, který by dále snížil tlakový spád a zejména zvýšil kapacitu filtru. Důvodem použití filtrační textilie v metráži je možnost vystřížení tvaru filtru podle vnitřního průměru doplňované nádoby, tak aby bylo možné ji upevnit uvnitř doplňované nádoby pomocí rozpínací objímky. Vybrána byla netkaná textilie třídy F5, která je termicky a mechanicky zpevněna, její účinnost je 98% při filtrování částic větších než 5 μm (včetně). Její cena za 1m² se pohybuje okolo 110 Kč bez DPH a lze z ní připravit až 12 kusů filtru. Cena jednoho filtru je tedy 9,16 Kč bez DPH. Aby docházelo k filtraci skrze hrubý filtr před vstupem prášku do filtračního zařízení, je v sestavě na hadicový trn připevněna trubkaprocházející skrze hrubý filtr. Ověřování optimalizovaného filtračního zařízení z časových důvodů již neproběhlo, ale lze předpokládat prodloužení intervalů čištění a tedy zefektivnění procesu čerpání pájecího prášku.



Obr. 41: Uložení hrubého filtru do doplňované nádoby (A-hadicový trn, B-víko doplňované nádoby, C-rozpínací objímka držící hrubý filtr, D-hrubý filtr, E-doplňovaná nádoba, F-trubka zajišťující průtok prášku pod filtr)

6 Závěr

Při návrhu a realizaci konceptu filtračního zařízení bylo bráno v potaz zejména škodlivé působení pájecího prášku Flux, který může způsobit zdravotní komplikace při vdechnutí, kontaktu s očima nebo kůží člověka, který se s ním dostane do styku. Filtrační zařízení má sloužit k zamezení úniku prášku do okolí přečerpávacího zařízení a je umístěno na víku doplňované nádoby. Filtrační zařízení bylo navrženo a použito k zachytu pevných částic pájecího prášku, který je unášen proudem z přečerpávané nádoby. Využívá se rozvod technického vzduchu o tlaku 6 barů. Plynné médium (vzduch) nasává pomocí podtlaku pájecí prášek z přečerpávané nádoby a skrze tlakovou hadici o průměru 19 mm přečerpává prášek do doplňované nádoby, ke které je druhý konec hadice připojen mosazným hadicovým trnem se zpětnými hroty. Tento trn zajišťuje spojení tlakové hadice s víkem doplňované nádoby a skrze něj proudí směs prášku a vzduchu do vnitřního prostoru této nádoby. Přečerpávací zařízení bylo zachováno podle původního konceptu s tím, že bylo modifikováno víko doplňované nádoby, tak aby k němu bylo možné připojit filtrační zařízení, které se skládá z vzduchového přívodu, filtrační jednotky a vzduchového vývodu. Vzduchový přívod je pevně spojen s vyztuženým víkem doplňované nádoby (pomocí 6 šroubů a podložky s těsněními) a slouží k usměrnění proudění vzduchu obsahujícího pájecí prášek směrem k filtrační jednotce. Tato jednotka plní funkci zachytu pevných částic pájecího prášku a propouští odfiltrovaný vzduch do vzduchového vývodu. Vzduchový vývod kromě toho, že ním proudí filtrovaný vzduch z doplňované nádoby, plní také funkci nesení filtrační jednotky pomocí závitového spojení. Filtrační jednotka je uzavřena mezi vzduchový vývod a přívod. Spojení částí vzduchového vývodu a přívodu je řešeno pomocí dvou upínek, které zajišťují uzavření filtračního zařízení. Výše zmíněné víko doplňované nádoby je vyztuženo plechem o vnějším průměru plastového víka doplňované nádoby a jeho tloušťka je 3 mm. Vyztužení slouží k zpevnění víka a zabraňuje deformaci po připojení filtračního zařízení. Díly původního víka a vyztužení jsou k sobě spojeny šrouby, kterými je zároveň připojeno filtrační zařízení k vyztuženému víku.

Filtrační jednotka je sestavena z filtru P3 PRO 2000 a předfiltru pro tento filtr. Tyto komponenty byly zvoleny podle doporučení výrobce pájecího prášku z bezpečnostních listů a po ověření vlastností pájecího prášku a filtru s předfiltrem. Při ověření velikosti pevných částic byl použit optický a skenovací elektronový mikroskop. Z provedeného měření vyplynulo, že se velikost udávaná výrobcem prášku shoduje s naměřenou velikostí průměrů částic, avšak pomocí SEM byly nalezeny i částice menší než 1 μm . Ty sice zastupují pouze menší množství z celkového počtu částic (9,5 %), nicméně je vhodné mít tento fakt na zřeteli. Další testování bylo provedeno na filtrační jednotce (filtr P3 PRO 2000 a předfiltr), která byla testována na zařízeních Bench mounting Rig Type 1100 P a DFT-2. První zařízení vystavuje testovanou filtrační jednotku proudění aerosolu vzduchu s krystaly soli (NaCl) a měří efektivitu filtru při zachytu polydisperzních částic tohoto aerosolu. Účinnost filtrační jednotky je velmi vysoká a to 99,99 % při použití předfiltru a 99,98 % bez předfiltru. Druhé zařízení (DFT-2) bylo použito pro měření hodnoty tlakového spádu při postupném ucpávání filtru. Kromě toho

byla zjištěna i kapacita filtru, tedy množství prachu, který je schopen zachytit, než dojde k jeho ucpání.

Při praktickém testování filtračního zařízení v provozu Densco Manufacturing Czech s.r.o. bylo zjištěno, že se filtrační jednotka v poměrně krátkém čase ucpe (16 krát během jednoho přečerpávacího cyklu, který trvá přibližně 50 minut), čas ucpání byl průměrně po 3 minutách a 9 sekundách. Proto byla navržena optimalizace v podobě hrubého předfiltru třídy F5, který by byl umístěn přímo do doplňované nádoby, kde by vyplňoval celý průřez nádoby a byl by zde upevněn pomocí rozpěrné obruče. Předpokládá se, že tato optimalizace prodlouží životnost filtrační jednotky a tím zmenší počet čištění, které prodlužovalo přečerpávací cyklus přibližně o 13 minut a 20 sekund. V důsledku toho se sníží pracovní vytíženost obsluhy přečerpávacího zařízení. Při testování filtračního zařízení v praxi bylo zjištěno, že je možné výsledný realizovaný koncept používat a plní svou funkci, kdy brání úniku pájecího prášku do okolí přečerpávacího zařízení.

Použitá literatura

ANSI/ASHRAE [1992]. ASHRAE Standard 52.1: gravimetric and dust-spot procedures for testing air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., p. 32.

ANSI/ASHRAE [2001]. ASHRAE Standard 52.2: method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., p. 41.

Bezpečnostní listy: Nocolock Flux Drystatic [online]. 2015 [cit. 2017-10-18] Dostupné z: <https://solvay.com>

ČSN EN 779 – 2012 [online]. 2012 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <http://www.ksklimaservice.cz/cz/mezinarodni-klasifikace-vzduchovych-filtru>

ČSN EN 1822 – 2010 [online]. 2010 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <http://www.ksklimaservice.cz/cz/mezinarodni-klasifikace-vzduchovych-filtru>

Filtr P3 Vochoc [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <http://www.vochoc.cz/detailvyrobku.php?idABRA=I700000101&idVyrobku=3416&idKategorie=Q300000101&objCislo=052670>

Guidance for filtration and air-cleaning systems to protect building environments from airborne chemical biological or radiological attacks. DHHS publication – Vydání 2003–2136. DIANE Publishing, 2003. ISBN 142899453X.

Hadicový trn [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <https://www.cerpadlabezstarosti.cz/prislusenstvi/884-hadicovy-trn-34-x-20-mm>

Jemná filtrace třída F5 [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <http://eshop.tovarna-plsti.cz/filtrace/filtrace-pevnych-castic-jemna/F5/S4282-320/>

Klasifikace vzduchových filtrů [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <http://www.filtr-pro.cz/technicke-parametry>

Kouř [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kouř>

Mikroorganismus: [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mikroorganismus>

Pára [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pára>

Prach [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Prach>

Principy filtrace [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <https://www.malina-safety.cz/principy-filtrace/>

Předfiltr Vochoč [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <https://www.vochoč.cz/ochrana-dychacich-cest/celooblicejove-masky/detail-vyroby.php?idABRA=K700000101&idVyroby=188&objCislo=052692>

Radioaktivita [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Radioaktivita>

Specifikace filtrů Scott PRO2000 [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: https://www.oopp.cz/download/scott_filtry.pdf

Spengler JD, Samet JM, McCarthy JF. *Indoor air quality handbook*. New York, NY: McGraw-Hill, 2000

ŠULC, Jaroslav. ŠINTÁK, Jiří. *Právní problematika a ochrana životního prostředí*. 1.vyd. Liberec: VŠST, 1990. Str. 29 - 39

Vlastnosti vzduchových filtrů [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <http://www.ksklimaservice.cz/cz/vlastnosti-vzduchovych-filtru-a-jejich-pouziti>

Vzduchový filtr [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vzduchov%C3%BD_filtr

Vzduchové filtry [online]. 2018 [cit. 2018-04-25] Dostupné z: <http://www.mdfilter.cz/vzduchove-filtry.html>

Seznam obrázků

Obr. 1: Uložení vláken v částicovém filtru	12
Obr. 2: Setrvačný princip	13
Obr. 3: Intercepční způsob	13
Obr. 4: Gravitační princip	13
Obr. 5: Difuze	14
Obr. 6: Elektrostatická přitažlivost	14
Obr. 7: Kapsový filtr	14
Obr. 8: Pytlový filtr	15
Obr. 9: Rámečkový filtr	15
Obr. 10: Kompaktní filtr	16
Obr. 11: Kazetový filtr	16
Obr. 12: Schéma přečerpávacího zařízení	22
Obr. 13: Nádoba s pájecím práškem Flux	22
Obr. 14: Víko přečerpávané nádoby	23
Obr. 15: Doplněvaná nádoba	23
Obr. 16: Filtr P3 PRO 2000 ; Obr. 17: Předfiltr a rámeček předfiltru	26
Obr. 18: Filtrační jednotka	26
Obr. 19: Horizontální uložení filtru	27
Obr. 20: Vertikální uložení filtru	27
Obr. 21: Uložení s rovnou trubkou	28
Obr. 22: Uložení s rozšířeným vnitřním průměrem	29
Obr. 23: Uložení s přímým na konci rozšířeným vnitřním průměrem	29
Obr. 24: Uložení se zúženým vnitřním průměrem	30
Obr. 25: Spojení pant a upínka	32
Obr. 26: Spojení dvěma upínkami	32
Obr. 27: Šroubové spojení	33
Obr. 28: Závitové spojení	34
Obr. 29: Vyztužení HDPE víka nádoby plechem kruhového průřezu	35
Obr. 30: Kombinace šroubového spoje a těsnění	37
Obr. 31: Výsledná varianta konceptu	38
Obr. 32: Mosazný hadicový trn 3/4" x 20 mm	43
Obr. 33: Sestavený koncept	43
Obr. 34: Objímka	43
Obr. 35: Filtrační jednotka uložená ve vzduchovém vývodu	44
Obr. 36: Vzduchový vývod	44
Obr. 37: Filtr po procesu přečerpávání pájecího prášku	45
Obr. 38: Předfiltr	45
Obr. 39: Víko doplňované nádoby ze spodní strany	46
Obr. 40: Víko doplňované nádoby	46
Obr. 41: Uložení hrubého filtru do doplňované nádoby	48

Seznam tabulek

Tab. 1: Měření charakteristických veličin dle EN.	18
Tab. 2 Srovnání ASHRAE Standartu 52.1 a 52.2.....	19
Tab. 3: Hodnocení parametrů uložení filtrační jednotky	31
Tab. 4: Hodnocení parametrů spojení částí filtračního zařízení	34
Tab. 5: Hodnocení parametrů spojení HDPE víka, plechové výztuhy a filtračního zařízení.....	36
Tab. 6: Průměry částic z OM	39
Tab. 7: Statistické hodnoty částic z OM	39
Tab. 8: Průměry částic ze SEM	40
Tab. 9: Statistické hodnoty částic ze SEM	40
Tab. 10: Hodnoty měření účinnosti	41
Tab. 11: Tabulka nárůstu tlakového spádu v závislosti na množství zachyceného prášku	42
Tab. 12: Výsledky měření přečerpávání nádoby	47

Seznam grafů

Graf 1: Data testování dle ASHRAE Standart 52.2 pro filtr MERV 9, který ukazuje účinnost sběru při zatížení filtru	19
Graf 2: Histogram průměrů částic z OM	39
Graf 3: Histogram průměrů částic ze SEM.....	40
Graf 4: Graf nárůstu tlakového spádu v závislosti na množství zachyceného prášku....	42

Přílohy

- A. Výkresová dokumentace
- B. CD