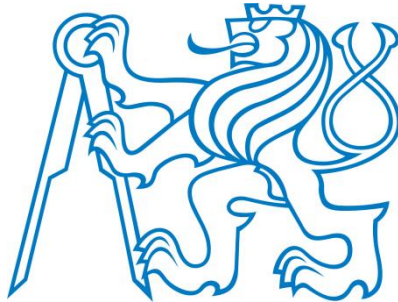


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



Rotační klimatizační filtr CounterFlow

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Josef Lácha

Vedoucí bakalářské práce :

doc. Ing. Karel Papež, CSc.

Konzultanti :

**doc. Ing. Karel Papež, CSc.
Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.
Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.**

2017/2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lácha	Jméno: Josef	Osobní číslo: 410566
Zadávací katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov		
Studijní program: (N3649) Budovy a prostředí		
Studijní obor: (3608T006) Budovy a prostředí		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	Rotační klimatizační filtr CouterFlow
Název diplomové práce anglicky:	Rotary air conditioning filter CouterFlow
Pokyny pro vypracování:	
1) Rešerže: Popis, princip a použití vytvořené vzduchotechnické komponenty	
2) Praktická část: Zjištění účinnosti a funkčnosti vybraných druhů filtračních vložek na vytvořeném vzduchotechnickém kanále při různých objemových průtocích vzduchu.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Karel Papež, CSc.	
Datum zadání diplomové práce: 2.10. 2018	Termín odevzdání diplomové práce: 8.1. 2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku	
Podpis/vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

3.10. 2017	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně
s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne

.....

Podpis

Poděkování:

Vedoucí této práce pan doc. Ing. Karel Papež, CSc. a externí konzultanti pan Ing. Daniel Adamovský, Ph.D. a paní Ing. Zuzana Veverková, Ph.D mi vždy dokázali pomoci při řešení mnoha problémů. Děkuji jim tímto za jejich čas, cenné rady a trpělivost v průběhu zpracovávání této diplomové práce na Katedře technických zařízení budov.

Obsah:

A) Teoretická část.....	3
A 1. Úvod.....	4
A 2. Popis a využití filtračního zařízení.....	5
A 2.1 Průvodní popis zařízení	5
A 2.2 Typy filtračních vložek.....	7
A 2.2.1 Vláknový filtr.....	7
A 2.2.2 Lamelový filtr.....	9
A 2.2.3 Elektro-statický filtr	11
A 2.3 Provozní fáze	13
A 2.4 Životnost	14
A 2.5 Tlakové a rychlostní poměry	15
A 2.6 Variabilita použití.....	15
A 2.6.1 Typy zařízení z hlediska umístění	15
A 2.6.2 Typy zařízení z hlediska rozdílu objemových průtoků.....	17
A 2.7 Oblast použití.....	19
A 2.8 Nevýhody a rizika filtru	22
A 3. Zařízení pracující na podobném principu	22
Závěr části A	25
B) Experimentální část.....	26
Úvod.....	27
B 1. Stavba zkušebního vzduchotechnického kanálu.....	28
B 1.1 Ventilátor.....	31
B 1.2 Manuální regulační klapka	33
B 1.3 Dávkovač prachu	37
B 1.4 Zkušební filtrační prach.....	39
B 1.5 Vzduchotechnické potrubí.....	42
B 1.6 Kontrolní a měřicí otvor.....	43
B 1.7 Mísící přepážky.....	43
B 1.8 Redukce profilu potrubí.....	44
B 1.9 Průsvitná přepážka do aktivní komory před filtrem	47
B 1.10 Kontrolní a revizní okna	48
B 1.11 Lamače laminárního proudění – Turbulátory	49
B 2. Návrh a výroba filtračních vložek	51
B 2.1 Konstrukce	51
B 2.2 Vývoj tvaru a umístění filtračních lamel.....	54
B 2.2.1 Vývoj lamel G2 a G3	56
B 2.2.2 Vývoj lamel F7	57
B 2.2.3 Vývoj lamel F9	58

B 3. Měření účinnosti regenerace filtračních vložek	60
B 3.1 Pomůcky k měření	60
B 3.2 Postup normové zkoušky	61
B 3.3 Postup naší zkoušky	62
B 3.4 Test filtru G2	63
B 3.5 Test filtru G3	70
B 3.6 Test filtru F7	76
B 3.7 Celkové shrnutí	86
Závěr části B	88
<i>Literatura a použité zdroje:</i>	90
<i>Seznam tabulek, grafů a obrázků</i>	93

Přílohy

Příloha A – Originální tabulkové záznamy výsledků z měření

Příloha B – Pořízené audiozáznamy

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá teoretickou i praktickou analýzou nově vytvořené regenerační filtrační komponenty, která by mohla být součástí nucené výměny vzduchu vnitřního prostředí. Popisované zařízení pracuje na principu, který ještě nebyl v žádných dostupných odborných pracích uveřejněn, ani sortiment světových výrobců vzduchotechniky nenabízí podobné zařízení, které by pracovalo na totožném základu. Jedná se o filtr, který se čistí za pomoci odpadního proudu vzduchu a udržuje si svou tlakovou ztrátu. K samočištění je využita rotace filtrační vložky, podobně jako je tomu u regeneračního výměníku tepla vzduchu.

Abstrakt:

This final thesis deals with theoretical and practical analysis the newly created self-cleaning filter component, that could be part of a forced air exchange indoor environment. The equipment described is based on a principle that has not yet been published in any available professional work, nor does the assortment of world air-conditioning manufacturers offer similar equipment that would work on an identical basis. This is a filter that cleans the help of the exhaust air stream and keeps your pressure drop. The self-cleaning filter cartridges utilized rotation, similarly as in the regenerative heat exchanger air.

A) Teoretická část

A 1. Úvod

Achillova pata nejen vzduchotechnických ale i jiných systémů je jejich pravidelná údržba. Toto se netýká případů, kdy údržbu vzduchotechniky obstarává specializovaná firma hrazená z finančních prostředků majitele objektu, nebo přímo pokud je majitelem pověřena konkrétní osoba, či správce objektu. Častější situace nastává tehdy, pokud zařízení spadá pod správu soukromých majitelů budov (rozsáhlé RD, penziony, bytové domy, soukromé pracovní dílny a podobné provozy), kteří pravidelné údržbě nevěnují dostatečnou pozornost, která je speciálně pro vzduchotechniku velice důležitá. Jedná se například o tyto činnosti:

- čištění a desinfence výměníků tepla a vodních trysek
- kontrola a čištění kompresorového obvodu
- kontrola přednastavených projektovaných parametrů klimatizační jednotky a její součástí
- kontrola a přetěsnění chladivového okruhu
- Výměna, kontrola, nebo čištění filtrů a filtračních zařízení

Pokud není prováděna údržba těchto částí, dochází k těmto nepříznivým souvislostem:

- nesprávná funkce jednotky (proměnný objemový průtok vzduchu, účinnost chlazení a ohřevu,)
- tvorba mikroorganismů na filtrech a v rekuperaci
- únik chladivové kapaliny
- poškození nebo zničení ventilátorů především s růstem tlakových ztrát filtrů
- odlučování zachycených částic na filtru směrem do interiéru

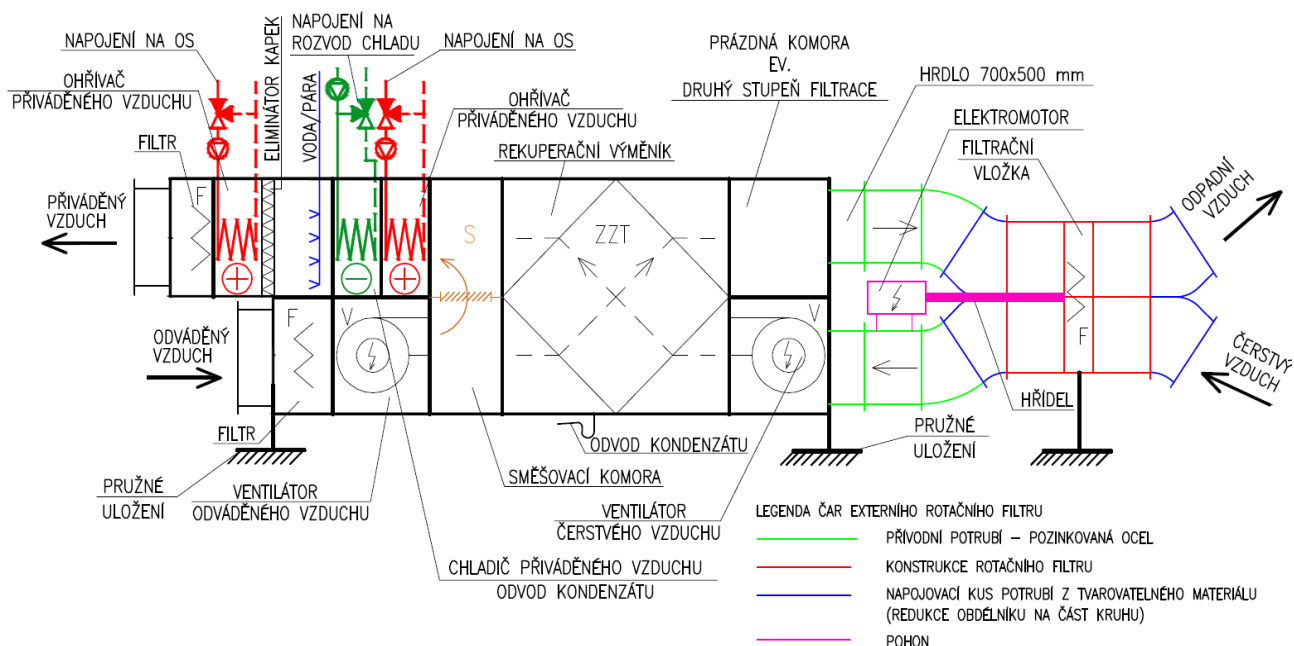
Z uvedených souvislostí nastávají v praxi nejčastěji ty případy, které souvisí s pravidelnou údržbou filtrů, protože interval výměny by měl být průměrně 3x do roka a pokud na toto není brán zřetel, filtry brzy dosáhnou vysoké tlakové ztráty a dochází k tlakovému namáhání ventilátorů. Tlakové ztráty samozřejmě s provozními hodinami filtru rostou, na povrchu se tvoří souvislá vrstva odloučených částic, ve kterých se množí mikroorganizmy a shluky částic jsou nekontrolovaně propouštěny filtrem do vnitřního prostředí. Konečná fáze tohoto problému nastává tehdy, pokud dojde vlivem obrovských tlakových ztrát ke spálení ventilátoru. Uvedení klimatizační jednotky v takovémto případě se pohybuje běžně v rámci desetitisíců Kč.

Žijme v pohodlné době a pravidelné kontroly zařízení se začínají stávat tabu. Právě tuto lidskou pohodlnost již trh zaregistroval a uvádí výrobky bezúdržbové, popřípadě s minimální údržbou, snadným uživatelským rozhraním a ovládáním v rodném jazyce. Z tohoto důvodu jsem se také rozhodl přispět do této oblasti novým typem filtru, který umožňuje efektivní samočištění, mnohem delší intervaly doby revize a samozřejmě méně častou výměnu filtračních vložek.

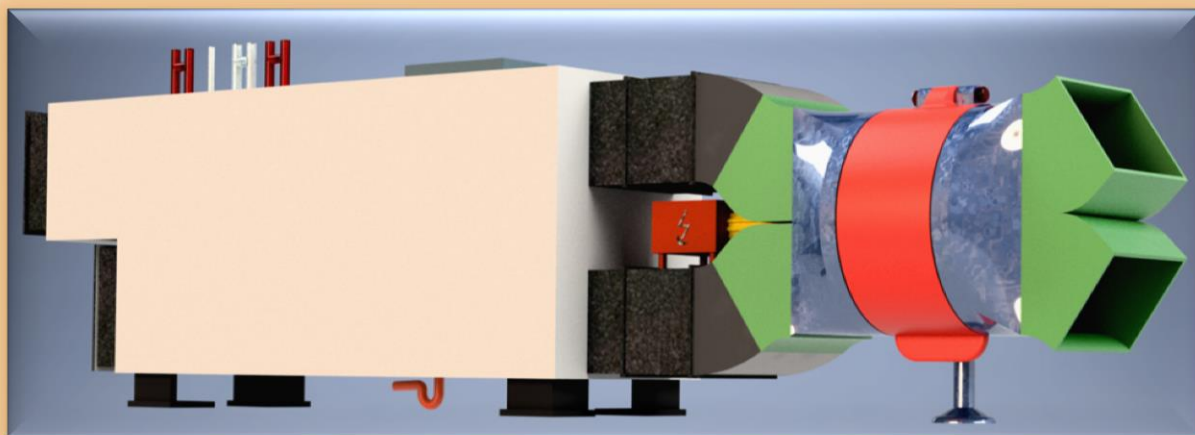
A 2. Popis a využití filtračního zařízení

A 2.1 Průvodní popis zařízení

Na počátek samotného popisu, bych rád zdůraznil, že toto zařízení ani jeho princip, se ještě nikdy neobjevilo v žádných odborných textech a ani světový výrobci nenabízejí vzduchový filtr pracující na podobném principu. Zařízení sestavuji především na základě znalostí ze studia na vysoké škole ČVUT v Praze v oboru Technických zařízení budov, a proto tento text je z velké části originální a tedy bez citace použitých zdrojů. Pro úvodní sestavení vycházím z již existujících materiálů a zavedených zvyklostí návrhu vzduchotechniky.

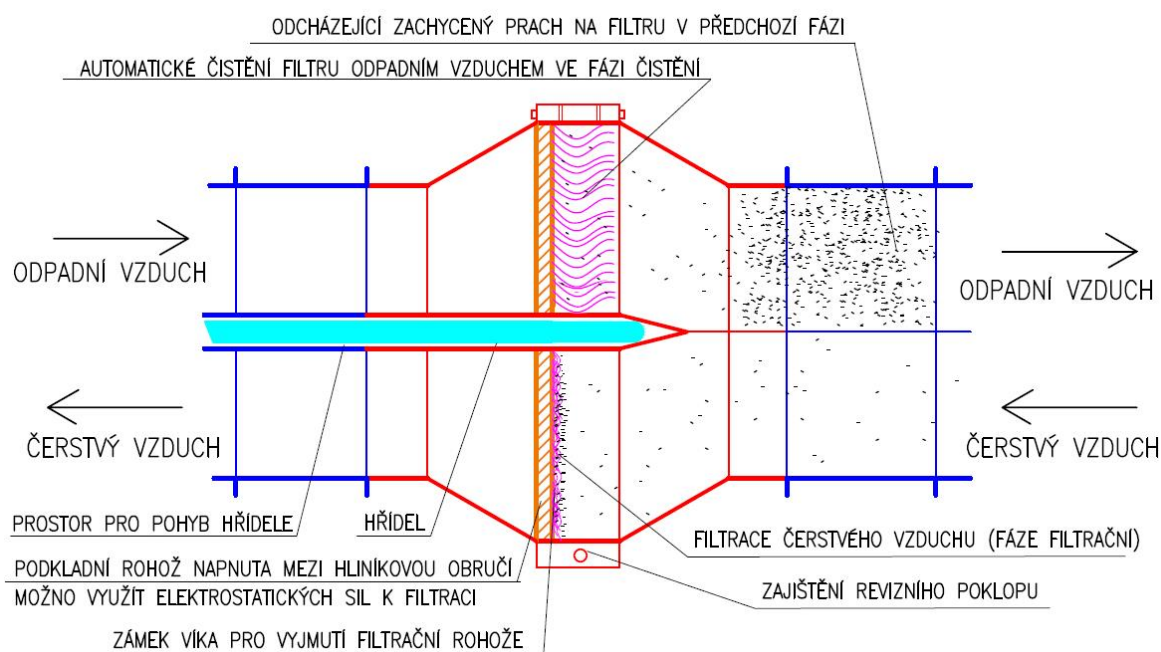


Obr. 1: Schéma klimatizační jednotky s využitím rotačního filtru

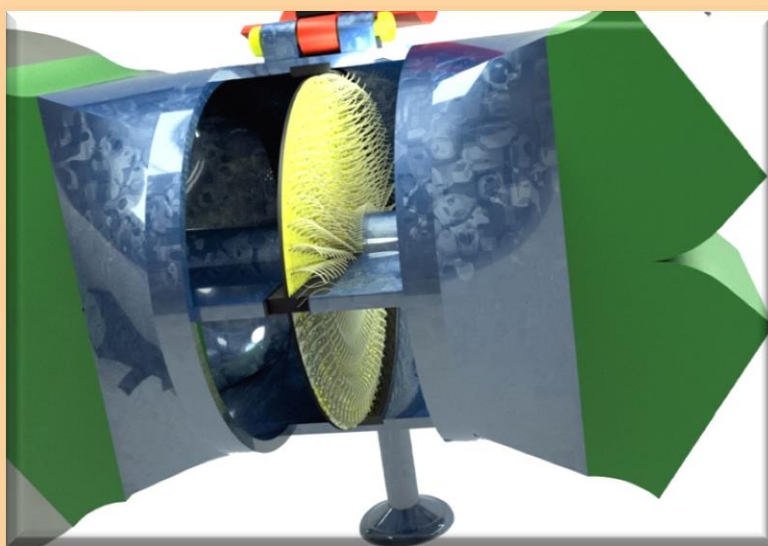


Obr. 2: Vizualizace vytvořené klimatizační jednotky (BIM model)

Popisovaná klimatizační komponenta zajišťuje filtraci venkovního vzduchu, aniž by docházelo k výraznému nárůstu tlakové ztráty a růstu mikroorganismů na filtrační vložce. To je zajištěno automatickým čistícím efektem, který vytváří hybná síla odpadního vzduchu dle Obr. 1. Jednoduše řečeno, jedná se o vzduchový filtr, který je čištěn odpadním vzduchem za pomoci rotace filtrační vložky mezi přívodním a odpadním vzduchem dle schématu na Obr. 3. Tento princip také můžeme nazývat jako: „protiproudý“ (anglicky: „counterflow“), neboť filtrační vložkou cyklicky prochází vzduch v obou směrech v závislosti na provozní fázi: viz. 2.3 Provozní fáze. Cyklickou rotaci prozatím zajišťuje umístěný elektromotor, který v přednastavených intervalech provede otočení filtru o 180°.



Obr. 3: Schématické zobrazení pracovního principu rotačního filtru



Obr. 4: Vizualizace schématického zobrazení z Obr. 3

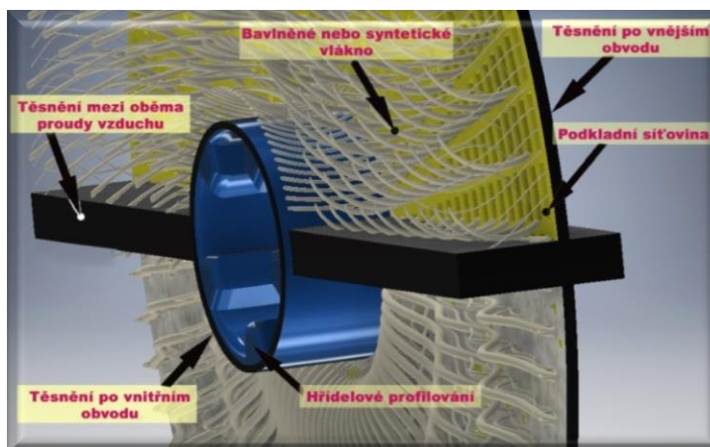
Z uvedeného popisu vyplývá, že k funkci tohoto filtru je zapotřebí dvou protichůdných proudů vzduchu procházející tímto zařízením odděleně, podobně jako je to u regeneračních výměníků tepla vzduchu. Filtr je proto prvotně předurčen k nucené výměně vzduchu, ať už se jedná o rovnotlaké, přetlakové, či podtlakové větrání. Oba proudy jsou před vstupem do zařízení redukovány pod sebe do tvaru půlkruhu, čímž vytvoří pravidelný kruh pro umístění rotační filtrační vložky a zajistí hladký průchod přes celé zařízení.

A 2.2 Typy filtračních vložek

V rámci řešení jsou navrženy prozatím dva kompatibilní druhy filtračních vložek pracujících na převážně síťovém efektu (vlákno-filtr a lamelový filtr). Vlastnosti těchto dvou filtrů se liší, tak jako vhodnost následného použití. Oba typy vycházejí ze stejného podkladu, avšak liší se pouze druh a tvar filtračního materiálu. Mimo to je také nastíněn druh filtrační vložky, která by využívala vřazený elektrostatický jev.

A 2.2.1 Vlákno-filtr

Jedná se o vyměnitelnou filtrační vložku rotačního filtru na Obr. 5, která je opatřena vláknitým povrchem, kdy jednotlivá vlákna budou přichycena jehlicovým způsobem na podkladní kovovou síťovinu o šířce oka 2 až 4 mm. Síťovina bude napnutá na nosné kovové, nebo plastové obruči s propojením jednou nebo více nosných přepážek a nosným kovovým středem, kterým prochází hřídel hnacího pohonu. Dělicí úsek bude zároveň sloužit k dotěsnění mezi oběma vzduchovými proudy, přičemž se do tohoto místa umístí těsnicí prvek z obou stran. Další těsnicí místo se bude nacházet na obruči ze strany vláken formou tenkého kruhového pásku po obvodu. Poslední těsnění na stejném principu je umístěno na okraji nosného středu z obou stran.



Obr. 5: Filtrační vložka Vlákno-filtr

Dle původních předpokladů by měla vložka dosáhnout minimálně třídy filtrace **G4 až G5** dle ČSN EN 779. Pokud se podaří dosáhnout těchto parametrů, můžeme vlákno-filtr použít jako velice účinný relativně bezúdržbový předfiltr. Použití ve vyšších třídách filtrace bude možné, pokud zkouška prachové jímavosti vyhoví vyšším požadavkům, ovšem zde bude velice záležet především na provedení uchycení vláken, jejich tloušťce a na dokonalosti zatěsnění a propletení jednotlivých vláken ve fázi filtrace. Délka použitých vláken a především zahuštění na podkladní síťovině se bude odvíjet podle výsledků zkoušky počátečních tlakových ztrát, kdy

v původním návrhu počítám s vyšší počáteční ztrátou oproti běžně používaným kapsovým nebo „V“ filtrům, které svojí velkou filtrační plochou zajišťují nižší počáteční tlakovou ztrátu. Toto je jedna z aktuálních nevýhod použití rotačního filtru, ovšem projekt je stále v počátcích a již v této chvíli zkouším navrhnout filtrační vložku, která bude mít zvýšenou filtrační plochu na bázi „V“ filtru s využitím rotace bez použití elektromotoru, ovšem zde velký problém představuje kvalitní utěsnění po obvodu obruče filtrační vložky.

Účinnost filtrace bude také záležet na rychlosti přívodního a odvodního vzduchu, protože dostatečná rychlost eliminuje kmitání vláken ve fázi filtrační nehybným zatěsněním filtru, čímž zamezíme propadávání vláken skrz filtr. Na opačné straně, ve fázi čistění, dostatečná rychlost obstará především důkladné pročistění vláken.

Použití vlákno-filtru situuji především do lokalit s vyšší prašností, kde dochází k rychlému zanášení filtrů nečistotami. Jedná se především o klimatizaci v lokalitě lomů, betonáren, průmyslové výroby a lokality často zatížené vysokou smogovou situací.

Vlákno-filtr není vhodný, či je dokonce prozatím nepoužitelný pro návrh jednostupňové filtrace, neboť pohybující se vlákna nemusí za všech okolností vždy zajistit kvalitní zatěsnění celého půlkruhu čistící fáze, což způsobí například změna otáček ventilátoru, lokální změna tlakových poměrů, nebo vytvoření turbulentního proudu před prostupem filtrační vložky. Jako velice vhodný a účinný se tento typ uplatní u vícestupňové filtrace, kde velice příznivě ovlivní interval výměny druhého stupně filtrace. Doba periodicity výměny by se v tomto případě mohla až ztrojnásobit, což se projeví především v provozních nákladech, které v klimatizaci tvoří nedílnou součást.

Co se týče samotného materiálu vláken, tak jsme omezeni na takový materiál, který bude splňovat následující kritéria:

Lehkost a ohebnost (především z důvodu těsného přilnutí k podkladní síti, což zajistí maximální jímavost povrchu ve fázi filtrace a zároveň zajistí dostatečně účinné kmitání vláken ve fázi čistění)

Kvalitní a pevné upevnění k podkladu (Nemělo by docházet k vypadávání vláken, především z hlediska celkové účinnosti filtrace i přesto, že v takovém případě uvolněné vlákno opustí vzduchotechnické zařízení v potrubí odpadního vzduchu směrem do exteriéru a nedochází k zanášení ohřivačů, chladičů a zároveň nemůže dojít k poškození ventilátoru.)

Lámavost (Především ve fázi čistění vláken odpadním vzduchem, kdy se kmitající vlákno bude zbavovat uchyceného prachu a nečistot, nesmí docházet k lámavosti, čímž by se opět snížila účinnost filtrace.)

Přijatelná čistitelnost (plánovaná životnost filtrační vložky by se měla blížit 4 letem, aniž by se výrazně zvýšila tlaková ztráta, tudíž pokud vlákno na sebe nebude velkými silami vázat zachycený prach, mělo by dojít k jeho opětovnému

odloučení ve fázi čištění. Běžně by se měly filtry pravidelně měnit, pokud se tlaková ztráta zdvojnásobí, ovšem u tohoto filtru bude snaha o to, aby tlaková ztráta na konci životnosti vzrostla maximálně o 20-25 % oproti původnímu stavu.

Vhodný materiál:

- přírodní materiály: bavlna
- umělé materiály: nanovláknno, staplová textílie, či některé vláknité syntetické polymery (PAC, PP, elastické vlákno, polypropylen)



Obr. 6: Bavlněné vlákno [1]

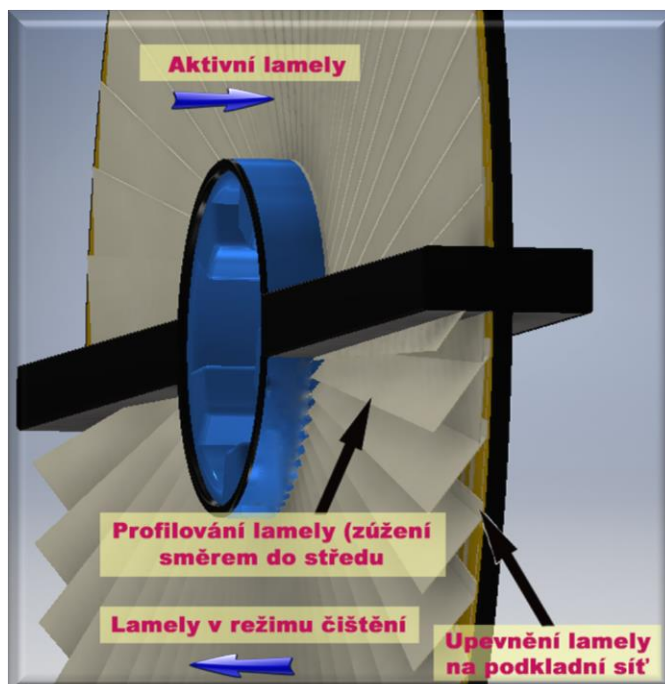
A 2.2.2 Lamelový filtr

Funguje na stejném materiálovém i technickém principu jako předchozí typ filtrační vložky, liší se pouze filtračním materiálem a způsobem filtrace, respektive samočištění.

Odlišnost je taková, že filtrační tkanina není ve formě jednotlivých vláken, nýbrž ve formě asymetrických lamel z filtrační tkaniny, které se následně vlivem směru proudu buďto otevírají, nebo těsně dosedají na sousedící lamelu rybinovým způsobem (Obr. 8). Pracovně jsem tento typ filtru nazval „Žábrový filtr“, protože žábry vodních živočichů fungují na analogickém principu, kdy například dobře známá štika obecná (Obr. 7) přijímá rozpuštěný kyslík ve vodě i s obsaženými rozpuštěnými nečistotami, které se ale usadí na žaberních obloucích. Následně ryba pomocí skřelí propláchně žaberní řasy od usazených nečistot za pomoci vytvořeného podtlaku.



Obr. 7: Žaberní oblouky štiky obecné [2]

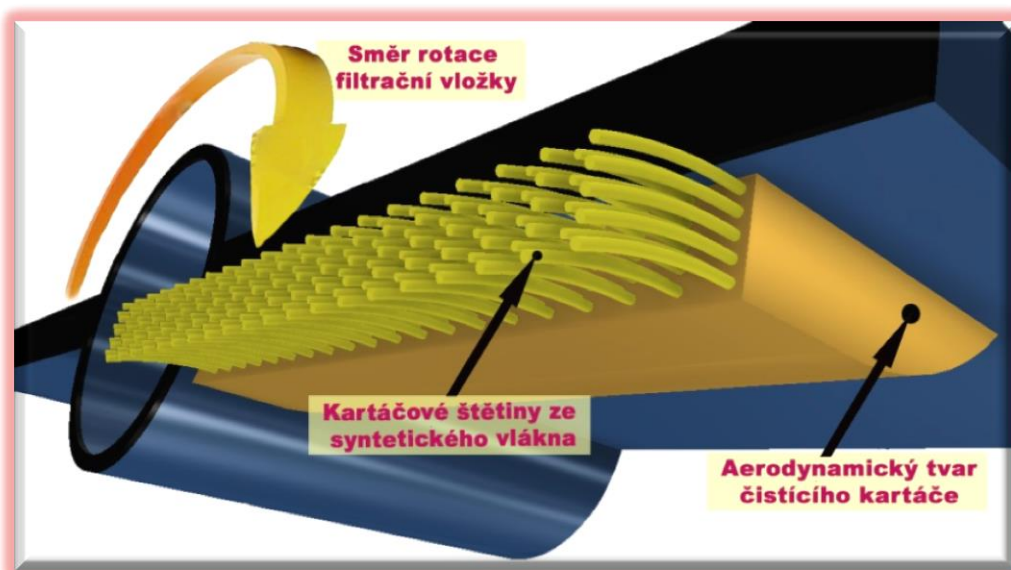


Obr. 8: Lamelová filtrační vložka

Tento efekt přijímání kyslíku ze znalosti anatomie jsem použil v technickém oboru zabývající se problematikou vzduchotechniky tak, že na filtrační síťovinu připevníme lamely, aby se vzájemně překrývaly a místo uchycení bude pouze na rovné straně. Spojení bude zajištěno lepením, nebo lépe přichycením k podkladní rohoži. Pokud bude vložka vytvořena z klasické jednovrstvé filtrační tkaniny, která se používá v běžně zavedených filtrech, bude možné oslabit ohebnou hranu, aby lamely mohly v době čištění lépe kmitat a zbavovat se nečistot vlněním za pomoci procházejícího proudu vzduchu. Tomuto efektu také napomůže skutečnost, že ohyb lamely nebude kolmý vzhledem ke směru vzduchu, ale bude v mírném tupém úhlu, díky čemuž v místě lamely změním procházející laminární proud na turbulentní a ten posléze lépe vyčistí sousední filtrační lamelu z návětrné strany. K vytvoření turbulentního proudu nám příznivě také pomůže průchod podkladní síťovinou.

Oproti Vláknofiltru uvažuji použití do náročnějších provozů z hlediska kvality vzduchu. Těsným dosednutím filtračních lamel zajistíme 100 % pokrytí filtrační plochy, a proto je možno tento typ uvažovat i pro jednostupňovou filtraci. Vložka by měla dosáhnout minimálně třídy filtrace **M5 až M6**, kde uvažuji odlučivost syntetického prachu s účinností 99% a dále odloučení menších částic typu E_m s účinností 70 % dle ČSN EN 779.

Protože během životnosti (*zde uvažuji interval 4 roky*) filtrační vložky může dojít k otočení lamely na opačnou stranu, čímž nám může vzniknout prostor bez zakrytí filtračním materiálem, bude na předělové hranici mezi oběma proudy vzduchu umístěn rovní kartáč modelován na *Obr. 9*, který zajistí správné rozložení lamel při přechodové fázi z regenerace na filtraci. Kartáč nebude narušovat filtrační vlákno, a zároveň může pozitivně ovlivňovat čistitelnost, neboť bude přejíždět štětinami po povrchu filtrační lamely a uvolňovat usazené nečistoty v podobě pavučinových vláken. Během výměny filtrační vložky musí dojít k vyčištění i tohoto kartáče.



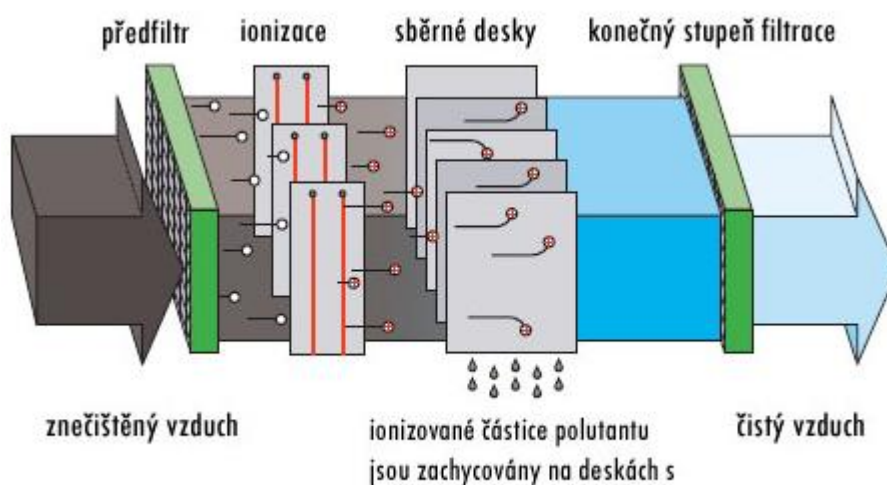
Obr. 9: Čistící kartáč pro lamelovou filtrační vložku

A 2.2.3 Elektro-statický filtr

Tento typ zatím není technicky zpracován, popisují zde spíše jeho návrh na sestavení pro použití v regenerační filtraci, protože jeho připojením bychom mohli získat nové vlastnosti, které by doplnily nedostatky známé u obou principů v odděleném režimu. Rád bych tedy vytvořil hybridní řešení regeneračního filtru za pomoci nucených filtračních elektrostatických sil.

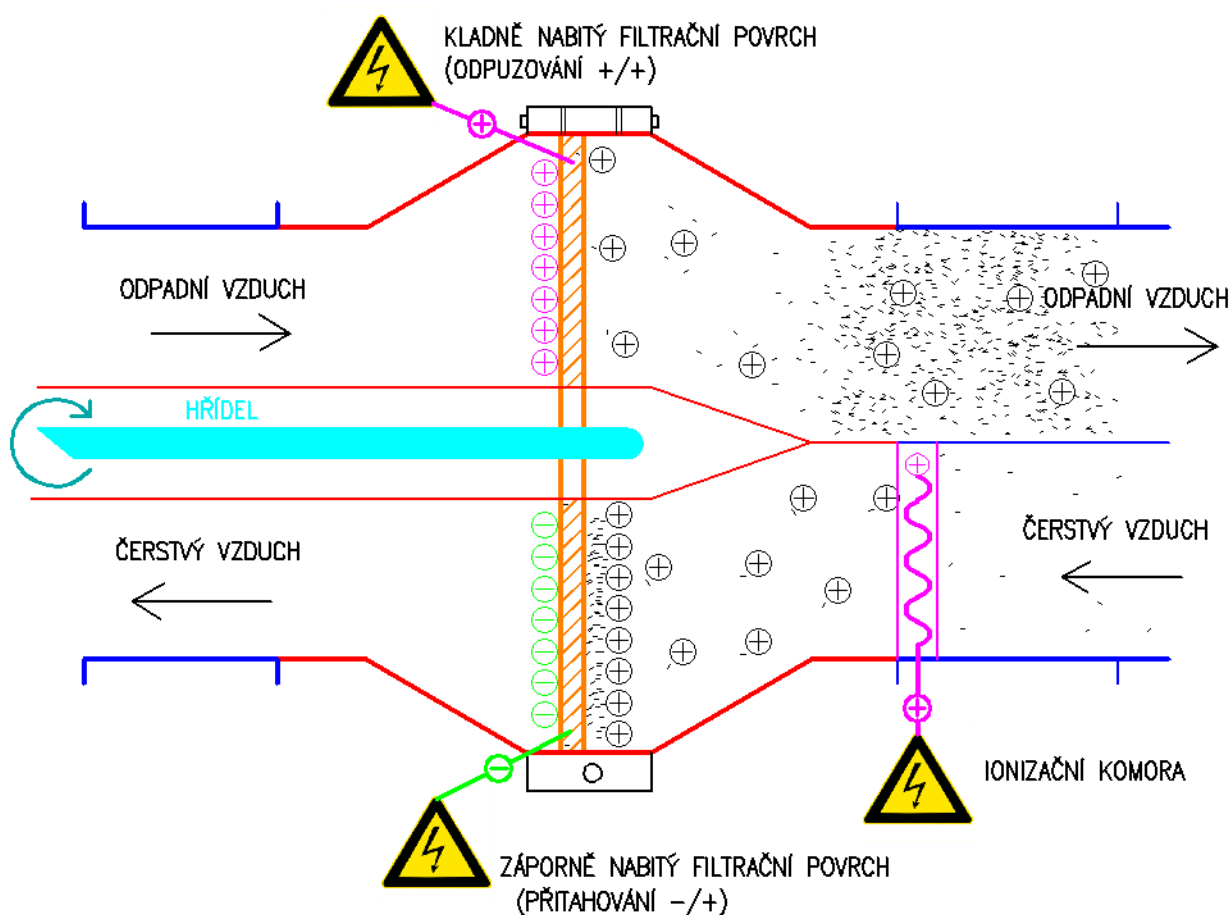
Již používaný elektrostatický filtr, ve schématu vyobrazen na Obr. 10, pracuje na principu změny elektrického náboje obsažených nečistot v procházejícím vzduchu. Nefiltrovaný vzduch nejprve prochází přes hrubé předfiltry, kde dojde k odloučení větších částic, abychom nezahlcovali povrch následujících filtračních zařízení. K těmto účelům se používá například soustava štěpinového a cyklonového předfiltru. Vzduch dále prochází ionizační komorou, kde je za pomoci vysokého napětí (15 000 – 20 000 V) udáván prolétajícím částicím kladný elektrický náboj. Následně kladně nabité částice vstupují do komory se sběrnými deskami s opačným nábojem a dochází k elektrostatickému jevu, kdy částice jsou přitahovány ke sběrným deskám a následně na nich ulpívají. Vyčištěný vzduch pokračuje následně k dalším úpravám.

Pro správnou funkci musí být rychlost proudění malá, aby částice byly schopny ulpět na sběrných deskách a nedocházelo ke strhávání velkým proudem vzduchu. Obrovskou nevýhodou je nejen nutnost instalace vícenásobné filtrace ale především nutnost častého čištění sběrných lamel, protože účinnost filtrace je velmi vysoká pouze na začátku a rapidně klesá se zanesením. Je proto nutná častá údržba a proto je tento systém využíván zřídka. V případě velkého zanesení vznikají na povrchu elektrické výboje a tvoří se škodlivý ozon.



Obr. 10: Schéma běžného elektrostatického filtru [3]

Představme si ovšem situaci, že bychom systém elektrostatického filtru spojili s regenerační filtrací. Filtrace by tedy nově mohla fungovat podle Obr. 11 tak, že bychom nejprve udělili nečistotám čerstvého vzduchu kladný elektrický náboj v ionizační komoře a polarizované částice by se následně uchytily na filtrační vložce s opačným nábojem. Záporně nabitá by tedy byla pouze polovina filtrační vložky, přičemž po určitém intervalu by došlo k jejímu otočení o 180° a následně k obrácení polarity na $(+/+)$, nebo $(0/+)$. V takovém případě by se částice začaly odpuzovat a síla odpadního vzduchu by je oddělila z filtrační vložky a odvedla zpět do exteriéru potrubím s odpadním vzduchem. Po opětovné změně provozní fáze by se polarita opět otočila do režimu $(+/-)$ a docházelo by k zachytávání prachových částic. Prakticky to znamená, že filtrační vložka má na každé polovině jiný elektrický náboj a je nutné obě strany od sebe izolovat. Pokud by tento systém fungoval, našlo by se nové uplatnění pro elektrostatický filtr, protože by se stal rázem samočistitelným a ke svému provozu by nepotřeboval vícestupňovou předfiltraci. Výhoda nízké tlakové ztráty u elektrostatických filtrů by zase přišla vhod regeneračnímu filtru, jehož počáteční tlaková ztráta je zvýšená z důvodu malé filtrační plochy a nebylo by zapotřebí se limitovat minimální rychlostí vzduchu.



Obr. 11: Schéma regeneračního filtru s použitím elektrostatických sil

A 2.3 Provozní fáze

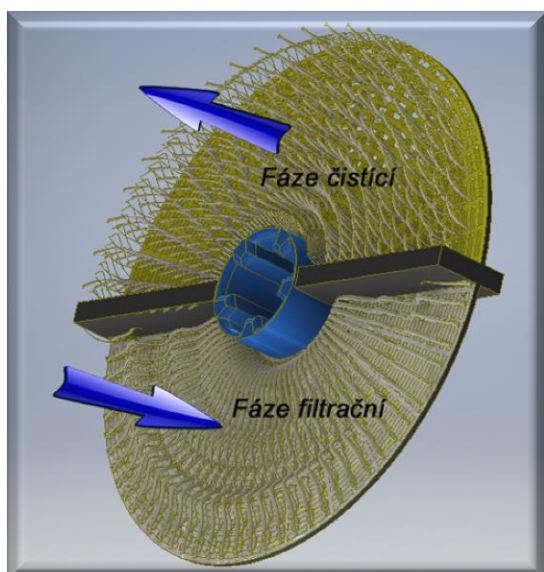
Rotace filtru probíhá za provozu VZT jednotky. Každou polovinu filtru lze podle její aktuální polohy popsat za pomoci dvou cyklicky opakujících se fází:

a) Fáze filtrační

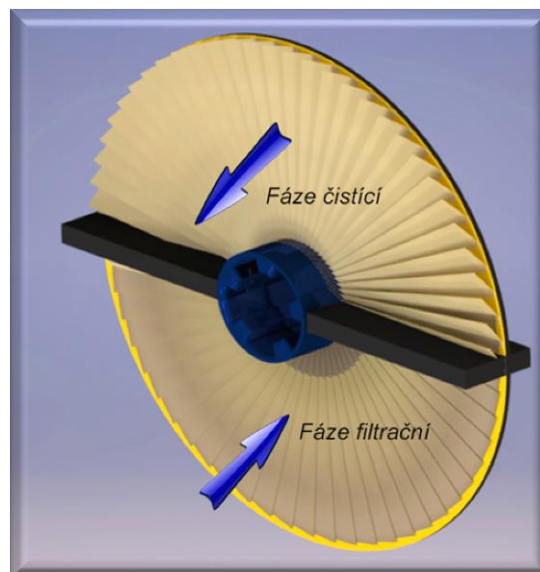
Polovina filtrační vložka je v aktivním stavu, tedy dochází k čištění přívodního exteriérového vzduchu a usazování nečistot na povrchu.

b) Fáze čištění - regenerační fáze

Po určitém přednastaveném časovém intervalu sepne elektromotor, díky čemuž dojde k otočení filtrační vložky na stranu odpadního vzduchu za pomoci hřídele spojené s filtrační vložkou. Usazené nečistoty jsou postupně vymývány do odpadního vzduchu z filtračního materiálu. Efekt zesílíme změnou druhu proudu z laminárního na turbulentní, kterého docílíme průchodem vzduchu přes podkladní filtrační síť a případně pomocí přídatných rozrážeců proudu vzduchu umístěných před filtrem.



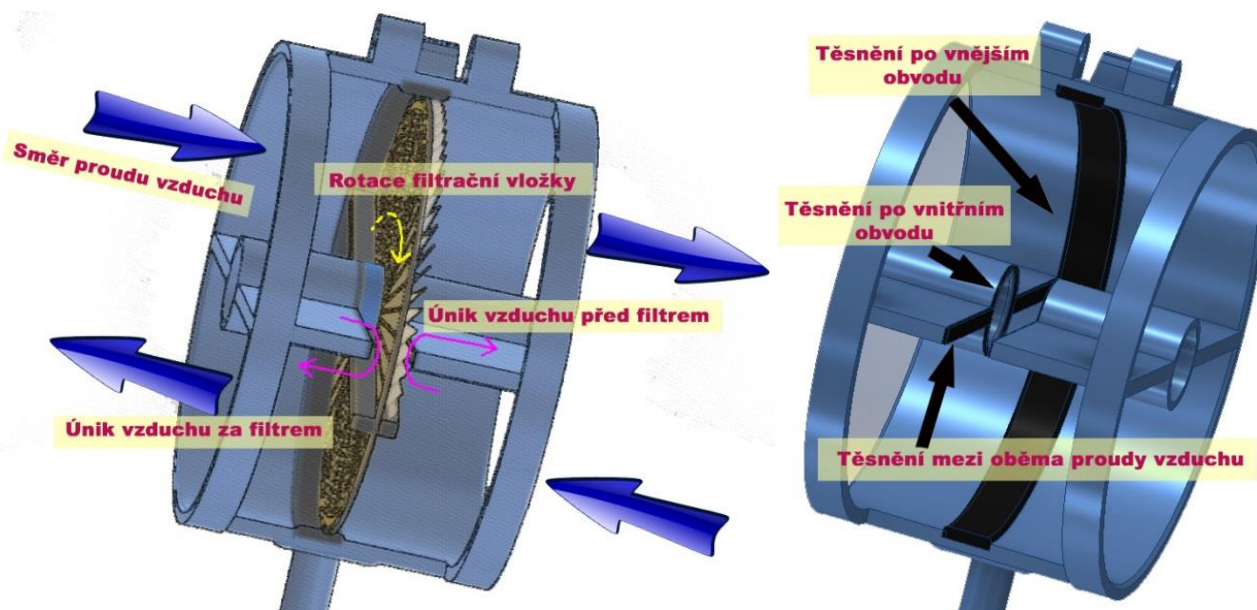
Obr. 12: Rozdělení fází na vlákno-filtru



Obr. 13: Rozdělení fází na lamelovém filtru

Obě fáze spojuje pouze cyklus přetočení, kde musí nejprve dojít k odtěsnění dělicí přepážky na filtrační vložce a po následné rotaci opět k dotěsnění, aby se nemohly oba proudy vzájemně směšovat. V této mezifázi uvažují již v počátku k nepatrným únikům vzduchu mezi nefiltrovaným čerstvým a odpadním vzduchem vymývajícím filtrační rohož (viz. Obr. 14 a 15). Tyto úniky ovšem nejsou důležité, neboť probíhají odděleně před a za filtrační vložkou a tedy nemůže dojít k úniku nefiltrovaného vzduchu do přívodní části za filtrem. Z důvodu dodržení tohoto kritéria je těsnění po vnitřním i vnějším obvodu filtrační rohože aktivní i ve fázi rotace dle

Obr. 13. Obrovskou výhodou vidím v tom, že rotace může probíhat za provozu vzduchotechnické jednotky a tudíž neomezuje další zařízení od kontinuální činnosti.



Obr. 14: Místa úniku vzduchu při rotaci filtru

Obr. 15: Těsnění rotačního bubnu

Jak jsem již předznamenal, využití elektromotoru by mohlo být nutné pouze v případech, kdy bude umístěna neprofilovaná filtrační vložka. V rámci vývoje tohoto zařízení je totiž také vložka profilovaná, která by svým tvarováním zajišťovala rotaci filtru bez pomoci elektrické energie a to pouze na bázi hybné síly proudu vzduchu. V takovém případě by to znamenalo pouze umožnění pohybu vložky na umístěném ložisku se zabudovaným brzdícím systémem. Po přetočení o 180° by se ložiska automaticky zabrzdlila.






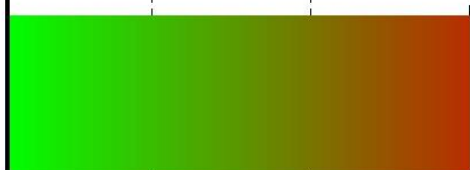

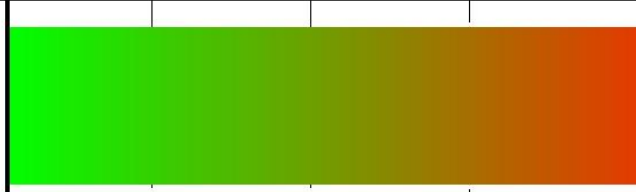
A 2.4 Životnost

Jedna z největších výhod rotačního filtru je automatické samočištění, díky kterému nemůže dojít k zanesení filtru souvislou vrstvou nečistot, a proto tímto zabráníme velké tlakové ztrátě zatěžující ventilátor. Souvisí s tím také fakt, že pokud dojde k uplynutí doby životnosti filtrační vložky a neproběhne její výměna, nemůže dojít ke kritickému nárůstu tlakové ztráty a následnému spálení ventilátoru. To platí za předpokladu, že uvažujeme jednostupňovou filtraci. Účinnost regenerace se ovšem logicky s postupujícím intervalem výměny filtru bude snižovat.


Životnost vložek se oproti běžným typům filtrů značně prodlužuje a to dle původních předpokladů až na dvanáctinásobek dle Tab. 1, přičemž jednou během životnosti by mělo dojít k vizuální kontrole zařízení, případně vyčištění přídatných součástí. Životnost je stanovena pouze za pomoci jednoduchého pokusu, ale velmi


bude záležet na druhu filtrační vložky, na druhu prostředí a také na účinnosti regenerace v průběhu provozu.

Tab. 1: Intervaly výměn filtrů pro vybrané druhy [4] ; [5]

Druh fitru	Náhled	Doporučený interval výměny filtru - životnost [rok]				
		1	2	3	4	5
Rámečkový - syntetické vlákno 100% PES						
Kapsový - syntetické vlákno 100% PES						
Lamelový - syntetické vlákno 100% PES						
Vlákno-filtr - Bavlna						

Tlaková ztráta

 Počáteční

 Maximální konečná

A 2.5 Tlakové a rychlostní poměry

Jeden z největších milníků tohoto projektu bude stanovení minimální projektované rychlosti průchodu vzduchu přes filtrační vložku, neboť ta přímo závisí na účinnosti regenerace. Obecně můžeme odvodit, že čím vyšší rychlost procházejícího proudu projektujeme, tím počítáme s větší počáteční tlakovou ztrátou filtru. Opět na základě prvotních experimentů za pomoci ventilátoru a vrtulkového anemometru byla stanovena minimální rychlost proudu na 4 m/s, přičemž tlaková ztráta bude záviset na druhu a mocnosti použitého materiálu.

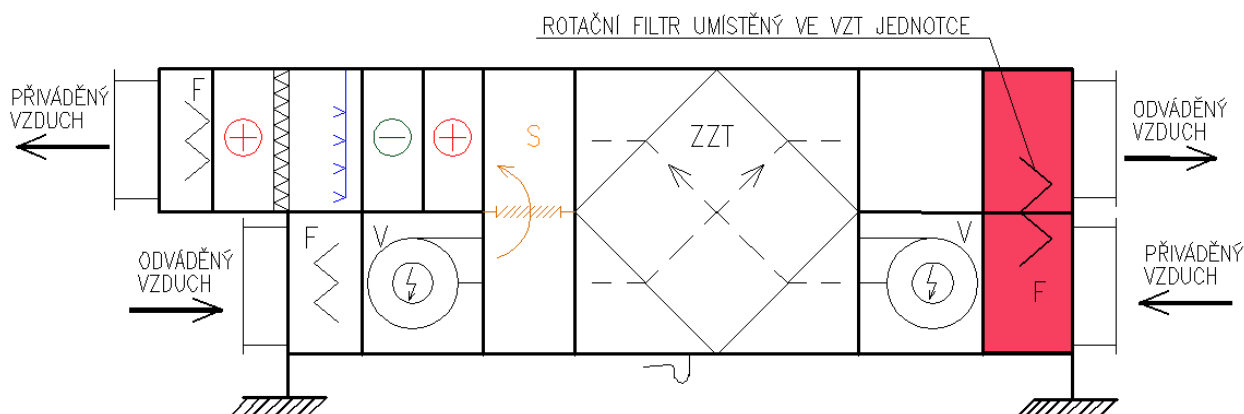
A 2.6 Variabilita použití

A 2.6.1 Typy zařízení z hlediska umístění

Protiproudá filtrace není technologicky spjata s ostatními součástmi nucené úpravy vzduchu, proto můžeme rotační filtr instalovat do již fungující jednotky. Umístit jej tedy můžeme následujícím způsobem:

a) Součást VZT jednotky

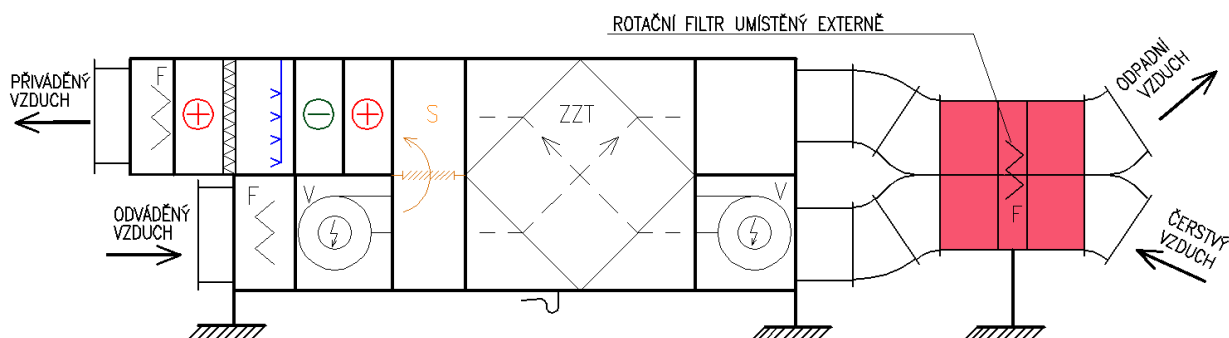
Pokud se rozhodneme použít rotační filtr již ve fázi projektu, bude ho možno přiřadit jako nezávislou komponentu sestavné nebo kompaktní jednotky (viz. Obr. 16). To samozřejmě předchází jednání s výrobcí VZT jednotek, kteří musí být ochotni komponentu využít ve svém sortimentu. V tomto případě dojde ovšem k rozšíření a prodloužení VZT jednotky. Samozřejmě je užití podmíněno vstupem přívodního a odvodního vzduchu na stejné straně, neboť budeme tyto proudy regeneračně spojovat jako v případě tepelného výměníku.



Obr. 16: Umístění rotačního filtru v rámci VZT jednotky

b) Externí umístění

Pokud uvažujeme již nainstalované VZT zařízení, je možno dodatečně doplnit jeho funkce právě o rotační filtr. Opět je to podmíněno přívodem obou proudů vzduchu, navýšením počátečních tlakových ztrát pro provoz ventilátoru a zároveň dostatkem místa ve VZT místnosti, kdy její velikost bývá projektována pro splnění minimálních parametrů. Z důvodu nedostatku prostoru je možnost umístění rotačního filtru i mimo VZT místnost a v určitých případech přímo do exteriéru do místa nasávání a výdechu vzduchu. Můžeme se rozhodnout i pro variantu externí již ve fázi projektu dle Obr. 17, pokud výrobce použité VZT jednotky nebude mít v sortimentu tuto komponentu. Z uvedených variant se může nejčastěji vyskytovat tato verze, proto jsem zvolil pro vytvoření modelu tuto variantu použití.



Obr. 17: Umístění rotačního filtru externě

A 2.6.2 Typy zařízení z hlediska rozdílu objemových průtoků

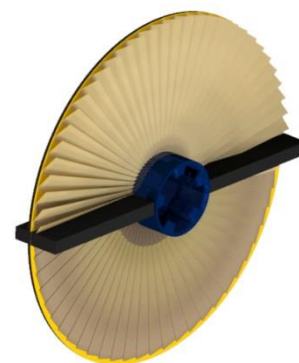
V závislosti na typu provozu volíme výměnu vzduchu rovnotlakem, přetlakem, či podtlakem. Proto byl brán zřetel i na tyto různé režimy nucené výměny a v takovém případě musíme být schopni pro každou variantu řešení sestavit zařízení, pracující s maximální účinností. Je zapotřebí vyvážit rychlosti vzduchu, aby zařízením procházel proud přibližně o stejné rychlosti. Tohoto efektu docílíme tzv.: „koláčovým rozdělením“, kdy můžeme v poměru objemových průtoků stanovit průtočné plochy tak, aby byla výsledná rychlost obou proudů konstantní, nebo přiměřeně shodná a tím dokážeme eliminovat úniky vzduchu během změny fáze. Pravidlem ovšem zůstává, že rozdělení filtrační vložky může být provedeno pouze na stejně velké díly za pomoci přepážek.

Na základě poměru průtoků obou proudů tedy musí dojít nejenom k efektivnímu rozdělení filtrační vložky, ale variabilní z hlediska výroby bude i celá konstrukce filtračního zařízení. Z toho vyplývá, že musíme vytvořit tabulkové rozdělení s různými parametry vzduchu, podle kterého si bude projektant vybírat vhodné zařízení na základě druhu větrání, poměru přívodního a odvodního vzduchu a průřezové rychlosti před vstupem do filtračního zařízení, dle následujících možností:

a) Volba filtrační vložky

- Rovnotlak, podtlak nebo přetlak do 12 %

Rozdělení filtru je v tomto případě nejjednodušší, neboť se filtr rozdělí pouze na 2 části pomocí přepážky napříč konstrukcí dle *Obr. 18*.



Obr. 18: Žábrová filtrační vložka s dělením na poloviny

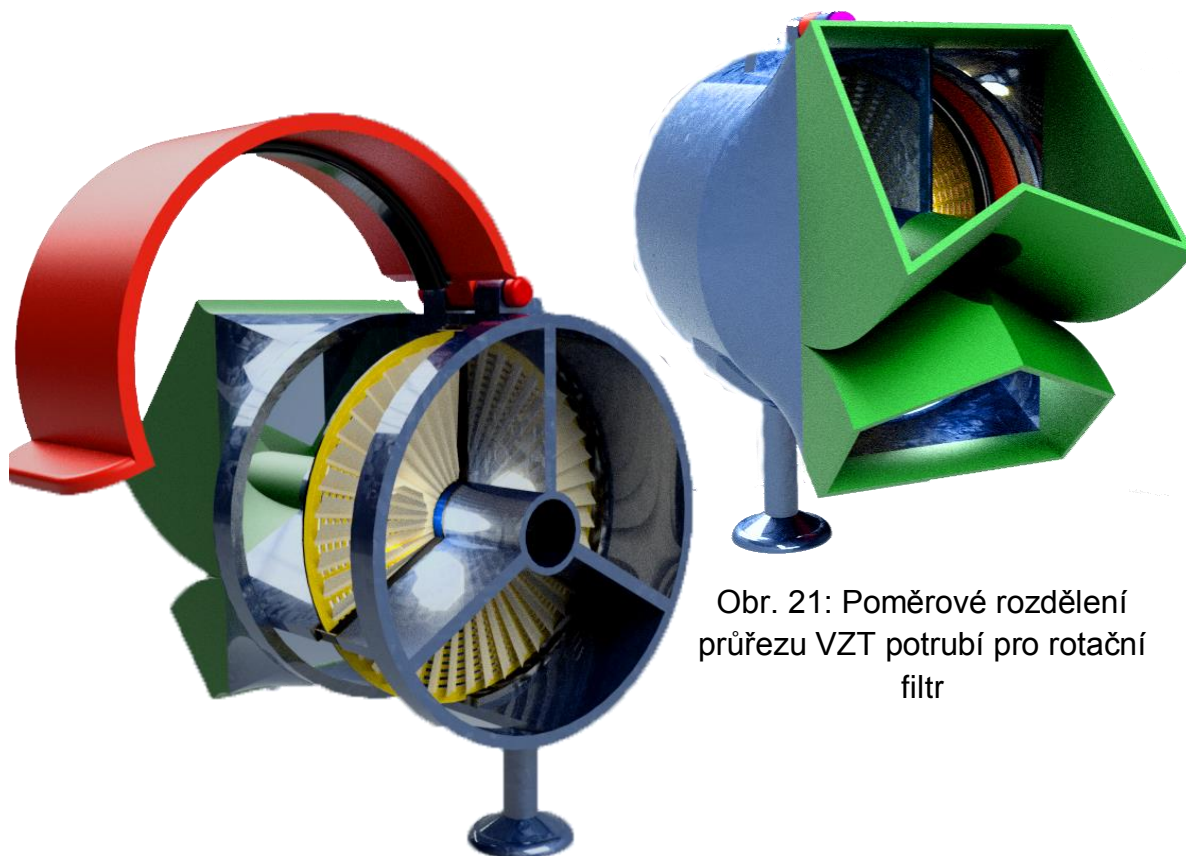
- Podtlak nebo přetlak 12 - 40 %

Již dochází k rozdělení na 3 totožné části dle *Obr. 19*. Zde se již začínají lišit podmínky v úvodním popisu zařízení, neboť úhel pootočení filtru pro překlenutí provozní fáze již není 180°, ale 120°. Princip funkce je nyní takový, že například dva díly filtru se nachází ve fázi filtrační a jeden ve fázi čistící. Po určitém intervalu, kratším než pro rovnotlak, dochází ke změně fáze 2/3 části filtru, zbývající 1/3 se pouze přetočí na jiné místo v totožné provozní fázi. Opět jednoduše řečeno, pokud řešíme např.: podtlakové větrání podzemní garáže, budou vždy dva díly filtru ve fázi čistění a jeden ve fázi filtrace.



Obr. 19: Žábrová filtrační vložka s dělením na třetiny

Jsem si vědom toho, že v těchto variantách již nezajistím vždy stejnou průtočnou rychlost obou proudů, ale neměl by to být velký problém z hlediska kvalitního zatěsnění. V těchto případech musí být předepsáno, že rychlost odpadního vzduchu nesmí být menší než rychlost vzduchu přívodního a to z důvodu účinného samočistění.



Obr. 21: Poměrové rozdělení průřezu VZT potrubí pro rotační filtr

Obr. 20: Náhled konstrukce s trojím dělením

- Podtlak nebo přetlak 40 - 75 %

Pokud bude zapotřebí vyřešit i tyto větší tlakové rozdíly, dojde k rozdělení kruhové filtrační vložky na 4 stejné díly. V tomto případě se jedná o systém kde 3 díly filtru plní první provozní fázi, čtvrtý díl je vždy na straně druhé provozní fáze. Pokud se trojice dílů bude nacházet ve filtrační fázi, znamená to, že se jedná o přetlakové větrání.

b) Volba konstrukce filtračního zařízení

Tvar, respektive pevné rozdělení kanálů obou protichůdných proudů se odvíjí výhradně z rozdělení filtrační vložky. Z hlediska výroby to znamená pouze správné profilování a úhel mezi oběma přepážkami a dále vytvoření hladkého přechodu z původního potrubí do určené části filtračního zařízení.

A 2.7 Oblast použití

Rotační filtr bude možné použít především v provozech s větším znečištěním vzduchu. Jedná se tedy o všeobecné větrání bytových objektů, průmyslových hal, hotelů, obchodních domů a podobně.

Pokud bude zařízení použito v kombinaci s dalším kvalitním filtrováním ve dvoustupňové filtraci, je ho možno využít i v nejnáročnějších provozech, přičemž tímto návrhem prodloužíme periodiku výměny kvalitních vysokonákladových (HEPA, ULPA) filtrů. Mluvíme o provozech ve zdravotnictví, lékařství a o výrobních provozech s nárokem vysoké kvality čistoty vzduchu.

Intervaly fází budou záležet především na kvalitě exteriérového vzduchu dle Tab. 2. Jedná se o prašnost okolního prostředí, dále o pylovou aktivitu, znečištění přírodními materiály (poletující semena rostlin, nebo peří). Dle těchto parametrů bude následovat zařazení do tabulky a bude stanovena délka fáze (půlciklu). Tabulka obsahuje hodnoty intervalů fáze od 15 minut – do 6 hodin provozu. Je tak dáno především z důvodu zamezení rozvoje mikroorganismů na filtrační vložce.

Tab. 2: Doporučené intervaly výměny fáze filtrační vložky v jednostupňové filtraci

Doporučený interval výměny fáze filtru: [hodina]	Druh prostředí	Prašnost ovzduší PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$]	Příklady
0,25 - 0,5	Silně znečištěné prostředí prachem. Jedná se především o kancelářské části přidružené výrobním závodům a budovy správy výroby	> 400	Betonárny, zemědělské družstva s nebezpečnou jezdovou plochou, zpracování dřeva, lomy, zpracování kamene a reciklovaných surovin
0,5 - 1,0	Správa výroby fabrik produkující menší prašnost a prostředí s vysokou letní prašností, smogové oblasti	90 - 400	Farmy, zoo, povrchová těžba uhlí, kovozpracující fabrika, autoservis, brusírny, výroba stavebních materiálů, letní období sýpek a skladů obilovin, výroba stavebních materiálů, frekventované ulice velkých měst
1,0 - 2,0	Obytné a jiné budovy nedaleko výroby produkující prašnost a zimní prostředí velkoměst	70 - 90	Bytové domy, povrchová těžba uhlí, dlouhodobé staveniště, hotely, BD
1,0 - 3,0	Letní městské prostředí, zimní venkovní prostředí	50-70	Kongresové budovy, hotely, obchody, administrativní budovy, zimní městské prostředí, obchody, školy, stravovací zařízení, hotely, muzea, nádražní budovy, RD, BD
3,0 - 5,0	Zimní venkovské prostředí	30 - 50	Úřady, školy, kulturní domy, hotely, obchody, RD, BD
5,0 - 6,0	Letní venkovské prostředí, rekreační oblasti	< 30	Úřady, školy, kulturní domy, hotely, obchody, RD, BD

***F_c** – Jednotka fáze cyklu v hodinách; vymezuje délku časového intervalu, po kterém je nastavena výměna fáze, neboli otočení filtrační vložky.

****PM10** – Koncentrace suspendovaných částic v indexu kvality ovzduší za 1 hodinu v 1 m³ vzduchu

Nutno říci, že vlivem regenerace filtrační vložky se budou do ovzduší dostávat prachové částice, které jsme původně z tohoto prostředí nasáli potrubím s čerstvým vzduchem. Při začátku regenerace se z filtrační tkaniny uvolní prach ve větším množství a tím se zvýší jeho koncentrace při vypouštění. Výdech odpadního potrubí je proto dobré situovat do míst, kde zvýšená koncentrace částic nebude představovat problém. Nastala otázka, zda je možné z právního hlediska tento systém vypouštění prachu použít, protože tím (*v uvozovkách řečeno*) způsobujeme znečištění ovzduší.

Řešení tohoto problému je jednoduché. **Regenerační filtrační vložka NENÍ přímým zdrojem znečištění ovzduší**, a proto se na něho nevztahují pravidla stanovená v zákoně 201/2012 Sb. - *Zákon o ochraně ovzduší*, který limituje právě přímé znečišťovatele, jako například kotelny, elektrárny a spalovací motory. Nicméně pokud by se z nějakého důvodu regenerační filtr za zdroj přímého znečištění prohlásil, tak máme opět nalezeno řešení této situace. Pro znečišťující zařízení totiž platí striktní **emisní limity**, které je nutno dodržovat a v pravidelných intervalech dochází k jejich měření, zda jejich koncentrace nepřevýšila stanovenou hranici. Vyhodnocení následně probíhá tak, že se z kontinuálního měření stanoví průměrné emisní hodnoty znečišťujícího zařízení v intervalu 0,5 hod.; 8 hod.; den a 1 rok a ty musí vyhovět stanoveným limitům dle *Tab. 3*.

Tab. 3: Emisní limity platné pro území České republiky [6]

Znečišťující látka	Vyjádřena jako	Emisní limity [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]			
		IH _r	IH _d	IH _{8h}	IH _k
Prašný aerosol	SPM	60	150		500
Oxid siřičitý	SO ₂	60	150		500
Oxid siřičitý a prašný aerosol	SO ₂ + SPM		250*		
Oxidy dusíku	NO ₂	80	100		200
Oxid uhelnatý	CO		5 000		10 000
Ozon	O ₃			160	
Olovo v prašném aerosolu	Pb	0.5			
Kadmium v prašném aerosolu	Cd	0.01			

IH_r - průměrná roční koncentrace znečišťující látky.

IH_d - průměrná denní koncentrace znečišťující látky.

IH_{8h} - průměrná 8hodinová koncentrace znečišťující látky.

IH_k - průměrná půlhodinová koncentrace znečišťující látky.

Tab. 4: Limity kvality ovzduší podle platných i navrhovaných direktiv EU [6]

Znečišťující látka	Interval pro výpočet průměru	Limit vstup ⁽¹⁾ [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	Limit pro rok 2005 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
PM ₁₀ (*)	24 hod.	75	50
PM ₁₀ (*)	kalendářní rok	48	40
NO ₂ (*)	kalendářní rok	60	40
Benzen (**)	kalendářní rok	10	5 pro rok 2010
As (***)	kalendářní rok	0.03	

(*) - Platná hodnota

(**) - Navrhovaná hodnota

(***) - Směrná hodnota Světové zdravotnické organizace

Pokud by tedy probíhalo měření emisí rotačního filtru, tak můžeme s klidem říci, že hodnoty nemohou překročit imisní mez, protože zvýšená koncentrace prachu bude pouze při začátku regenerace v časovém úseku cca 15–30 s. Po tomto krátký časový úsek se uvolní valná většina prachových částic usazených na filtru. Po zbytek regenerační doby bude filtrem proudit vzduch s nižší koncentrací, než jaká je v exteriérovém ovzduší a postupně s delší dobou regenerace se nám bude snižovat emisní průměr až na hodnotu blízkou nasávanému ovzduší. V takovém případě tedy nemůže nastat situace, že by filtr překročil imisní mantinely ani pro nejkratší interval (0,5 hod). Dokonce si troufám říci, že výsledná emisní hodnota bude v některých případech nižší, než jaká bude aktuálně obsažena v ovzduší, protože určité procento částic se uchytlí na druhém stupni filtrace, který již není regenerovatelný.

Z tohoto důvodu můžeme prohlásit, že regenerační filtr bude splňovat imisní limity a v tomto ohledu **nebude** jeho **instalace** ve vzduchotechnice **protiprávní**.

A 2.8 Nevýhody a rizika filtru

Každý nově vyvinutý prvek může mít nespočet výhod, ovšem s tím stoupá i počet stinných stránek, o kterých se běžně nemluví a mohou znamenat i důvody, proč se prvek nezačlení do běžného zařazení. Není tomu výjimkou ani v tomto případě.

Výčet nevýhod:

- Zařízení obsahuje velké množství těsnících prvků, nejspíše kartáčového typu
- Výměna filtrační vložky bude složitější oproti výměně klasického filtru, kde dojde pouze k vytažení staré filtrační vložky a vložení nové.
- Spotřeba elektrické energie (sice nepatrná, ale i přesto ji musíme započítat)
- Záběr větší půdorysné plochy oproti běžnému filtru
- Musí existovat mnoho variant řešení, oproti klasickým filtrům, kde vycházíme jen z rozměrů
- Počáteční investice bude jednoznačně vyšší
- Musí být dodržena minimální průřezová rychlost
- Vyšší počáteční tlakové ztráty

A 3. Zařízení pracující na podobném principu

V odborných publikacích, technických pracích dostupných přes bránu EIZ, ani na českých a zahraničních internetových stránkách výrobců vzduchotechniky nebylo nalezeno filtrační zařízení, které by pracovalo na stejném, či podobném principu. I přesto zde uvádím pár příkladů již fungujících filtračních zařízení, které ke své činnosti využívají rotace.

a) Rotační průmyslový filtr vnitřního vzduchu

Vnitřní vzduch textilní fabriky, papírny, či podobného provozu obsahuje z procesu výroby mnoho textilních vláken a tento vzduch je třeba před vypuštěním do ovzduší filtrovat. Může být využito rotačního efektu filtrace, kdy čištění filtračního povrchu zajišťuje odsávací pohybuje se rameno na Obr. 22; 23; 24, které vytváří lokální podtlak a čistí filtrační kolo velkopřůřezového výdechu.

Výrobci:

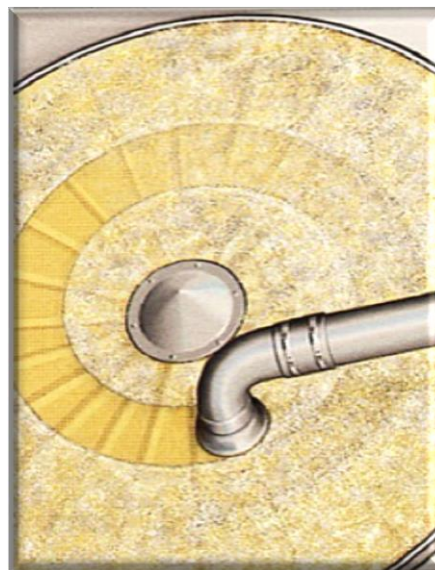
- R&R Beth (Německo)
- Pneumafil Nederman (Švýcarsko)
- Luva (Ukrajina)



Obr. 22: Filtrační kolo s odsávacím ramenem [7]



Obr. 23: Filtrační kolo s odsávacím ramenem (menší provoz) [8]



Obr. 24: Schéma odsávání prachu z rotačního filtru [9]

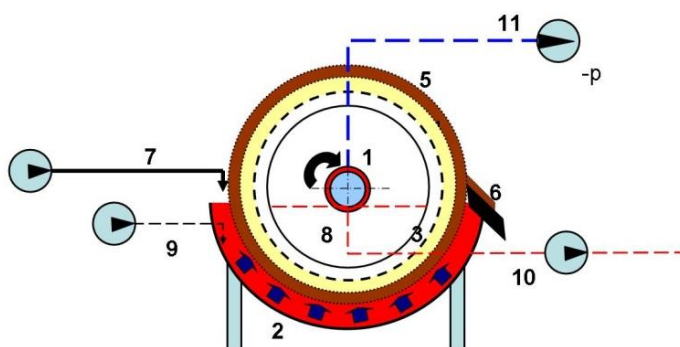
b) Rotační vakuový filtr

Zařízení efektivně odděluje pevnou složku od kapalné při výrobě kukuřičného škrobu, penicilínu, nebo při výrobě vína. Skládá se z dvou hlavních komponent a to velké zásobníkové vany a obřího filtračního bubnu, který je do ní částečně zapuštěn. Vana je naplněna danou suspenzí a pomocí rotace bubnu s uměle vytvořeným podtlakem se kapalná složka odděluje a prosakuje do filtru, kde dále odtéká vnitřkem bubnu dle Obr. 26. Součástí je i plošná čepel umístěná na povrchu filtru ořezávající přisátou tuhou fází nalepenou z bubnového filtru a pásový dopravník ji odvádí do místa zásobníkové nádoby. Průměr bubnového filtru se běžně pohybuje od 1 do 3,6 m. Patent na výrobek již z roku 1987.

Výrobce: Vitokonex (ČR), Perri Machinery (ČR)



Obr. 25: Rotační filtrační zařízení na výrobu kukuřičného škrobu [10]

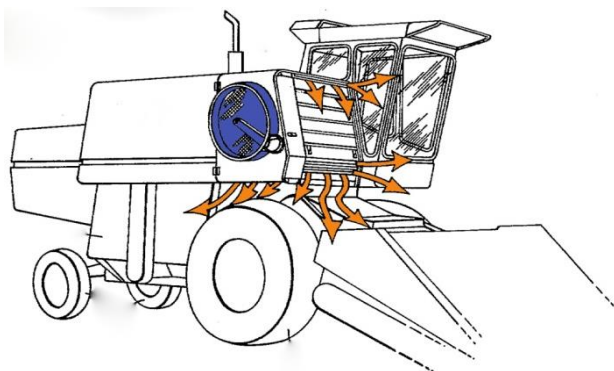


1 – filtrační buben, 2 – poloválčový žlab, 3 – nosné síto, 4 – naplavená vrstva křemeliny, 5 – vrstva kalů, 6 – plošný nůž, 7 – přívod filtrovaného vína, 8 – odvod filtrátu, 9 – dávkování křemeliny, 10 – výstup filtrátu, 11 – vývěva

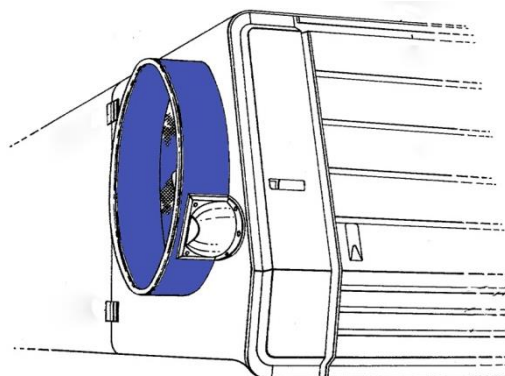
Obr. 26: Schéma filtračního zařízení filtrace vína [11]

c) Samočisticí rotační filtr pro chlazení motoru

Ve strojírenském průmyslu je patentováno nespočet druhů rotačních filtrů, které se používají pro filtraci chladícího vzduchu motoru v extrémně prašném prostředí. Tohoto principu využívají především stroje v zemědělství na sklizeň obilovin a olejnin. Ve spalovacím motoru dochází vlivem náročných procesů k nadměrné produkci tepla, a proto musí být zajištěn velký přísun chladícího vzduchu. Nacházíme se v prostředí, kde může v zařízení lehce dojít ke vznícení částic rostlin, proto filtrace musí být vysoce kvalitní. Princip spočívá v umístění rotačního filtračního bubnu ve tvaru válce na Obr. 27 a Obr. 28, nebo komolého jehlanu, na který se usazují nečistoty vlivem sání ventilátoru. V dutině bubnu je umístěn nůž, který čistí filtrační povrch seřezáváním nánosů a následně jsou nečistoty odsávány a vypouštěny na opačnou stranu nasávání vzduchu. Filtrační povrch je z kvalitní pružné umělé síťoviny, která odolává přejezdu řezací čepele. Tento princip patentován již v roce 1978.



Obr. 27: Rotační buben žacího stroje [12]



Obr. 28: Detail rotačního bubnu žacího stroje [12]

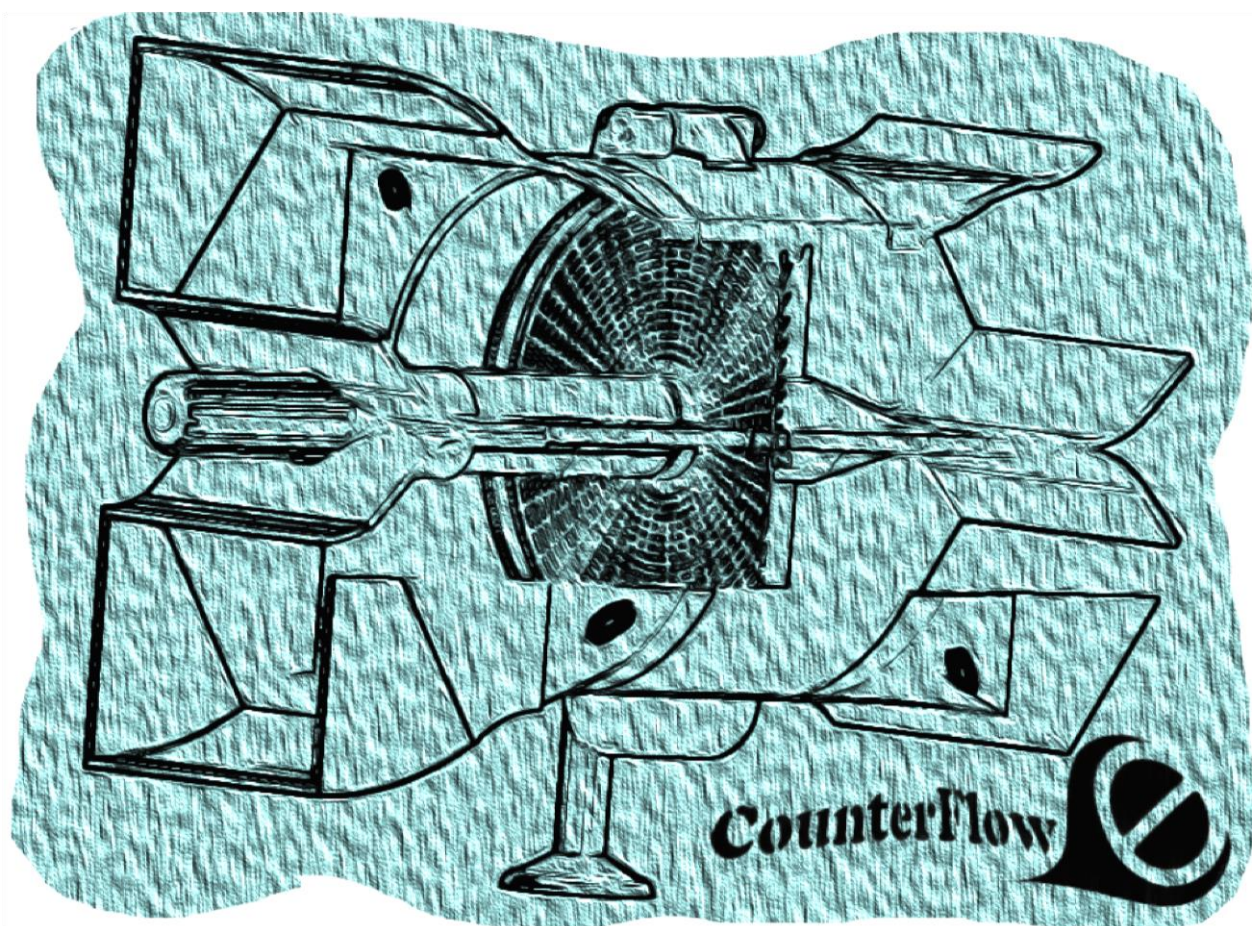


Obr. 29: Reálná podoba rotačního filtračního bubnu řezačky kukuřice [13]

Závěr části A

Projekt tohoto zařízení je teprve na začátku a velkým milníkem bude na základě experimentů zjistit parametry filtračních vložek, zda mohou fungovat tímto popsaným způsobem i v reálných podmínkách. Zatím byly provedeny pouze laické experimenty a na základě znalostí stanoveny možné dosažitelné cíle. K výrobě kompletního zařízení nemám potřebné znalosti v oboru strojírenství, proto pokud se představení prototypu uchytí, budu muset do projektu zapojit i další kolegy.

Nejvyšším cílem projektu je tedy prozatím sestrojení funkční filtrační rohože, která by splňovala předepsanou jímavost a byla dobře regenerovatelná. Zároveň s tím budou potřeba vyměřit, na základě provedených zkoušek, přesné meze filtračních tříd, tlakové poměry, doby životnosti a meze průřezových rychlostí pro správnou funkci filtru. Abych ověřil v praxi funkčnost regenerační filtrace a pokusil se stanovit alespoň rámcové mantinely použití, provedl jsem rozšířený experiment regenerační filtrace na sestaveném VZT kanálu pro vybrané filtrační materiály. To vše je zaznamenáno v rámci experimentální části této práce.



Obr. 30: Ilustrační obrázek

B) Experimentální část

Úvod

Na základě zadání diplomové práce jsem měl za úkol v experimentální části zjistit účinnost regeneračních vlastností vybraných filtračních materiálů. Pokus bude probíhat při různých objemových průtocích vzduchu na zkušebním vzduchotechnickém kanále, který byl vlastnoručně sestaven v domácích podmínkách za pomoci dostupných prostředků a na základě znalostí v oboru vzduchotechniky.



Obr. 31: Ilustrační obrázek [15];[16]

Protože tento princip filtrace s následnou regenerací zatím není technicky známý a normové požadavky nestanovují limity a postupy zkoušky pro tento princip filtrace, bylo schváleno vedoucím práce a externími konzultanty, že postup a vyhodnocení regeneračních účinností daných filtračních materiálů bude vycházet z možností vytvořeného modelu a z dostupných měřících prostředků s částečným přihlédnutím na normové požadavky stanovené v ČSN EN 779 - *Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic pro všeobecné větrání – stanovení filtračních parametrů*. Tato norma popisuje především požadavky zkušební vzduchotechnické dráhy a instalovaných komponent pro stanovení filtračních vlastností filtračních vložek s následným vyhodnocením a zařazením do normových tabulek na základě tlakových ztrát, jímavosti a odlučivosti prachových částic. Norma připouští i jistou změnu zkušební tratě s následným schválením této úpravy. Toto lze provést, pokud není možné do zkušebního kanálu umístit zkoušený filtr běžným způsobem. Zajímavostí je, že dráha musí striktně vykazovat nulové úniky vzduchu.

Úpravy zkušební tratě pro naše filtrační vložky by byly tedy technicky možné, ovšem tato změna by byla časově i finančně náročná, protože by muselo dojít ke zredukování čtyřhranného profilu zkušební tratě na půlkruhový s nulovými úniky vzduchu a také by bylo zapotřebí mnoho filtračního materiálu o vysoké jímavosti, protože se zařízení nachází ve zkušebních místnostech a uniklý zkoušený prach musí být následně zachycen na koncovém velmi jemném filtru, aby nedocházelo k zamoření místnosti normovým prachem. Požadavek zachytávání koncovým filtrem by se pro tento projekt stal velmi nákladným a pracným, protože musíme v rámci experimentu stanovit regenerační účinky. Množství uniklých částic při regeneraci by bylo enormní a experiment by doprovázela častá výměna koncových filtrů.

Z těchto důvodů se rozhodlo, že zkušební trať bude vytvořena v exteriérových podmínkách a již od začátku bude sestavována tak, aby následné experimentování umožňovalo jednak filtraci, ale i následnou regeneraci filtrační vložky bez nutnosti použití koncového filtru k zachycení prachu. Protože jsem nesehnal sponzora našeho prvotního experimentu, byla trať vytvořena za pomoci zařízení používaného pro vzduchotlakový transport sena a slámy s regulační úpravou šitou na míru právě pro tento experiment. Tohoto zemědělského pomocníka na Obr. 32 máme na vesnickém statku, kde čekal na své další uplatnění pod plachtou celé 4 roky, protože pro původní účely již nebyl využíván a při výběru ventilátoru s přehledem splňoval požadavky na požadovaný objemový průtok vzduchu.

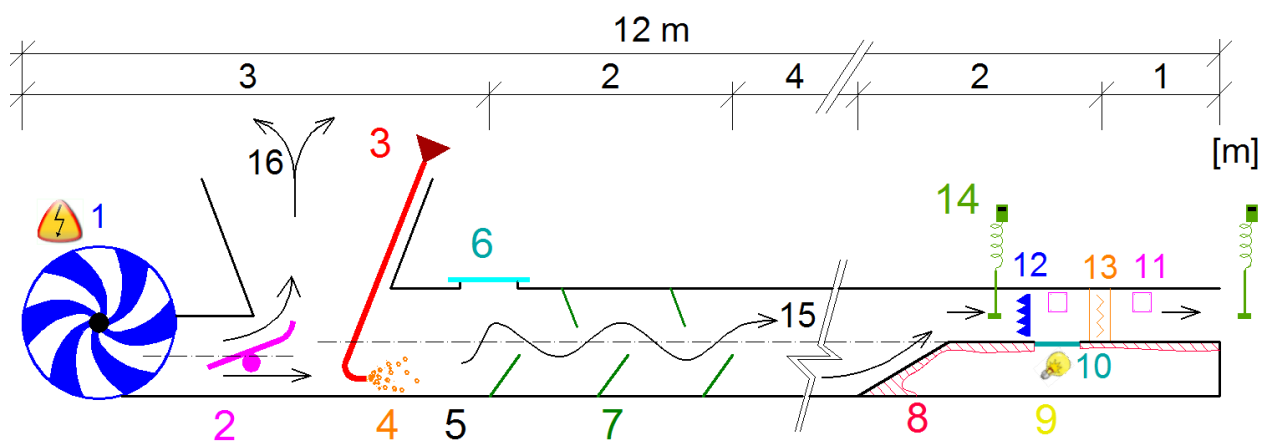


Obr. 32: Fukar sena s radiálním ventilátorem

B 1. Stavba zkušebního vzduchotechnického kanálu

Na počátku experimentu bylo zapotřebí sestavit zkušební vzduchotechnický kanál, na který budou následně vyrobeny a odzkoušeny různé filtrační vložky. Model snažil co nejvíce přizpůsobit normové zkušební trati, ovšem s použitím běžně dostupných zařízení a prostředků, a tedy s minimálními vstupními náklady. Protože bylo zřejmé, že celá stavba zabere velké množství času, nepočítaje čas ladění a zkoušení různých variant provedení, započaly první hodiny manuální přípravy již v srpnu 2017 a první konzultované papírové návrhy dokonce v květnu 2017. Předem bylo jasné, že pokud se model nepovede dokončit do prvních mrazivých dnů, veškeré přípravy se protáhnou z důvodu špatné práce s ocelí do pozdního podzimu.

Celková délka modelu měla být 8 až 10 m, protože bylo zapotřebí umožnit vzdušině co nejrovnoměrnější rozptýlení prachových částic po průřezu. Protože se po statku pohybuje zemědělská technika, bylo velkým problémem umístit takto dlouhý model na pevné místo, kde by mohl setrvat po celou délku experimentu. Model byl tedy nakonec umístěn tak, že zde sice bude moci setrvat, ovšem přístup k němu bude možný pouze z jedné strany.



Legenda

- 1 Radiální ventilátor (napojení přes řemen na elektromotor)
- 2 Manuální regulační klapka
- 3 Dávkovač prachu
- 4 Aplikovaný zkušební prach před rozptýlením
- 5 Sestavné vzduchotechnické potrubí \varnothing 500 mm
- 6 Kontrolní a revizní okna
- 7 Přepážky k promísení vzduchu se zkušebním prachem
- 8 Redukce profilu z kruhu na půlkruh s následným zaizolováním
- 9 Světelný zdroj
- 10 Průsvitná přepážka do aktivní komory před filtrem
- 11 Kontrolní a revizní okna
- 12 Lamače laminárního proudění - turbulátory
- 13 Zkušební filtrační vložka
- 14 Měření rychlosti vzduchu (příložný vrtulkový anemometr)
- 15 Požadovaný objemový průtok vzduchu
- 16 Přebytečný objemový průtok vzduchu

Obr. 33: Schéma zkušební tratě



Obr. 34: Skutečné provedení zkušební tratě



Obr. 35: Pohled na reálnou zkušební trať

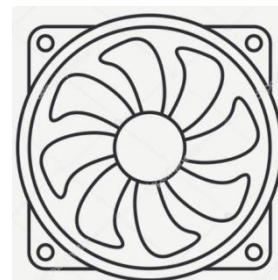


Obr. 36: Pohled na reálnou zkušební trať

Dle schématického návrhu zobrazeného na *Obr. 33* jsem zahájil sestavování trasy v reálných podmínkách. Na *Obr. 34-36* je zdokumentován první finální prototyp popisovaného regeneračního filtru pro zkušební účely diplomové práce. Jedná se o velmi zjednodušený, ovšem nečekaně pracný model s názvem **CouterFlow**. Pro detailnější názornost všech funkcí byl proveden audiozáznam zkušební tratě, který dokumentuje regeneraci jedné z vytvořených filtračních vložek (*audiozáznam č. 1 - Příloha B*). V dalším textu jsou popsány všechny důležité části modelu, jejich funkce a postup výroby.

B 1.1 Ventilátor

Bylo zapotřebí navrhnout takový ventilátor, který svými vlastnostmi umožní zajistit vždy požadovaný objemový průtok vzduchu, respektive žádanou rychlost před zkušebním filtrem. Protože jsem musel vycházet z dostupného průměru potrubí, měl jsem pevně danu průřezovou plochu půlkruhu, ve které jsem potřeboval **docílit rychlosti vzduchu 10 m/s** a následně ji regulovat vždy na požadovanou hodnotu s citlivostí přibližně 1 m/s. Tento požadavek vycházel ze zadání, neboť na začátku bylo dohodnuto, že horním mantinel rychlosti bude již zmiňovaných 10 m/s. Snadným výpočtem lze zjistit, že výkon ventilátoru musí zajistit **minimální průtok vzduchu přibližně 3600 m³/h**.



Obr. 37:
Schématický
obrázek [17]

Protože nebyla možnost k zapůjčení ventilátoru, který by tyto požadavky splňoval, připadaly v úvahu pouze 2 varianty. Mohl jsem pořídit nový radiální nebo axiální ventilátor, jehož cena se na trhu pro rok 2017 pohybuje kolem 7 000 až 9 000 Kč, nebo využít razantně předdimenzovaný radiální ventilátor, který se nachází v již zmiňovaném fukaru sena (Obr. 38;39). Pokud by byl použit původní 7,5 kW elektromotor z fukaru s 1850 ot/min zn. Škoda a původním řemenovým převodem, tak by objemový průtok v potrubí dosahoval úrovně 30 000 - 35 000 m³/hod, což v přepočtu na rychlost vzduchu v redukovaném půlkruhovém potrubí v místě filtru představuje hodnotu cca 90 m/s. Je to vskutku enormní rychlost vzduchu, která bezpečně vytlačí na půdu špunt vytvořený ze sena o hmotnosti přibližně 6 kg. Pokud porovnáme hodnotu rychlosti vzduchu dle Beaufortovy stupnice, tak síla větru velikosti orkánu začíná na 33 m/s. Z toho vyplývá, že za provozu probíhá v potrubí velmi slušný orkán.



Obr. 38: Fukar sena – přední pohled



Obr. 39: Fukar sena – zadní pohled



Obr. 40: Elektromotor Škoda - 7,5 kW



Obr. 41: Elektromotor ČKD - 3kW

Obr. 42: Štítek elektromotoru
Škoda

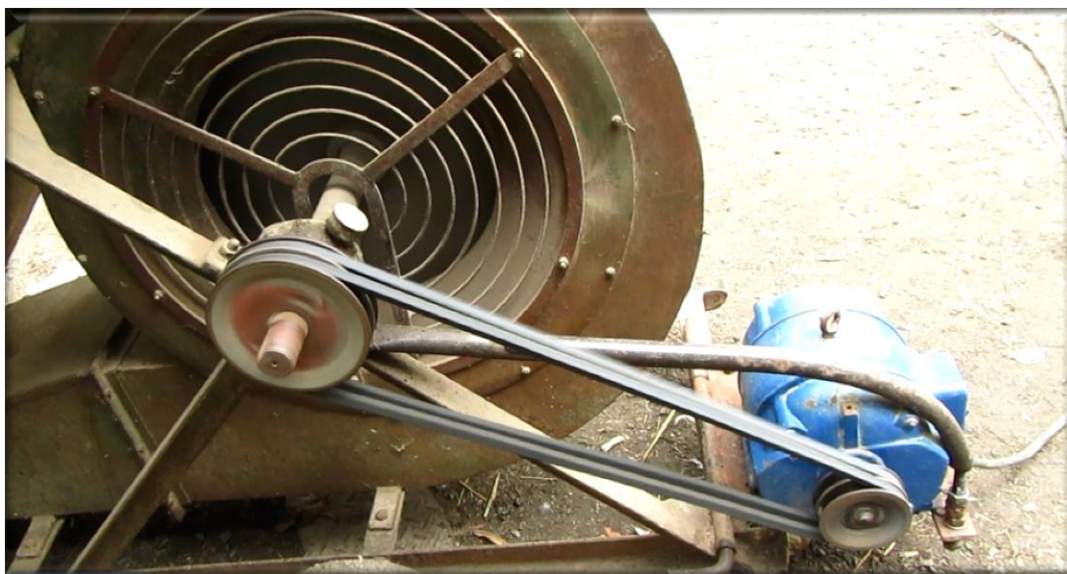
Obr. 43 : Štítek elektromotoru ČKD

Takto navržený ventilátor by pro experiment byl zcela nevhodný, protože maximální rychlosti vzduchu se v běžné vzduchotechnice pohybují kolem 10 m/s, aby byly účinné procesy, které ve vzduchotechnické jednotce probíhají. Například pokud uvažujeme rekuperaci tepla, tak její účinnost klesá se stoupající rychlostí, nebo v případě ohřevu musíme při vyšší rychlosti vzduchu mít k dispozici výkonnější ohříváč, což je zbytečné prodražování VZT jednotky.

Protože tento projekt byl pojat jako nízkonákladový, tak jsem se rozhodl použít tento výkonný ventilátor, ovšem s tou změnou, že původní elektromotor vyměním za méně výkonný a v případě potřeby snížím otáčky přes řemenový převod. Po přepočítání byl tedy sehnán a použit 3 kW elektromotor zn. ČKD - Národní podnik o 1 420 ot/min. Další úprava nastala ve výměně řemenice na straně elektromotoru, čímž jsem snížil otáčky radiálního ventilátoru na 1 000 ot/min. Protože tento třífázový synchronní elektromotor s 3 kW výkonu, není tak silný, aby roztočil ventilátor do provozního stupně, musel být řemen vždy před spuštěním roztočen, aby nedošlo k vyhození jističů z důvodu kolísání proudu v síti.

Tuto stereotypní činnost jsem se zpočátku rozhodl absolvovat, ale časté zapínání mě přinutilo nainstalovat do elektromotoru napájecí vřazený činný odpor, který eliminoval velké výkyvy odběru proudu. Původní motor je asynchronní s náběhem otáček, a proto roztočení řemenu před startem nebylo nikdy nutné.

I takto upravený ventilátor byl nakonec předimenzovaný, neboť finální výkon je nyní 6 000 m³/hod, oproti potřebným 3600 m³/hod, ovšem tento fakt byl nakonec přínosný, neboť vysoký průtok vzduchu obstarával kvalitní pročištění filtrační vložky mezi jednotlivými experimenty.



Obr. 44: Pohon radiálního ventilátoru s dvěma řemeny

B 1.2 Manuální regulační klapka

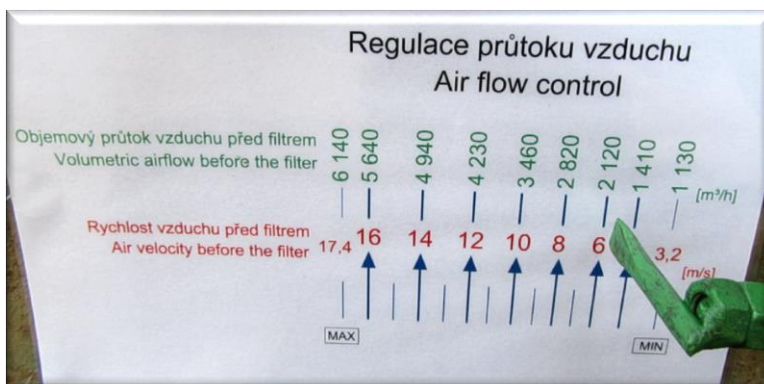
Pro vykonání zkoušek filtračních vložek bylo zapotřebí vymyslet regulační zařízení, které by měnilo rychlost vzduchu s citlivostí alespoň 1 m/s v nově stanoveném rozmezí 2 – 17 m/s.

Opět bylo několik možných variant provedení. Nejjednodušší, ovšem nejdražší varianta, která se používá u normových zkušebních tratí, spočívala v instalaci frekvenčního měniče pro proud 11 Ampér a výkon 3 kW. Měl jsem k dispozici frekvenční měniče pouze v nižší řadě, proto by znamenalo toto zařízení zakoupit, přičemž se jeho tržní cena pohybuje pro rok 2017 v rozmezí 11 000 až 13 000 Kč. Jedná se ovšem o starý elektromotor a nebyla jistota, zda bude s měničem spolupracovat. Další variantou bylo pořídit více řemenic a pro změnu výkonu je vyměňovat, což by bylo velmi složité a zdlouhavé. Další variantou bylo také zastínění přístupu vzduchu k lopatkám ventilátoru překližkou a měnit plochu zastínění. Tímto způsobem se neodborně výkon ventilátorů reguloval dříve, avšak toto řešení je technicky nevhodné, protože zatěžuje samotný ventilátor z důvodu velkého podtlaku a požadovaná rychlost by nemusela být stabilní.

Poslední variantou, která se zároveň stala variantou použitou, bylo sestavení manuální regulační klapky s umístěním za ventilátorem (Obr. 45). Otáčením černé lopatky se potom rozděloval výchozí proud vzduchu na část požadovaného a nepotřebného objemového průtoku vzduchu.

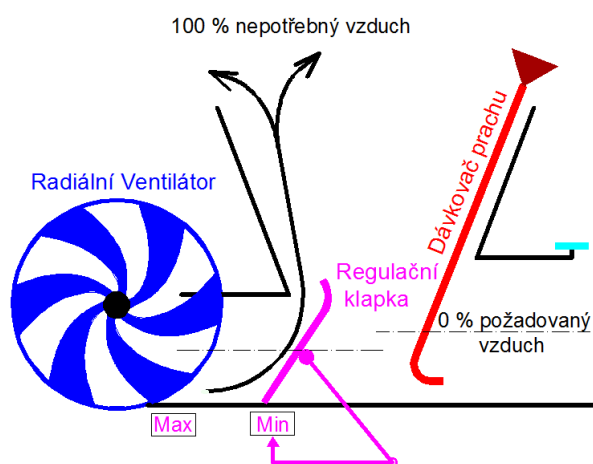


Obr. 45: Manuální regulační klapka

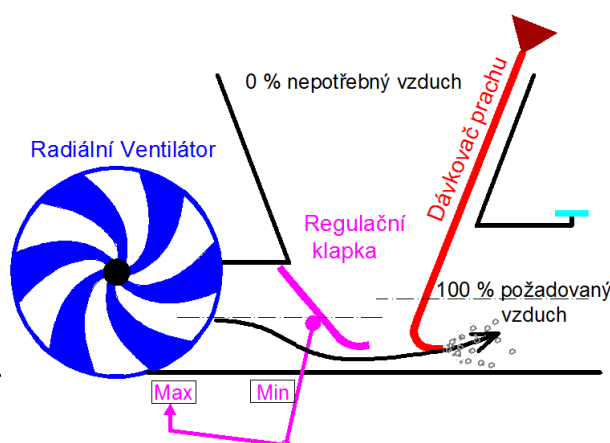


Obr. 46: Stupnice rychlostí podle natočení regulační klapky

Na obrázcích Obr. 47 a 48 jsou znázorněny hraniční polohy regulační klapky v rozmezí minimálního a maximálního objemového průtoku. Požadovaná část proudu vzduchu je tedy pouštěna spodní částí klapky, za níž je umístěn prachový podavač. Přebytečná část je díky tvarování klapky odvedena horní částí mimo zkušební kanál směrem vzhůru vřazovacím trychtýřem na seno. Otáčením klapky tedy dochází k rozdělení obou částí proudů v určitém poměru, čímž jsme dospěli k regulaci rychlosti vzduchu před filtrem s přesností $\pm 0,2$ m/s.



Obr. 47: Nastavení minimálního průtoku



Obr. 48: Nastavení maximálního průtoku

Zajímavostí je, že klapka nedokáže rozdělit proud vzduchu tak, abych před filtrem docílil nulové rychlosti při zapnutém ventilátoru. Minimální rychlost je proto 2,2 m/s. Za tento jev můžou nepřesnosti výroby a viditelné mezery kolem regulační klapky. Regulace je umožněna přes táhlo nacházející se na vnějším boku fukaru, kde je také umístěna stupnice pro nastavení požadované rychlosti. Tvorba stupnice byla možná až po dokončení celého modelu, protože jsem uvažoval s úniky vzduchu po trase potrubí. Na Obr. 49 jsou znázorněny první označené hodnoty rychlosti vzduchu, na které byla následně sestavena rychlostní a průtoková stupnice.



Obr. 49: První hodnoty regulace rychlosti vzduchu v [m/s] pro tvorbu stupnice

Sestrojení regulační klapky znamenalo nejprve umístit otáčecí osu do předvyvrtaných otvorů, na níž se připevnil tvarovaný ocelový plech tl. 3 mm s pomocí provlékací trubky a fixačních šroubů. Jedna strana regulační klapky byla rádiusem zahnutá směrem nahoru, aby byl proud přebytečného vzduchu bezpečně odveden mimo zkušební kanál.



Obr. 50: Umístění otáčecí osy



Obr. 51: Svařování
provlékač trubky



Obr. 52: Test funkčnosti klapky

Z vnější části byla klapka napojena na tyčové pákové táhlo za pomoci kloubu s jedním stupněm volnosti pro natáčení regulační lopatky dle *Obr. 53*. Fixaci klapky v požadované poloze zajišťoval aretační šroub umístěný na pákovém táhlu.



Obr. 53: Pákové táhlo s aretačním šroubem

B 1.3 Dávkovač prachu

Jedná se o komponentu, která obstarává, respektive podávání prachu,, v přesném množství do vzduchotechnické trati. Norma ČSN EN 779 ho popisuje jako zařízení, které dodává syntetický zkušební prach ke zkušebnímu filtru s konstantním podávacím výkonem po dobu zkoušky.

Používaným nástrojem pro dávkování při normových zkouškách je korýtkový zásobník, do kterého se naplní požadované množství prachu a pohybem korýtky s podávacím válcem dochází k dodávání částic do ejektoru umístěného v potrubí v podávacím místě dle Obr. 54.



Obr. 54: Korýtkový podavač prachu [18]

Tento ani jiný podavač prachu bohužel nebyl k dispozici, proto byl sestrojen manuální podavač prachu bez ejektoru. Vypouštěcí místo bylo v tomto případě zvoleno za regulační klapkou v místě nejvyšší rychlosti vzduchu. Místo podávání prachu je potom vytvořeno v místě hrdla fukaru, kam se přihazuje seno. Princip se následně osvědčil jako účinný, protože v podavači vznikl podtlak a prach se tak snadněji aplikoval. Kolize nastala s použitím regulační klapky, která nám vířila prach přebytečným vzduchem u podávacího místa. Proto bylo místo podávání umístěno co nejdále od klapky a v době aplikace odstíněno příložným kartonem od přebytečného vzduchu. Tímto způsobem se do potrubí zavedlo vždy přesně navážené množství vzduchu. Záznam z výroby podavače je možné shlédnout v *audiozáznamu č. 2 - Příloha B*.

Dávkovač byl vytvořen ze spojení 3 částí, a to aplikačního plastového trychtýře, trasovací ocelové trubky o průměru 6 cm a speciálně vyříznutým a tvarovaným ejektorem ve formě zahradní hadice. Tvarování ústí podavače mělo za následek zvýšení podtlaku v podávacím systému.



Obr. 55: Stavba dávkovače prachu



Obr. 56: Plnění podavače prachovými částicemi



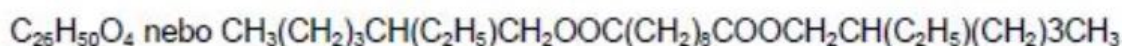
Obr. 57: Hotový prachový podavač

B 1.4 Zkušební filtrační prach

Jak již bylo řečeno v úvodu, postup zkoušky musí být ve šlépějích normového postupu ČSN EN 779 pro zkoušení vzduchotechnických filtrů. Je zde popsán i filtrační prach, který k experimentu běžně používá. Používají se nejčastěji tyto dva druhy prachových částic:

- a) Pro zkoušení HEPA a ULPA filtrů (*filtry s vysokou filtrační jímavostí více jak 99,9 %, používané především ve zdravotnictví, nebo ve speciálních provozech s požadavkem vysoké kvality čistoty vzduchu.*) je hojně využíván zkušební aerosol DEHS (DiEthylSebacate), který vytváří např. Laskinova tryska.

DEHS/DES/DOS – vzorec:



Vlastnosti DEHS:

Hustota	912 kg/m ³
Bod tání	225 K
Bod varu	529 K
Teplota vznícení	> 473 K
Tlak par	1,9 μPa při 273 K
Index lomu	1,450 při vlnové délce 600 nm
Dynamická viskozita	0,022 kg/m·s až 0,024 kg/m·s
Číslo podle CAS	122-62-3

Obr. 58: DEHS vzorec – složení prachové směsi [18]

- b) Při zkoušení vzduchotechnických filtrů pro všeobecné větrání třídy G3 až F9 se využívá syntetický zátěžový prach, jehož převážná část tvoří křemenný prach rozdělená do frakcí s určitým procentuálním podílem v konečné zkušební směsi.

Tab. 5: Složení prachové směsi dle ČSN EN 779

Složení směsi	
Podíl hmotnosti	Druh prachu
72%	Křemenný prach
23%	Saze
5%	Bavlnění vlákna

Protože výše popsané zkušební prachové směsi nejsou snadno dostupné a jejich pořízení by zvýšilo vstupní náklady, bylo ujednáno s panem Ing. Danielem Adamovským Ph.D, že v rámci tohoto projektu bude zanedbáno složení normového prachu a bude vytvořeno takové složení prachových částic, které odpovídá lokalitě, či provozu umístění rotačního regeneračního filtru. S použitím těchto částic bude provedena nejprve filtrace a následně zkouška regenerace.

Filtrační účinnost zkoušených filtračních materiálů se značně liší, proto byly namíchány 2 druhy zkušebních prachových částic reprezentující dva odlišné druhy výrobních provozů. Tento způsob zkoušky filtrů jednoznačně prokazuje jejich regenerační vlastnosti přímo pro použití do situovaného provozu, a proto výroba vlastních filtračních prachů je vhodnější variantou než využití normový prach s pevně stanoveným složením.



Obr. 59: Tvorba zkušebních prachů



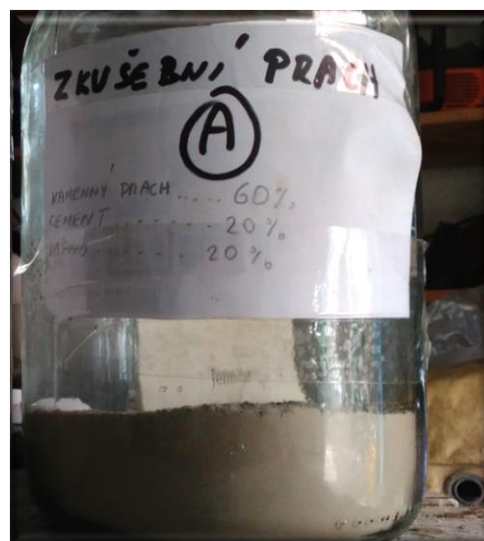
Obr. 60: Měření podílu složky pro zkušební prach

Zkušební prach A

Prvním prachem s jemnou frakcí představující provoz betonárny, kde se především v letních měsících víří prach vícero druhů, je směs kamenného prachu, cementu a vápna. Z dotazů, které byly zodpovězeny pracovníkem jedné z betonáren, které je přičleněn provoz lomu a drtírny kamene, bylo zjištěno, že největším problémem jsou prachové částice expandované do ovzduší jízdou nákladních vozidel po areálu betonárny, protože dochází ke zviření jemných částic ze zpevněného povrchu. Dalším prachovým zdrojem je uvolněný prach při detonačním způsobu lomu, třídírna kamene a samotná výroba betonu. Z těchto poznatků jsem vytvořil charakteristickou směs, jejíž složení je uvedeno v *Tab. 6*.

Tab. 6: Složení směsi A

Složení prachové směsi A		
Podíl hmotnosti	Druh prachu	Velikost částic
60%	Kamenný prach	30 - 90 μm
20%	Portlandský směsný cement - CEM II/B-LL 32,5 R	5-35 μm
20%	Vápenný hydrát CL 90 S	40 - 80 μm



Obr. 61: Prachová směs A

Zkušební prach B

Druhým prachem, který byl vytvořen, je směs s vyšší frakcí charakterizující provoz fabriky na zpracování a uskladnění obilovin. Prach charakterizují prachové částice, které se pohybují ve venkovním prostoru těchto firem a to především v letních měsících, kdy probíhají sklizně. Pro vytvoření reprezentativního složení vzorku jsem navštívil třídírnu obilného zrna, kde jsem pořídil vzorek prachu ze síťového třídíče a separátoru. Další složky prachu jsem pořídil v místním zemědělském družstvu a také na domácím seníku. Rozptyl velikosti prachových částic je při tomto složení velmi velký, a to od 1 cm do 100 μm .

Tab. 7: Složení směsi B

Složení prachové směsi B		
Podíl hmotnosti	Druh prachu	Velikost částic
40%	Prach z čištění obilného zrna	0,1 - 1 mm
30%	Jemné částice obilného pleve	-
30%	Jemné částice senného pleve	-



Obr. 62: Prachová směs B

B 1.5 Vzduchotechnické potrubí

Pro vedení proudu vzduchu bylo použito kruhové ocelové zinkované potrubí o průměru 500 mm. V něm původně probíhal přetlakový transport sena na půdu, proto jsem se ho rozhodl využít pro experimentální účely. Spojování jednotlivých kusů potrubí, které byly k dispozici v délkách 1 m a 2 m, probíhalo za pomoci stahovacích ocelových spon, které k sobě stahují hrdla sousedních potrubních kusů. Velké úniky vzduchu se odehrávaly právě v těchto spojích, protože potrubí bylo po letech značně deformované a spoj tak vykazoval velké netěsnosti. Ty jsem se částečně snažil eliminovat pružným silonovým tmelem.



Obr. 63: Zinkované potrubí o průměru 500 mm

Tento stavebnicový systém potrubí byl také doplněn ohebným kusem potrubí *dle Obr. 64* zajišťující vyrovnání převýšení terénu, tak aby se zkoušená filtrační vložka nacházela v úrovni hrudi a bylo možné s ní snadno manipulovat. Nakonec byly největší úniky vzduchu zaznamenány právě v tomto ohebném kuse, protože se ukázalo, že princip tvarování je vytvořen z ocelových kruhů, které se vzájemně polohují mezi sebou bez těsnících prvků. Znatelná byla velká deformovanost a místy i proreznutí některého kruhu. Eliminace úniků byla v tomto případě nereálná.



Obr. 64: Instalace ohybného kusu potrubí

B 1.6 Kontrolní a měřící otvor

Zobrazený otvor nacházející se těsně za podavačem prachu na Obr. 65 a 66, který jsem využil k občasnému měření rychlosti vzduchu, byl již nainstalovaný v původním fukaru. Svůj účel také našel ve chvíli, kdy byl testován podavač prachových částic, protože se snadno mohla kontrolovat koncentrace prachových částic po průřezu a tím měnit poloha ejektoru.



Obr. 65: Kontrolní otvor za podavačem prachu - zavřený



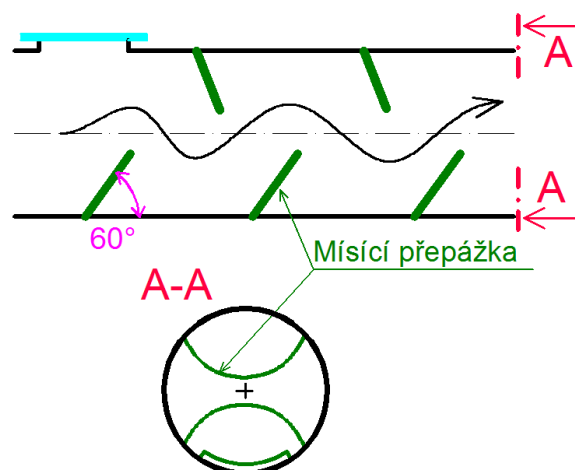
Obr. 66: Kontrolní otvor za podavačem prachu - otevřený

B 1.7 Mísící přepážky

Do jednoho dvoumetrového kusu potrubí byly nainstalovány mísící plechy, které měly za úkol rovnoměrně rozptýlit prachové částice po celém průřezu potrubí. Celkem bylo vyrobeno 5 kusů plechových přepážek, které se rovnoměrně rozmístily pod úhlem cca 30 ° po délce potrubí ve směru proudění vzduchu. Tento prvek velmi zvyšuje tlakové ztráty ve zkušebním kanále, ale jejich použití bylo nezbytné, protože se částice bez použití těchto prvků koncentrovaly v horní části potrubí. Z důvodu minimalizace zanášení prachových částic, byla spodní trojice přepážek vykrojena tak, aby pod ní mohl proudit zkušební vzduch, dle Obr. 68.



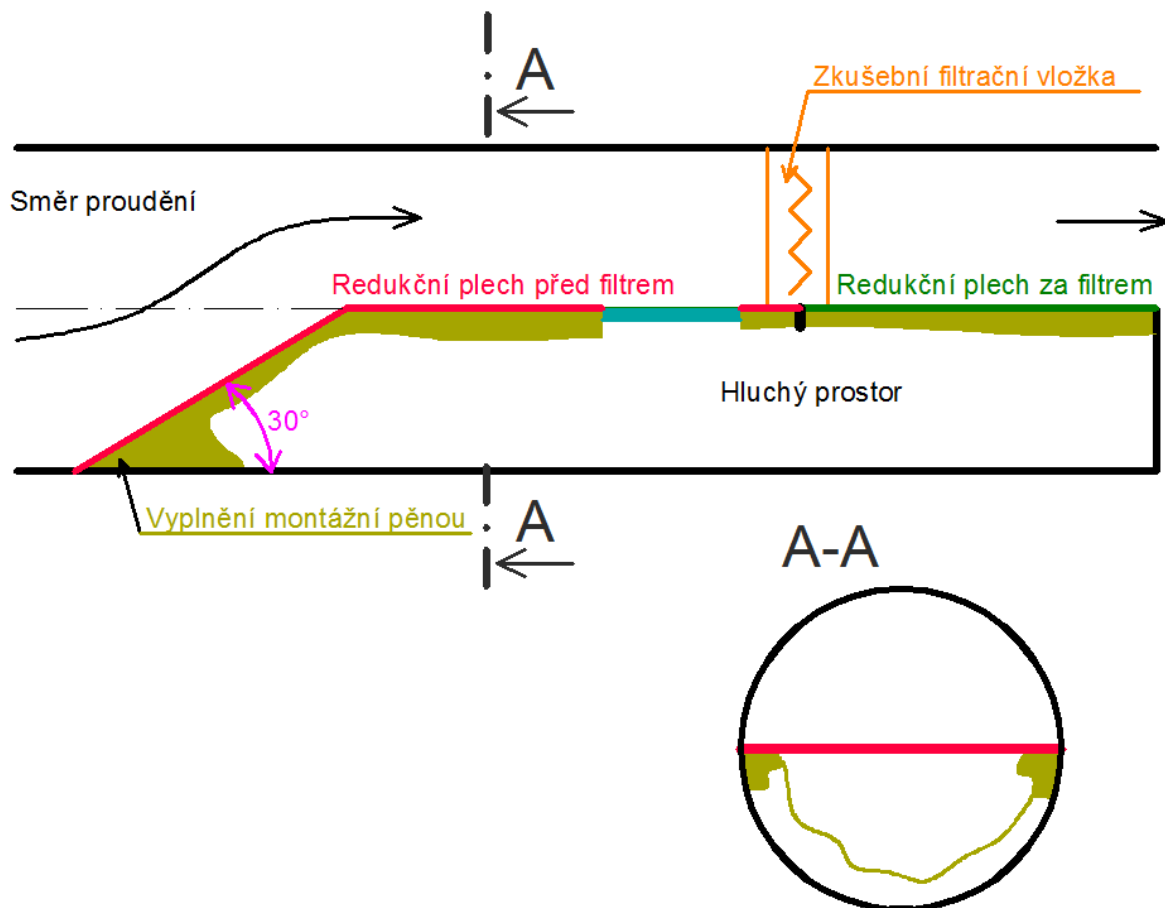
Obr. 67: Výroba přepážek



Obr. 68: Schéma umístění přepážek

B 1.8 Redukce profilu potrubí

Pokud bychom sestavovali funkční prototyp rotačního regeneračního filtru, než jakým je tento zjednodušený model, tak by žádná redukce profilu nebyla zapotřebí. Experimentální filtrační vložka, respektive účinná filtrační plocha je ve tvaru půlkruhu stejně tak, jako je navržen teoretický model v části *A 2.1 Průvodní popis zařízení*. Protože systém rotace filtrační vložky mezi fázemi filtrace a regenerace by byl velmi náročný a vyžadoval by kvalitní odizolování mezi oběma komorami, bylo do modelu zavedeno zjednodušení, a to takové, že při výměně fáze při experimentu dojde pouze k manuálnímu rozebrání filtrační oblasti potrubí a následně k otočení (převrácení) samotné filtrační vložky, tak aby vzduch proudil stejnou filtrační plochou, ale opačným směrem. Schéma principu uvedeno na *Obr. 69*. Při této úpravě není třeba do potrubí zavádět protiproudý systém, protože tato úprava by znamenala pořízení druhého ventilátoru, který by byl zapotřebí k nucenému proudění opět určitou rychlostí v druhé části půlkruhu



Obr. 69: Schéma pro vytvoření redukce



Obr. 70: Hladký přechod redukční oblasti

Pro použití systému s jedním ventilátorem bylo tedy zapotřebí zredukovat kruhové potrubí na půlkruhové a pokud možno pozvolně, aby v místě přechodu nevznikly turbulentní proudy. Zároveň bylo zapotřebí provést redukci dostatečně daleko před místem zkoušeného filtru, aby opět nedocházelo ke koncentraci prachových částic v horní části potrubí. K této úpravě byl vybrán dvoumetrový kus potrubí umístěný před filtrem. Vznikl nám tedy hluchý prostor bez využití dle Obr. 69, kterému byly až později přiřazeny další vlastnosti, jako například místo pro uložení zdroje osvětlení, nebo odkládací prostor.



Obr. 71: Fixace redukčního plechu



Obr. 72: Umístěný redukční plech

Z hliníkového zásobníku na *Obr. 73*, který původně sloužil pro skladování obilnin, jsem vystříhal popisovanou redukční přepážku na *Obr. 74*, která byla uchycena za pomoci nýtových spojů do potrubí. Aby bylo možné měřit rychlost vzduchu za filtrem, vytvořil jsem redukci i na konečný metrový kus potrubí. Redukce až k samému konci potrubí nám také umožnila filtrační vložku umístit do krajního místa a proto mohly být lépe pozorovány děje a pohyby filtračních lamel především v regenerační fázi.



Obr. 73: Použitý hliníkový zásobník



Obr. 74: Redukční plech k umístění před filtr

Redukované potrubí vykazovalo značnou deformaci z průběhu používání, proto byly po nainstalování redukovacích plechů viditelné netěsnosti znamenající velké úniky vzduchu do hluchého prostoru. Za pomoci montážní pěny byl proto prostor napojení redukovacích plechů se vzduchotechnickým potrubím zaizolován tak, že se těsnící housenka nacházela ve slepém prostoru, čímž jsme zachovali hladký profil zkušebního kanálu. Po vytvrdnutí montážní pěny navíc došlo ke zpevnění nainstalované přepážky.



Obr. 75: Redukce před utěsněním



Obr. 76: Redukce po utěsnění



Obr. 77: Aplikace těsnící housenky



Obr. 78: Těsnění náběhu redukce

B 1.9 Průsvitná přepážka do aktivní komory před filtrem

Aby bylo možné provádět zkoušky filtračních vložek i ve večerních hodinách, kdy už není do prostoru filtrace kontrolními okny vidět, rozhodl jsem se zavést do hluchého prostoru světelný zdroj, který by prosvětlił prostor před filtrem.

Komponenta byla vytvořena tak, že byl do redukovačného plechu před filtrem vyříznut obdélník, aby nebyla narušena statika samotné redukční přepážky. Na vzniklý otvor byl ze spodní části tavnou pistolí připevněn výřez z plexiskla, který zajistil prosvětlení mezi oběma komorami. Opět muselo být provedeno zaizolování proti únikům vzduchu, a tedy v tomto případě byl použit výplňový silikon k vyplnění spojů. Osvětlení prostoru za filtrem bylo řešeno externím zdrojem světla, který již nebyl součástí vzduchotechnického kanálu.



Obr. 79: Průsvitná přepážka – horní pohled



Obr. 80: Průsvitná přepážka – spodní pohled

Jako světelný zdroj byla použita klasická 100 W žárovka s připojením na elektrickou síť. Nakonec během experimentů, nebylo zapotřebí zdroj světla umístit, protože se pokusy prováděly pouze v denních hodinách.

B 1.10 Kontrolní a revizní okna

Původní plán vytvoření revizního okna byl takový, že se vytvořeným zavíracím otvorem budou srovnávat filtrační lamely ve filtrační fázi, protože jsem předpokládal, že může dojít k přisátí filtračního materiálu na opačnou stranu, čímž by vznikl prostor bez filtrace. Správnou orientaci filtračních lamel v teoretickém modelu zajišťuje rovnací kartáč. Ten zde nemohl být vytvořen, protože zkušební filtr není rotačním prvkem. Do potrubí byl tedy vyříznut otvor o rozměrech 11 x 12 mm a opatřen samolepícím izolačním páskem, abychom opět eliminovali případné úniky vzduchu. V průběhu prací, bylo revizní okno upraveno tak, že jsem zavírací dekl vytvořil z předem vytvarovaného plexiskla horkovzdušnou pistolí se zaoblením o \varnothing 500 mm, čímž se otvor stal průhledným a během filtrační fáze mohl být pozorován filtrační účinek zkušební vložky. Po dokončení otvoru byly následně vytvořeny stejným způsobem další kontrolní okna tentokrát v oblasti za filtrem.



Obr. 81: Tvorba revizního okna



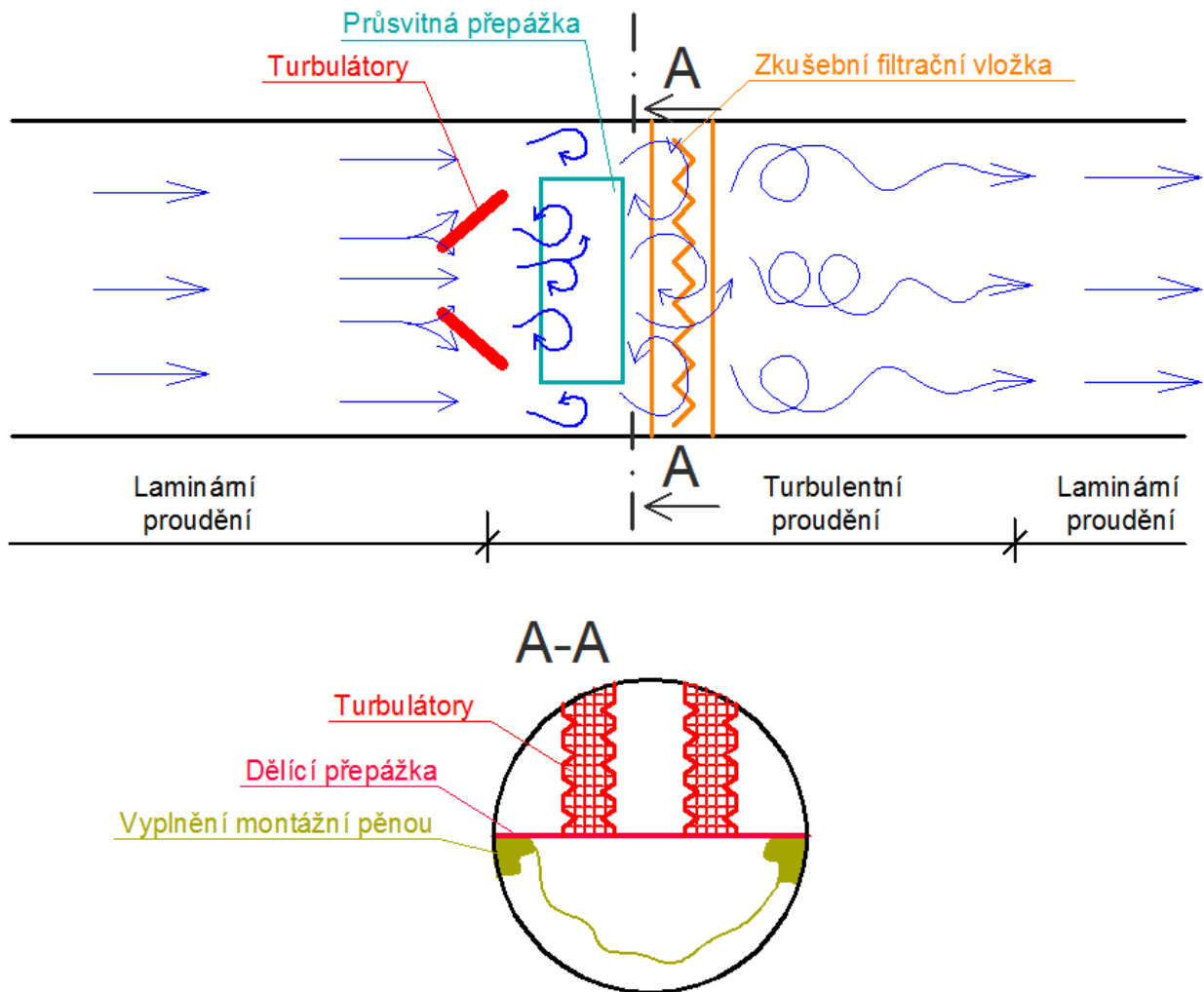
Obr. 82: Otevřené revizní okno



Obr. 83: Revizní otvory před dokončením

B 1.11 Lamače laminárního proudění – Turbulátory

Po sestavení zkušební dráhy započal vývoj tvaru filtračních lamel. Bohužel se již při těchto prvotních experimentech ukázalo, že laminární proudění, kterého bylo dosaženo prodlouženou délkou kanálu, bude pro procesy regenerace filtračních vložek nevhodné. Regenerační účinek přichycených lamel byl i při vyšších rychlostech vzduchu (8-10 m/s) neúčinný a lamely zůstávaly zanesené prachem.



Obr. 84: Schéma návrhu turbulátorů

Začalo tedy opět experimentování s cílem vymyslet nejjednodušší a přitom účinný způsob, jak změnit laminární proudění na turbulentní pro zvýšení účinnosti regenerace. První verzí bylo sestavení lopatkového rozražeče na principu mlýnského kola, které bychom umístili do redukovaného půlkruhu zkušebního kanálu. Ložisko bychom mírně zbrzdili, takže by se lopatky pohybovaly menší rychlostí a svým pohybem by vždy lokálně vířily vzduch před zkoušeným filtrem. Tento způsob by byl nejen složitý, ale brždění ložiska by pro každou rychlost vzduchu muselo mít jiné parametry, což pro potřeby experimentu bylo nevhodné. Další variantou bylo před filtrační vložku umístit lamače laminárního proudění, které by tížený efekt zajistily. Experimentováním s tvarem lamačů a různými rychlostmi byl vytvořen systém dvou profilovaných přepážek, tzv. turbulátorů dle Obr. 84. Pro každou rychlost by ohnisko největší účinnosti bylo v jiné vzdálenosti, ale pro zjednodušení mu byla přidělena fixní poloha.

Umístěním turbulátorů se účinek regenerace viditelně zvětšil a proto byl zařazen do zkušebního kanálu pro experimenty všech typů filtračních vložek. Tímto řešením jsme ovšem znevýhodnily fázi filtrace, protože jsme před ní zavedli

turbulentní proud, což není z hlediska filtrace vhodné. Zachycené částice se totiž vlivem tohoto proudění mohou na filtru částečně pohybovat, a proto může dojít k průchodu již uchycených částic přes filtr. Další problém mohl nastat v případě, že by turbulentní proudění kmitalo s filtračními lamelami a docházelo by k jejich pohybu v době fáze filtrace, čímž by se lamely odchlipovaly od podkladní síťoviny a propouštěli by nefiltrovaný vzduch. Při zjišťování správné polohy a velikosti turbulátorů se tento fakt nepotvrdil a filtrační lamely držely u svého podkladu i přes nepříznivý typ proudění.



Obr. 85: Výroba turbulátorů



Obr. 86: Finální turbulátory ve fixní poloze

Konečným výsledkem je tedy dvojice rozrážecích lamel o šířce 12 cm na Obr. 86, které byly upevněny pod úhlem 45° od směru proudění s umístěním před zkoušeným filtrem ve vzdálenosti cca 30 cm. Okraje jsou zazubeny, čímž se zesílil efekt turbulencí.

B 2. Návrh a výroba filtračních vložek

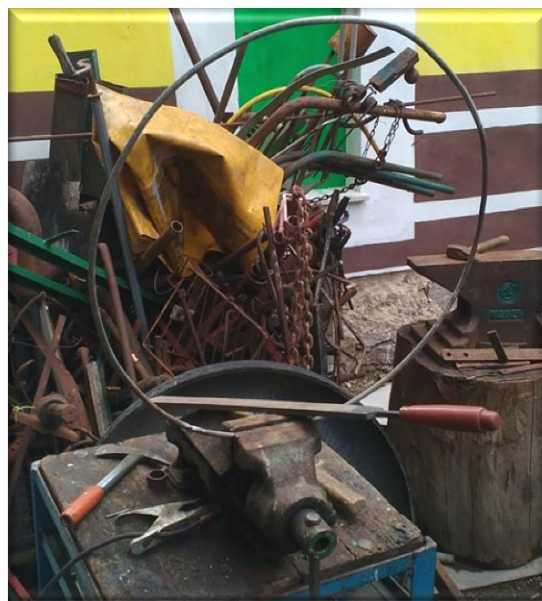
B 2.1 Konstrukce

Po dokončení stavby zkušebního kanálu, bylo zapotřebí vyrobit konstrukci filtrační vložky tak, aby bylo umožněno provést její uchycení mezi dvěma sousedními hrdly potrubí a dále aby v oblasti tohoto spoje nevznikly velké úniky vzduchu. Vycházel jsem z původních teoretických modelů, a tedy, že do nosného rámu napnu síťovinu s takovým pnutím, tak aby nedocházelo k jejímu prohýbání při filtračních testech.

Byl svařen kruhový rám z hromosvodového drátu \varnothing 8 mm s obvodem větším než samotné potrubí, aby bylo možné vytvořit vzduchotěsné připojení.



Obr. 87: Výroba nosného rámu filtrační vložky



Obr. 88: Výroba nosného rámu filtrační vložky

Jako podkladní síťovina byla zvolena z velkého množství výběru svařovaná ocelová síť s velikostí oka 63 mm. Následně došlo k napnutí sítě na drátový rastr dle Obr. 90.



Obr. 89: Výběr podkladní síťoviny



Obr. 90: Napínání síťového podkladu



Obr. 91: Vystředění filtrační vložky na VZT potrubí



Obr. 92: Lepení těsnění



Obr. 93: zatěsněná filtrační vložka

Vzduchotěsné provedení uchycení filtrační vložky by se neobešlo bez těsnících prvků. Proto jsem za pomoci samolepícího těsnícího pásu vytvořil oboustranné zatěsnění, které bude svírat dvojice hrdel potrubí.

Abychom zajistili dokonalou těsnost filtrační vložky ve filtrační fázi, byl po vnitřním obvodu přilepen podkladní pruh z PVC plachtového materiálu o šířce cca 5 cm dle *Obr. 94 a 95*, takže nyní nedochází k žádným únikům vzduchu ani mimo filtrační oblast.



Obr. 94: Lepení podkladního PVC







Obr. 95: Detail uchycení podkladního PVC

B 2.2 Vývoj tvaru a umístění filtračních lamel

Další krok, který následoval před zahájením měření, spočíval ve stanovení velikosti a rozmístění filtračních lamel, aby filtrační materiál ve filtrační fázi pokrýval 100% účinné plochy. Ze zadání vedoucího práce vyplývá, že v experimentální práci je úkolem zjistit účinnosti regenerace celkem tří odlišných existujících filtračních materiálů, které jsou již normově zařazeny do filtračních tříd. K experimentu byl k dispozici dostatek tohoto materiálu v podobě odřezů z fabriky na výrobu filtračních vložek. Jedná se výlučně jen o syntetické materiály na bázi polypropylenu, ať už v jednovrstvém nebo ve vrstveném provedení.

Tab. 8: Specifikace filtračních materiálů

Experimentální označení	Náhled	Druh materiálu	Tloušťka	Filtrační třída	Počet vrstev
G2		Syntetické vláko (100 % polypropylen)	5 mm	G2	1
G3*		Synerické vláko (100 % polypropylen)	10 mm	G3	2
F7		Synerické vláko (100 % polypropylen)	3 mm	F7	4
F9		Nanovláknó, ozn. Nanowawe F9	5 mm	F9	3

Pozn:

G3*

Materiál stejný jako v případě G2, ovšem s tím rozdílem, že umístění na filtrační vložce je ve dvojité vrstvě

Pro každý materiál bylo vyrobeno 5 druhů šířek lamel (5; 7; 10; 13; 16 cm), které podléhaly následnému zhodnocení dle proměnné rychlosti vzduchu odečtené z příložného anemometru. Při pokusech nebyl použit turbulátor, protože v tu dobu ještě nebyl sestaven a konečný účinek regenerace je tedy nižší.

B 2.2.1 Vývoj lamel G2 a G3

Jedná se o materiál pro nízký stupeň filtrace, sloužící především pro předčištění vzduchu od hrubých nečistot. Používá se ve větších tloušťkách jako filtrační tkanina vzduchu obytných budov v podobě například kapsového filtru, nebo také v podobě vyměnitelné tkaniny demontovatelné filtrační konstrukce. Tloušťka 5 mm se používá především u vícestupňové filtrace. Na přiloženém videu (*audiozáznam č. 3 - Příloha B*) je vidět, že účinnost regenerace pro laminární proudění a rychlost 10 m/s je částečně účinná neboť dochází k viditelnému kmitání a pro nižší rychlosti již tento efekt uhasíná. Také je vidět, že v nejužší části nedochází k žádné viditelné regeneraci, takže spodní část nemůže být takto zúžená, ale musí mít minimální šířku alespoň 6 cm, přičemž je zároveň vyloučené uchycení lamel ze středového bodu, jako je tomu v teoretickém modelu na Obr. 7. Pro experiment byla tedy stanovena dle tohoto pokusu šířka všech horních částí lamel na 14 cm.



Obr. 96: Filtrační materiál – polypropylen 100%, tl. 5 mm



Obr. 97: Filtr G2 a G3 – zkouška šířky lamel (0 m/s)



Obr. 98: Filtr G2 a G3 – zkouška šířky lamel (10 m/s)



Obr. 99: Filtr G2 a G3 – zkouška šířky lamel ve fázi filtrace

B 2.2.2 Vývoj lamel F7

Vrstvený materiál často používaný do kapsových filtrů v provozech s většími nároky kvality přírodního vzduchu. Materiál je relativně tenký, ovšem s vyšší počáteční tlakovou ztrátou. Jeho tenké vrstvené provedení předznamenává dobré regenerační účinky. V určitých roztečích jsou vrstvy propojeny, takže bylo tohoto spoje využito. Opět dle přiloženého videa (*audiozáznam č. 4 - Příloha B*) je zřejmé, že pro laminární proud a rychlost 10 m/s bez turbulátorů, je stále velice účinná šířka lamely **č. 4 (13 mm)**, a proto byl tento typ určen jako výchozí pro další experimenty. Opět je dle audionahrávky zřetelné, že regenerace nejužší části je minimální. Proto i v tomto případě pro ostré testy volím minimální šířku nejužší části **5 – 6 cm** s přeložením 1 cm po celé straně. Během testu muselo dojít k úpravě lamel, protože se do souvrství během regenerace dostával vzduch a snižoval účinky regenerace viz. *Obr. 100*. Proto byly vrstvy z horní strany spojeny, čímž se tento efekt eliminoval.



Obr. 100: Rozvrstvení horní části lamely



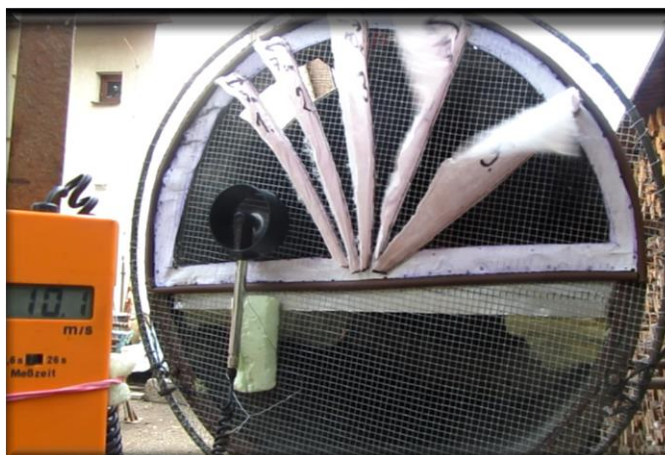
Obr. 101: Tvorba lamel F7



Obr. 102: Tvorba lamel F7



Obr. 103: Filtr F7 – zkouška šířky lamel (0 m/s)



Obr. 104: Filtr F7 – zkouška šířky lamel (10 m/s)

B 2.2.3 Vývoj lamel F9

Filtr s názvem F9 disponuje nejjemnější filtrační odlučivostí, které lze pro filtry určené všeobecnému větrání dosáhnout. Dle Tabulky 1 v ČSN EN 779 odpovídá třída střední účinnosti pro částice 0,4 μm hranici 95 %, přičemž je tento materiál primárně určen k záchytu částic o velikosti 0,1 – 1 μm . Používá se převážně pro filtraci vzduchu v potravinářství, farmaceutickém, nebo opto průmyslu a k výrobě elektronických součástek. Jedná se o třívrstvý nanomateriál se střední skládanou vrstvou. Bohužel jednotlivé vrstvy nejsou propojeny, takže již při vyřezávání tvaru docházelo k oddělování krajních vrstev. Během uchycování na síťovou podkladní rohož se materiál viditelně trhal, a vytvoření zkušebních lamel bylo velmi náročné.

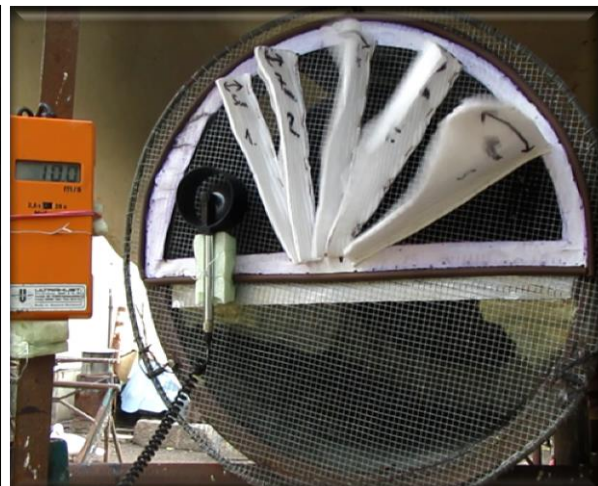


Obr. 105: Vývoj lamel F9

Po spuštění prvního regeneračního testu lamel, který je zachycen na *audiozáznamu č. 6 - Příloha B* docházelo k odtrhávání plášťovacích vrstev a při dalších zkouškách dokonce k rozpadu střední vrstvy. Materiál byl proto prohlášen jako nevhodný pro další testování a po dohodě s vedoucím práce nahrazen za již popisovaný filtr G3, který je složen ze dvou vrstev filtrační tkaniny spadající do filtrační skupiny G2, čímž dodržíme zadání a v rámci ostrých testů budou stále 3 druhy filtračních vložek.



Obr. 106: Filtr F9 – zkouška šířky lamel (0 m/s)



Obr. 107: Filtr F9 – zkouška šířky lamel (10 m/s)

Pokud by bylo souvrství materiálu technologicky propojeno, tak regenerace by byla účinná při 10 m/s pro šířku lamely 10 cm, což je pozitivnější výsledek v porovnání s filtrem G2 a G3. To vše opět testováno na laminárním proudění.



Obr. 108: Rozpad souvrství lamely a odtržení od podkladu



Obr. 109: Výrobní název filtrační tkaniny F9

B 3. Měření účinnosti regenerace filtračních vložek

B 3.1 Pomůcky k měření

- **Anemometr AHLBORN - ALMEMO 2590-2A se sondou** (*kalibrovaný příložený vrtulkový měřič rychlosti proudění vzduchu v potrubí pro rychlosti 0-20 m/s, s určením střední rychlosti proudění, případně objemového průtoku, přesnost 0,01 m/s.*)
- **Anemometr ULTRAKUST se sondou** (*nekalibrovaný starší příložený vrtulkový měřič rychlosti proudění vzduchu i pro větší rychlosti. Rozpětí měření 0 – 40 m/s, přesnost 0,1 m/s*)
- **Vlhkoměr a teploměr Cornet - LOGGER** (*měření parametrů zkušebního vzduchu*)
- **Digitální váha Sencor - SKS 4030 BK** (*měření hmotnosti filtrační vložky, přesnost 0,5 – 1 g*)

- **Digitální váha Past Horizons - Micro Digital Scale** (měření váhy filtračních lamel, přesnost 0,1 g)



Obr. 110: Digitální váha Micro Digital Scale

B 3.2 Postup normové zkoušky

Pokud bych měl nejprve porovnat postup zkoušky pro měření filtračních vložek všeobecného větrání dle ČSN EN 779 s naší zkouškou samoregeneračních filtrů, které jsme postup stanovili na základě možností zkušebního kanálu a zkušebních pomůcek, tak se bude značně lišit. Podmínky normové zkoušky jsou velmi specifické, a proto je zde nebudu všechny podrobně uvádět.

Před samotným normovým měřením účinností filtrační vložky se provádějí tyto dílčí zkoušky:

- a) těsnost a čistota kanálu (*nutné nulové úniky vzduchu*)
- b) počáteční tlakové ztráty v závislosti na jmenovitém objemovém průtoku vzduchu filtrem
- c) počáteční účinnost filtračního materiálu (*stanovuje účinky elektrostatických sil na filtrační účinek a provádí se na speciálním zkušebním kanále. Tedy jednoduše řečeno prokazuje vlastnosti filtru, po tzv. vybití filtračního materiálu za pomoci isopropanolu, do kterého je filtr namočen a následně vysušen.*)
- d) zkouška dávkovače prachu
- e) správná funkce počítače částic (*0% a 100 % účinnost filtrace za pomoci HEPA filtru*)

Žádné tyto body nebudou v našem zkušebním kanále provedeny, protože je k tomu zcela nevhodný. Samotná normová zkouška filtru pak zjednodušeně probíhá následovně. Do proudícího vzduchu je ejektorem aplikován prach, zpravidla v koncentraci cca $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nejprve je aplikována dávka prachu 30 g a zjišťujeme počáteční jímavost filtru, kterou zavedeme do grafu. Následná dávka prachu se řídí podle tlakové ztráty, která se zvyšuje spolu se zanesením filtru v postupu zkoušky. K měření slouží dvě umístěná tlaková čidla před a za filtrem. Během postupného dávkování provádíme odečet z počítače prachových částic, kterému je z kanálu odveden zkušební průtočný vzorek z místa před filtrem a za filtrem. Následuje 13 měření počítače částic, ze kterých se stanoví průměrná hodnota jímavosti aktuální tlakové ztráty. Tento cyklus se opakuje až do dosažení konečné tlakové ztráty, která je většinou 250 Pa pro hrubé filtry a 450 Pa pro střední a jemné filtry. Celkem je tedy provedena sestava měření pro vypovídající hodnoty tlakových ztrát 100 Pa, 150 Pa, 250 Pa, 450 Pa. Je zapotřebí znát velikost dávky prachu pro dosažení dané tlakové ztráty, protože je filtr po dosažení tlakových hranic demontován a zvážen jeho váhový přírůstek. Následně je sestavena tabulka odlučivosti a účinnosti a poslední fází je zařazení filtru do filtrační třídy.

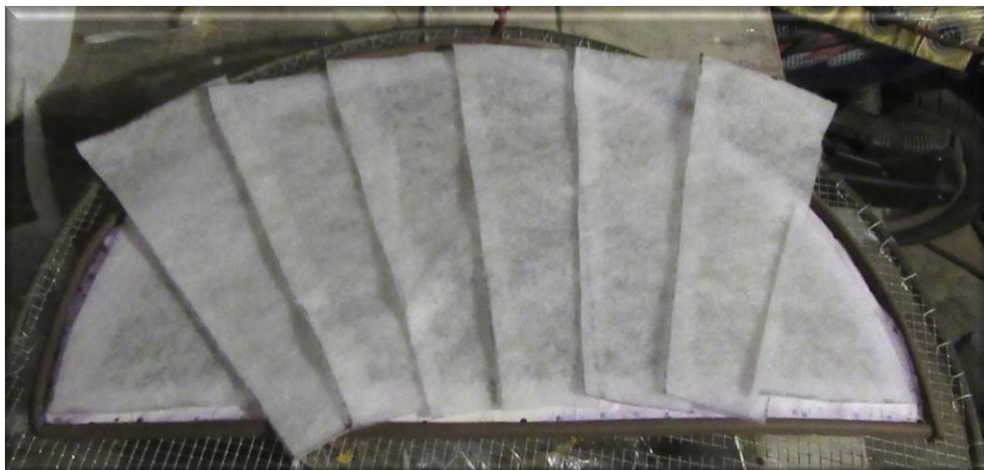
B 3.3 Postup naší zkoušky

Protože nebyl k dispozici počítač částic ani tlaková čidla, je princip zjišťování výsledků pouze na principu změny hmotnosti filtračních vložek. Stanovili jsme průřezovou rychlostní řadu, pro kterou bude proveden odečet parametrů regeneračních vlastností. Jedná se o jmenovité rychlosti 10 m/s, 8 m/s, 6 m/s a 4 m/s.

Nejprve zvážíme filtrační vložku a namontujeme ji do zkušebního kanálu, aby byla ve filtrační poloze. Regulační klapku nastavíme na požadovanou rychlost vzduchu (10 m/s) a spustíme ventilátor. Během 5 minut dávkujeme ručním podavačem částic navážený prach o hmotnosti 20 g do zkušebního kanálu. Následně vypneme ventilátor a zvážíme přírůstek hmotnosti filtru. Vložku obrátíme do regenerační polohy a zamontujeme zpět do kanálu. Spustíme ventilátor a při totožné rychlosti necháme filtr regenerovat od prachových částí během intervalu 5 minut. Odstavíme ventilátor a zvážíme úbytek hmotnosti filtrační vložky. Pro stejnou průřezovou rychlost tento postup opakujeme znovu. Všechny hmotnosti zapíšeme do tabulky. Po ukončení experimentu rychlostní řady nastavíme regulační klapku na 17 m/s a necháme v regenerační fázi filtr důkladně vytřepat v intervalu cca 1 minuty. Tímto jsme filtr připravili k experimentu na další sérii rychlostí a celý postup opakujeme pro následující nižší rychlost (tedy 8 m/s). Bylo technicky náročné měnit filtrační materiál pro každou filtrační řadu, proto jsem používal pro všechny rychlosti stejný materiál. Po dokončení měření jsem sestavil graf a zhodnotil účinky filtrace a regenerace. Originální záznamy z měření uvedeny v Příloze A

B 3.4 Test filtru G2

Na obrázku *Obr. 111* je patrné rozložení lamel před dokončením filtru. Celkem 8 kusů lamel bylo uchyceno s přesahem 1 cm přes sebe. Tento přesah je zachován i s podkladním PVC. Uchycení lamel k podkladu je provedeno za pomoci nejrychlejšího způsobu, a to pomocí měděných tvarovatelných sponek. Šířka lamel je 14 cm / 6cm.



Obr. 111: Výroba filtrační vložky G2



Obr. 112: Dokončení výroby vložky G2

Pro zkoušku jsem použil typ prachových částí B, tedy přírodní rostlinné částice. Během experimentu bylo zřetelné nerovnoměrné rozložení prachových částic po tkanině v době filtrace, což způsoboval nejspíše umístěný turbulátor. Po odstavení ventilátoru se všechny částice neudržely na filtru, takže byly opatrně smeteny a jejich váha připočítána. Při prvních pokusech regenerace bylo viditelné, že na povrchu zůstávají zamotána vlákna filtračního materiálu, takže jejich odloučení bylo z velké části již znemožněno. Dále se ukázalo, že krajní pravá lamela z pohledu proti proudu je zcela neregenerovaná, protože to její poloha neumožňuje. Z tohoto důvodu by bylo třeba krajní lamelu umístit jiným způsobem, či jí nahradit lamelou z nefiltračního materiálu. Další poznatek je takový, že účinek kmitání středních lamel je mnohem vyšší a snižuje se směrem k lamelám krajním.



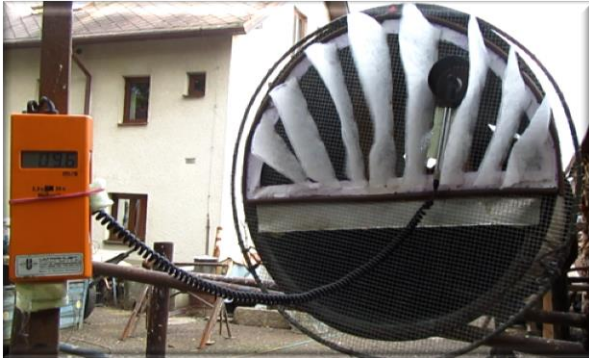
Obr. 113: Filtrační fáze filtru G2



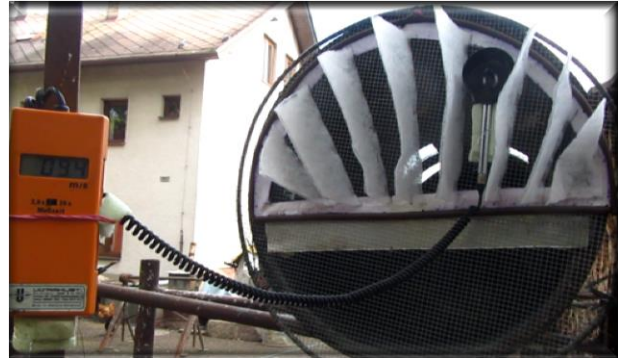
Obr. 114: Regenerační fáze filtru G2

Na Obr. 114 a také na přiloženém *audiozáznamu č. 7 a 10 - Příloha B* si můžeme všimnout opírání horní části lamely o potrubí. Tento efekt bohužel snižuje účinnost regenerace, protože je zamezeno kmitání opřených lamel. Komplikace ovšem není způsobena chybou výroby, ale těsným umístěním u potrubí. Levá strana se regeneruje bez problémů a lamely si ve směru proudění drží od potrubí stále větší rozestup. Ve fázi filtrace je vše v pořádku a lamely si udržují od potrubí odstup. Řešením by byl větší odstup lamel od potrubí, respektive snížení průřezové účinné plochy filtru, nebo menší šířka horní části lamel. Na Obr. 114 je také vidět menší pootočení filtrační vložky proti směru hodinových ručiček vůči dělicí přepážce. Tímto jsem účinek opírání lamel nepatrně zmenšil.

Jako důkaz funkčnosti umístěného turbulátoru jsem vytvořil audiozáznam z regenerace filtrační vložky G2 v porovnání s případem, kdy je turbulátor odstraněn. Pro tento pokus je demontován krajní metrový kus potrubí, takže nedochází k již zmiňovanému opírání lamel. Pro pokus byla stanovena sestupná rychlostní řada od 16 do 1 m/s s regulací za pomoci manuální regulační klapky.



Obr. 115: Regenerace s použitím turbulátoru (rychlost 9,6 m/s)



Obr. 116: Regenerace bez použití turbulátoru (rychlost 9,4 m/s)

Účinek je velmi znatelný a to při všech rychlostech stanovené rychlostní řady. Na přiložených *audiozáznamech* č. 8 a 9 – *Příloha B*, které je dobré spustit souběžně, si můžeme všimnout, že při použití turbulátoru se projevuje účinné kmitání i při rychlostech 4 - 5 m/s, zato s jeho absencí se účinek neprojeví vůbec, nebo v minimální míře a to i pro rychlost 16 m/s. Z této zkoušky jasně vyplývá, že použití turbulátoru je pro ostré testy nezbytné a pro další analýzy je nutné zajistit pro fázi regenerace turbulentní proudění.

Výsledky testu

Výchozí data pro stanovení účinnosti regenerace filtru G2 byla během experimentu zapisována do následující tabulky *Tab. 9*:

Tab. 9: Tabulka zaznamenaných hodnot během zkoušky filtru G2

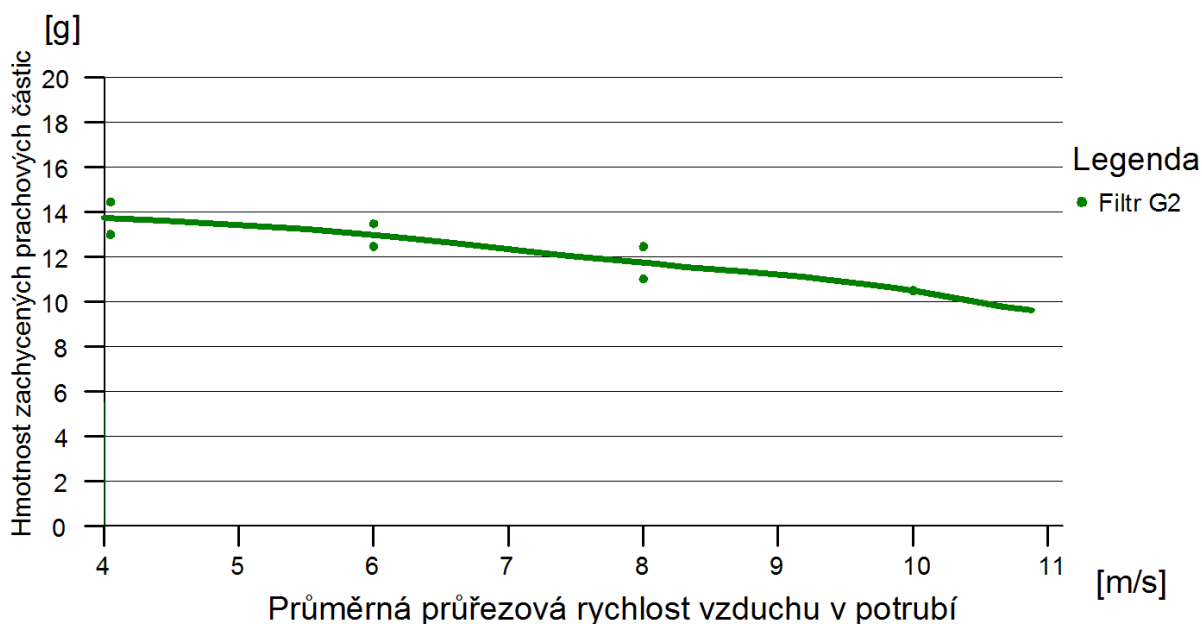
Měření účinnosti regenerace filtrační vložky na vytvořené VZT trati



Druh zkoušené vložky	Lamelová filtrační vložka
Účinná průřezová plocha filtru	9,32 dm ²
Materiál	Syntetické vlákno - polyester; jednovrstvý , tl. Cca 5 mm
Filtrační třída	G2

Poznámky k měření: pro filtraci i regeneraci použit časový interval cca 5 min, na filtru zachycena pouze polovina dávky prachu, krajní lamely nejsou regenerovány, opírání lamel

Název zkoušky	Okrajové podmínky			Parametry zkoušky			Výsledné hmotnosti filtrační vložky odečtené z váhy			Hmotnost zachyceného prachu filtrem	Hmotnost odloučeného prachu	Účinnost regenerace
	Datum (2017)	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rychlost proudícího vzduchu [m/s]	Zkoušený druh prachových částic [-]	Hmotnost dávky prachu [g]	Před zanesení prachem [g]	Po zanesení prachem [g]	Po regeneraci [g]			
1) 10 m/s , První pokus	10.10	13	53	10	B	20	993,5	1004,0	994,5	10,5	9,5	90,5%
2) 10 m/s , Druhý pokus	10.10	14	53	10	B	20	994,5	1005,0	996,0	10,5	9,0	85,7%
3) 8 m/s , První pokus	10.10	14	57	8	B	20	994,5	1007,0	996,5	12,5	10,5	84,0%
4) 8 m/s , Druhý pokus	10.10	14	55	8	B	20	996,5	1007,5	1000,0	11,0	7,5	68,2%
5) 6 m/s , První pokus	11.10	17	52	6	B	20	995,0	1007,5	1000,5	12,5	7,0	56,0%
6) 6 m/s , Druhý pokus	11.10	17	53	6	B	20	1000,5	1014,0	1007,5	13,5	6,5	48,1%
7) 4 m/s , První pokus	11.10	17	53	4	B	20	995,0	1008,0	1005,0	13,0	3,0	23,1%
8) 4 m/s , Druhý pokus	11.10	17	51	4	B	20	1005,0	1019,5	1015,5	14,5	4,0	27,6%



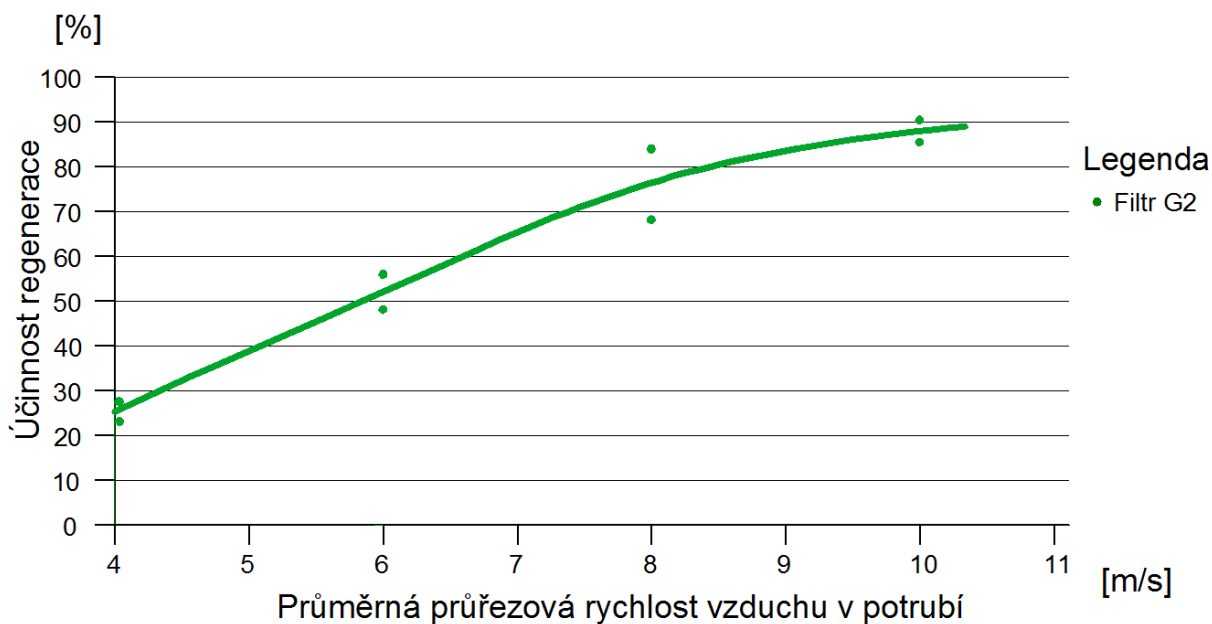
Graf 1: Poměr zachycených částí v závislosti na průřezové rychlosti vzduchu

Není překvapením, že se nikdy po filtraci na povrchu neuchytilo 100% dávky prachu. Průměr velikosti některých částic je menší, než které dokáže filtrační materiál zachytit. V prachové směsi ovšem nejsou bezdůvodně, ale tyto částice slouží k vybití elektrostatického potenciálu. Zbytek částic projde filtrem bez zachytu. Průměrně pro všechny rychlosti se na povrchu zachytilo 60 % prachových částic.

Dle *Grafu 1* je ovšem patrné, že s měnící se rychlostí se téměř lineálně mění poměr mezi zachyceným a odloučeným prachem. Tento efekt znázorňuje, že dochází k zachycení i menších částic, ovšem pokud filtrem proudí vyšší rychlost vzduchu, tak jsou překonány přilnavé síly a hmotnost zachycených částic ubývá. V reálných podmínkách to znamená, že s každým zvýšením rychlosti o 1 m/s, klesne celková hmotnost zachyceného prachu na filtru o 0,65 g.



Obr. 117: Vážení filtrační vložky



Graf 2: Účinnost regenerace filtru G2 v závislosti na průřezové rychlosti

Během testu docházelo k zanášení lamel částicemi, které již nebylo možné zregenerovat a to ani při rychlosti 16 m/s. Z tohoto pohledu je filtr G2 pro prachové částice typu B nevhodný. Počáteční účinnost dle *Grafu 2* je tedy necelých 90 %, což je velice nízká hodnota účinku regenerace. Pokud uvažujeme životnost filtrační vložky několik let, je nutné, aby na povrchu neupívaly žádné částice a účinnost se držela na hodnotě minimálně 95 % i pro nižší rychlosti. Výsledná křivka má exponenciální tvar, tedy účinnost regenerace s menší průřezovou rychlostí značně klesá. Pro rychlost vzduchu 5,8 m/s vychází účinnost již pouhých 50 % a pro krajní zkušební rychlost 4 m/s se účinnost sníží dokonce na pouhých 25 %.



Obr. 118: Zanesení filtrační vložky G2 po regeneraci při rychlosti 4 m/s



Obr. 119: Zanesení filtrační vložky G2 po regeneraci při rychlosti 6 m/s

Aby špatný efekt regenerace byl prokazatelný, provedl jsem *audiozáznam* č. 10 – Příloha B, kde je zřetelný velký rozdíl účinnosti regenerace napříč různými rychlostmi:

- a) 10 m/s
- b) 8 m/s
- c) 5 m/s
- d) 2 m/s (tato rychlost není součástí experimentu, její doložení je pouze informativní)

Aby nedošlo k poškození umístěného anemometru, byl do potrubí umístěn až po zregenerování většiny částic. Při častém otevírání revizního okna došlo během pokusů k vylámaní úchytných bodů z plexiskla, ovšem tento důsledek nezpůsobil žádné úniky vzduchu, neboť těsnění bylo aktivní i bez uchycení.

Závěrem tedy nutno říci, že tento typ filtrační vložky není vhodný pro použití v systému rotačního regeneračního filtrování. Nemohu ho tedy doporučit do žádného provozu, kde by byl použit systém filtrační regenerace, a proto zůstává využitelný v systému běžné všeobecné filtrace.

B 3.5 Test filtru G3

Pro zkoušku filtru s názvem G3 byl použit stejný materiál jako pro filtr G2 (100 % syntetický polypropylen), ovšem s jiným uspořádáním lamel. Ty mají opět stejný rozměr 14 cm / 6 cm, ovšem jejich přeložení již není 1 cm, ovšem jsou seskládány tak, že vždy překrývají polovinu sousední lamely dle *Obr. 121*. Tímto způsobem rozložení jsme vytvořili dvojitou vrstvu filtračního materiálu a zároveň jsme oblast největší koncentrace prachových částic přesunuly na kraje filtračních lamel. Uchycení je provedeno za pomoci měděných sponek na síťový podklad.



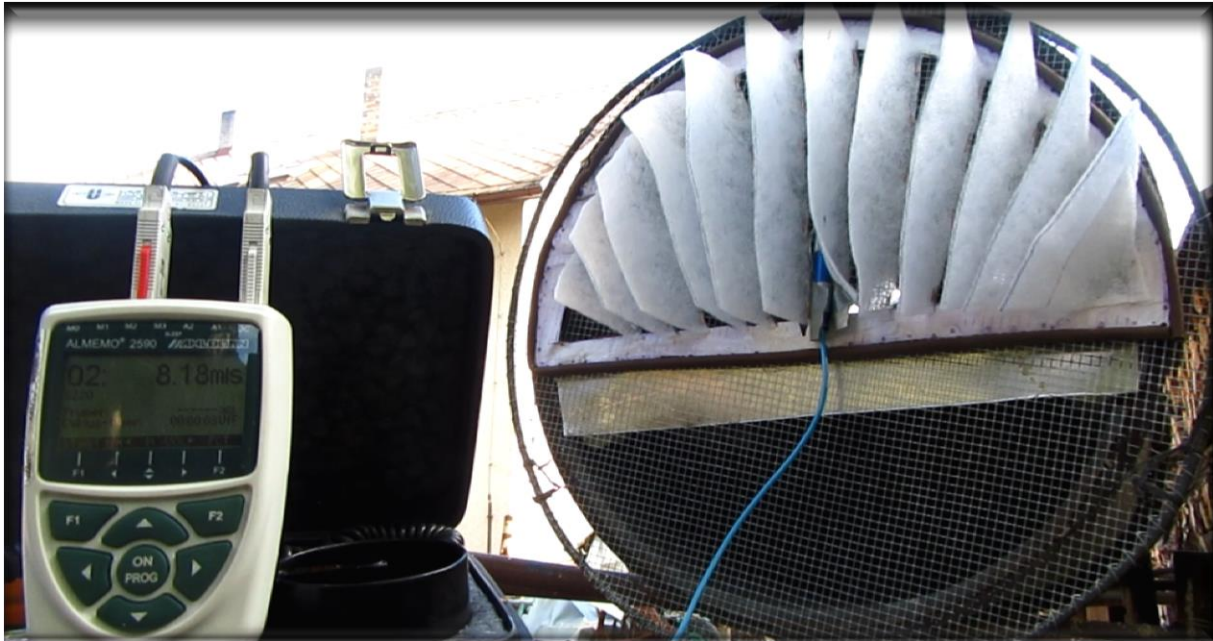
Obr. 120: Rozmístění filtračních lamel



Obr. 121: Vytvoření dvojitě filtrační vrstvy

Protože zkouška bude obdobná jako v případě filtru G3, tedy se stejným prach, zkoušené rychlosti a tvary lamel, uvedu po dohodě s vedoucím práce pouze zkrácený postup zkoušky.

I pro tento typ filtračních lamel jsem provedl test použití turbulátoru a bez velkého překvapení se opět potvrdily jeho výhody ve smyslu změny druhu proudění před filtrační vložkou, kdy se viditelný účinek kmitání objevoval již při rychlosti 5 m/s. Bez jeho použití lamely kmitají až při rychlosti vzduchu 8 m/s. Byl opět proveden audiozáznam č. 11 – Příloha B z testu regenerace bez turbulátorů.



Obr. 122: Test turbulátoru na filtrační vložce G3

Výsledky testu

Výchozí data pro stanovení účinnosti regenerace filtru G3 byla během experimentu zapisována do následující tabulky *Tab. 10*:

Tab. 10: Tabulka zaznamenaných hodnot během zkoušky filtru G3

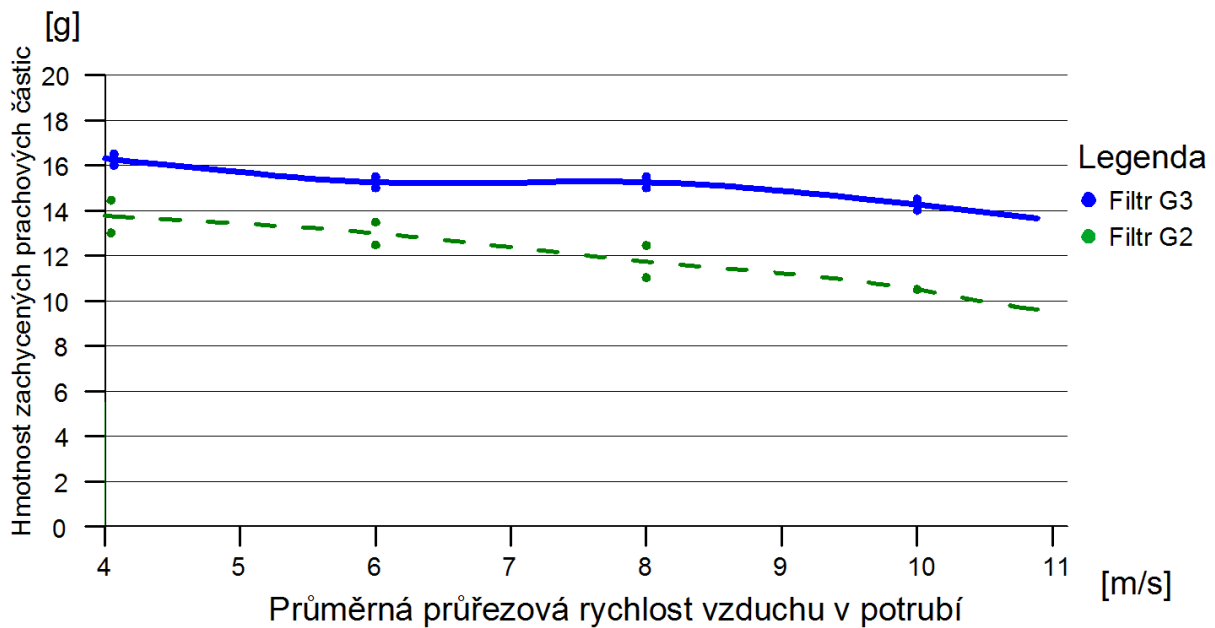
Měření účinnosti regenerace filtrační vložky na vytvořené VZT trati



Druh zkoušené vložky	Lamelová filtrační vložka
Účinná průřezová plocha filtru	9,32 dm ²
Materiál	Syntetické vlákno - 100% polyester; jednovrstvý s dvojitým přeložněním na filtrační vložce , celková tl. Cca 10 mm
Filtrační třída	G3

Poznámky k měření: pro filtraci i regeneraci použit časový interval cca 5 min, krajní lamely nejsou opět regenerovány,

Název zkoušky	Okrajové podmínky		Parametry zkoušky				Výsledné hmotnosti filtrační vložky odečtené z váhy			Hmotnost zachyceného prachu filtrem	Hmotnost odloučeného prachu	Účinnost regenerace
	Datum	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rychlost proudícího vzduchu [m/s]	Zkoušený druh prachových částic [-]	Hmotnost dávky prachu [g]	Před zanesením prachem [g]	Před regenerací [g]	Po regeneraci [g]			
1) 10 m/s, První pokus	12.10	13	59	10	B	20	1003,0	1017,5	1004,0	14,5	13,5	93,1%
2) 10 m/s, Druhý pokus	12.10	13	59	10	B	20	1004,0	1018,0	1005,0	14,0	13,0	92,9%
3) 8 m/s, První pokus	12.10	13	58	8	B	20	1003,5	1019,0	1005,5	15,5	13,5	87,1%
4) 8 m/s, Druhý pokus	13.10	14	56	8	B	20	1005,5	1020,5	1008,0	15,0	12,5	83,3%
5) 6 m/s, První pokus	13.10	15	53	6	B	20	1004,0	1019,0	1010,5	15,0	8,5	56,7%
6) 6 m/s, Druhý pokus	13.10	15	53	6	B	20	1010,5	1026,0	1017,0	15,5	9,0	58,1%
7) 4 m/s, První pokus	13.10	15	52	4	B	20	1004,0	1020,0	1016,0	16,0	4,0	25,0%
8) 4 m/s, Druhý pokus	13.10	16	53	4	B	20	1016,0	1032,5	1028,5	16,5	4,0	24,2%

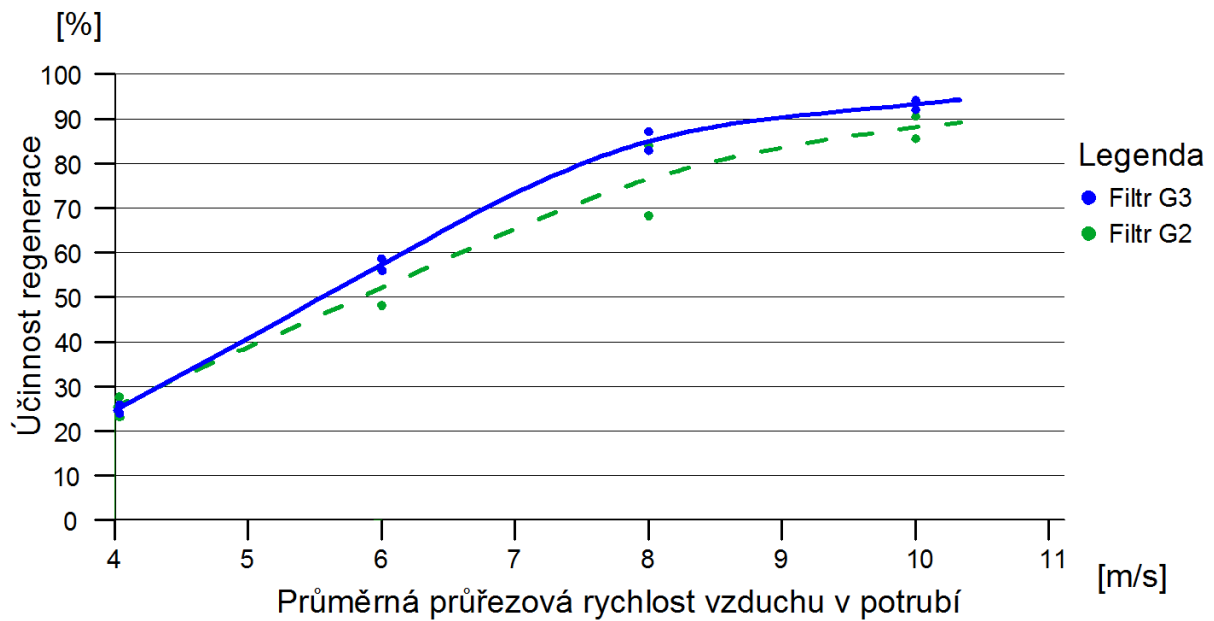


Graf 3: Poměr zachycených částí v závislosti na průřezové rychlosti vzduchu

Dle výsledků zobrazených na Grafu 3 se průměrně na filtrační vložce uchytilo 15 g prachu, tedy 75 % celé dávky. Křivka má opět klesající trend a pro vyšší rychlosti se hmotnost prachových částic na filtru snižuje. V porovnání s filtrem G2, kterým je filtr o poloviční síle filtračního materiálu je zřejmé, že záchyt částic byl při všech rychlostech vzduchu vyšší a to přibližně o 1,5 g.



Obr. 123: Ukázka zanesení filtru po dokončení filtrační fáze



Graf 4: Účinnost regenerace filtru G2 v závislosti na průřezové rychlosti

Výsledná účinnost regenerace filtrační vložky G3 je podle *Grafu 4* o něco větší pro téměř všechny rychlosti v porovnání s filtrem G2, ovšem očekával jsem daleko lepší výsledek. Největší navýšení účinnosti zaznamenal filtr při rychlosti kolem 8 m/s a to o přibližně o 10 %. Zajímavá je oblast rychlosti 4 m/s, kde se výsledky totožní. Celkově se obě křivky tvarově shodují, a účinnost s nižšími rychlostmi prudce klesá a to přibližně o 17 % při snížení rychlosti o 1 m/s.



Obr. 124: Uchycení filtračního prachu na krajní části lamely



Obr. 125: Zanesení filtrační vložky G2 po regeneraci při rychlosti 10 m/s



Obr. 126: Zanesení filtrační vložky G2 po regeneraci při rychlosti 8 m/s

Na obrázku *Obr. 125 a 126* je viditelná špatná regenerace krajních lamel, převážně tedy na pravé straně. Tento problém je viditelný i u filtru G2 a je způsobený nedostatečným kmitáním těchto lamel a také nižší rychlostí vzduchu, kterou nebylo možné přesně změřit, protože vzdušný proud procházející filtrem byl v turbulentním režimu.

Závěrem můžeme tedy říci, že pokud uspořádáme lamely o stejném materiálu do dvojité vrstvy takovým způsobem, že povrchově aktivní bude pouze její jedna polovina, tak v tomto případě to nevede k pozitivním výsledkům. Aby byl materiál vhodným zástupcem, bylo by potřeba dosáhnout alespoň 95 % účinnosti regenerace, což by se možná povedlo splnit přibližně pro rychlost 14 – 15 m/s. Ovšem tato rychlost je z hlediska proudění vzduchu v potrubí při všeobecném větrání vysoká z hlediska akustiky, vysoké tlakové ztráty a podobně. Situace by se změnila, pokud bychom intervalově dokázali zvýšit rychlost na filtrační vložce, aniž by to vyvolalo velké reakce ve VZT systému. Je tím myšlen například přídatný ventilátor s externím nasáváním, nebo krátkodobě vytvořený bypass, díky kterému bychom mohli prohánět vzduch filtrem z obou ventilátorů zároveň. Prozatím je tedy i tento typ filtrační vložky vyřazen z možných kandidátů na vhodného materiálového zástupce.

B 3.6 Test filtru F7

Filtrační vložka se skládá tentokrát ze 7 lamel o velikosti 15 cm / 6 cm. Oproti původnímu návrhu byl použit širší rozměr, abychom docílili co nejučinnější regenerace. Přesah lamel přes sebe i s podkladním PVC je 1 cm. Uchycení provedeno měděnými sponkami a také došlo k sešití souvrství lamely v horní části, dle kapitoly B 2.2.2 *Vývoj lamel F7*.

Pro zkoušku jsem použil tentokrát typ prachových částí A, tedy části typické pro prostředí cementárny. Rozložení prachových částí po filtraci bylo v tomto případě rovnoměrné i přes použití turbulátoru. Prachové částice se po odstavení ventilátoru neudržely na filtrační vložce, proto byla opět jejich váha připočítána. Ve fázi regenerace nastával stejný problém jako u předchozích zkušebních filtrů, a to že pravá krajní část zůstávala bez regenerace, což by vyřešila lamela z tenkého PVC. Velkou výhodou, která se během experimentů ukázala, bylo nepatrné kmitání dílčích mezivrstev jednotlivých lamel. Tento efekt výrazně navýšil účinnost regenerace.



Obr. 127: Filtrační vložka F7

Opět byl pro názornou ukázkou proveden audiozáznam s umístěním filtrační vložky bez použití turbulátorů pro test celé rychlostní řady. Záznam je k dispozici pod názvem *audiozáznam č. 12 – Příloha B*. Můžeme si všimnout, že účinek kmitání z velké části vymizí již při rychlosti cca 6,5 m/s, takže účinek turbulátoru je zde opět nezbytný, protože s jeho pomocí lamely kmitají i při rychlosti 4 m/s.



Obr. 128: Filtrační vložka F7 bez použití turbulátoru při rychlosti 9 m/s



Obr. 129: Filtrační vložka F7 bez použití turbulátoru při rychlosti 6 m/s

Výsledky testu

Výchozí data pro stanovení účinnosti regenerace filtru F7 byla během experimentu zapisována do následující tabulky *Tab. 11*:

Tab. 11: Tabulka zaznamenaných hodnot během zkoušky filtru F7

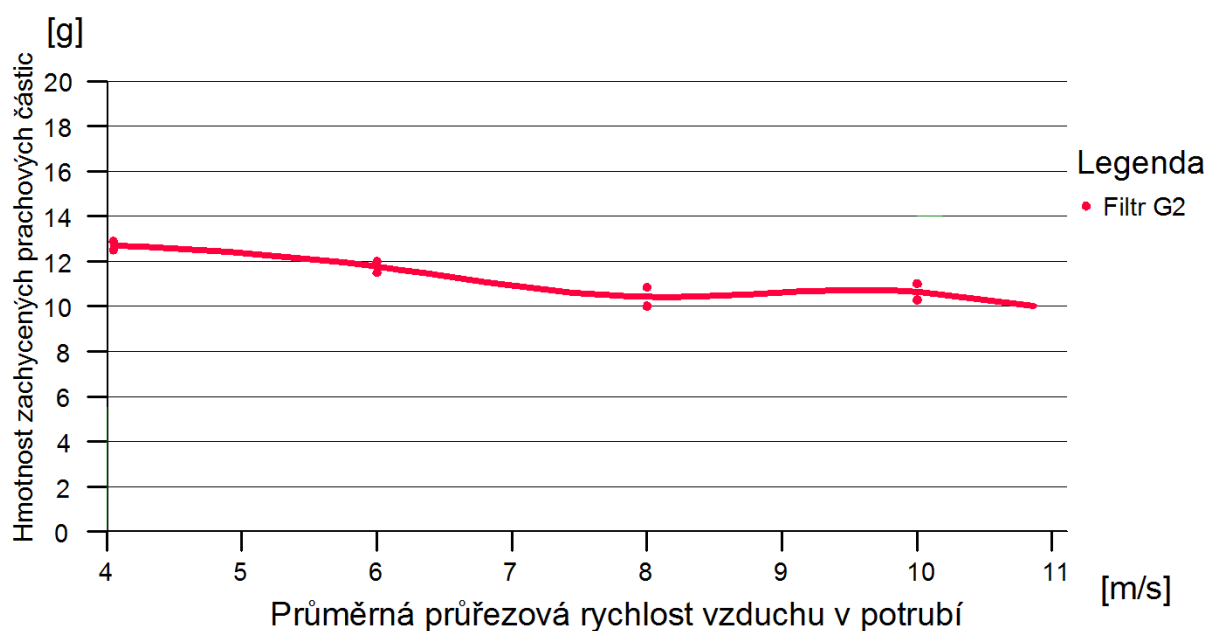
Měření účinnosti regenerace filtrační vložky na vytvořené VZT trati



Druh zkoušené vložky	Lamelová filtrační vložka
Účinná průřezová plocha filtru	9,25 dm ²
Materiál	Syntetické vlákno ze 100% polypropylenu; vícevrstvé, barva růžová
Filtrační třída	F7

Poznámky k měření: pro filtraci i regeneraci použit časový interval cca 5 min, krajní lamely s nižší regenerací, převážně pravá strana z pohledu, u čtvrtého pokusu je viditelné lehké porušení střední lamely (její spodní vrstva se začíná krabatět), prošíti horní hrany

Název zkoušky	Okrajové podmínky		Parametry zkoušky			Výsledné hmotnosti filtrační vložky odečtené z váhy			Hmotnost zachyceného prachu filtrem	Hmotnost odloučeného prachu	Účinnost regenerace	
	Datum	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost vzduchu	Rychlost proudícího vzduchu	Zkoušený druh prachových částic	Hmotnost dávky prachu	Před zanesením prachem	Před regenerací				Po regeneraci
		[°C]	[%]	[m/s]	[-]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	
1) 10 m/s , První pokus	14.10	19	50	10	A	20	836,0	847,0	836,5	11,0	10,5	95,5%
2) 10 m/s , Druhý pokus	14.10	19	51	10	A	20	836,5	847,0	836,5	10,5	10,5	100,0%
3) 8 m/s , První pokus	14.10	20	47	8	A	20	836,5	847,5	837,0	11,0	10,5	95,5%
4) 8 m/s , Druhý pokus	14.10	20	48	8	A	20	837,0	847,0	837,5	10,0	9,5	95,0%
5) 6 m/s , První pokus	17.10	18	53	6	A	20	837,0	849,0	838,0	12,0	11,0	91,7%
6) 6 m/s , Druhý pokus	17.10	18	52	6	A	20	838,0	851,0	838,5	13,0	12,5	96,2%
7) 4 m/s , První pokus	17.10	19	50	4	A	20	837,0	850,0	839,0	13,0	11,0	84,6%
8) 4 m/s , Druhý pokus	17.10	18	51	4	A	20	839,0	854,5	841,0	15,5	13,5	87,1%

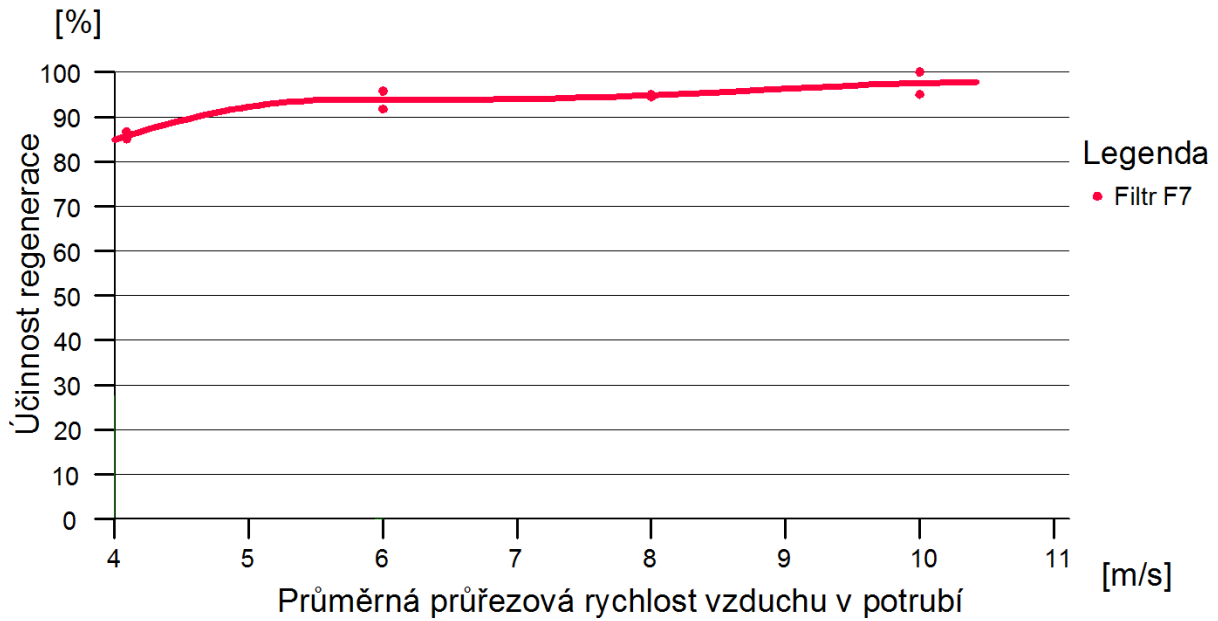


Graf 5: Poměr zachycených částí v závislosti na průřezové rychlosti vzduchu

Výsledek měření hmotnosti uchyceného prachu na filtrační vložce ze zkušební dávky 20 g v závislosti na průtočné rychlosti je vyobrazen na *Grafu 5*. Zde si můžeme všimnout, že výsledná křivka již není lineární, ale má obecný tvar. Průměrně se na filtrační vložce uchytilo po filtraci 11 g prachu, což je přibližně 55 % původní dávky prachu, která byla aplikována. Tento výsledek je nejnižší oproti ostatním zkušným druhům. Je to dáno především velkou tlakovou ztrátou filtrační vložky a také velkými úniky vzduchu potrubím spolu s prachem, které se při vzrůstajícím tlaku v potrubí zvyšují, což je patrné klesajícím trendem na *Grafu 5*.



Obr. 130: Vážení čistého filtru F7



Graf 6: Účinnost regenerace filtru F7 v závislosti na průřezové rychlosti

Na *Grafu 6* můžeme vidět, že se vysoká účinnost regenerace potvrdila a to dokonce i pro nižší rychlosti, než byly původní mé odhady. V rychlostním výseku 5,5 – 10 m/s je průměrná účinnost 95 % s nízkým rozptylem výsledků. Klesající trend byl zaznamenán až při rychlostech 4 – 5,5 m/s, kdy regenerace již není tak aktivní. Při zkoušce byla dokonce naměřena v jednom z pokusů pro rychlost 10 m/s hodnota 100 % účinnosti regenerace, což je logicky nesmyslná hodnota, ovšem to bylo způsobeno malou citlivostí použitého váhy. Střední hodnota je tedy samozřejmě nižší, protože došlo ke zprůměrování s druhým pokusem na stejné rychlosti.

Byl proveden *audiozáznam č. 13 – Příloha B* ze zkoušky tohoto filtru pro vybrané rychlosti:

- 8 m/s
- 5,5 m/s
- 4 m/s
- 2 m/s (tato rychlost není součástí experimentu, její doložení je pouze informativní)

Aby opět nedošlo k poškození umístěného anemometru, byl do potrubí umístěn až po zregenerování většiny částic.



Obr. 131: Filtrační vložka po filtrační fázi



Obr. 132: Filtrační vložka F7 po regenerační fázi při rychlosti 10 m/s



Obr. 133: Filtrační vložka po regenerační fázi při rychlosti 6 m/s



Obr. 134: Regenerace filtru F7 při rychlosti 6 m/s



Obr. 135: Pravá lamela F7 opět bez regeneračních účinků

Na *Obr. 131* si můžeme všimnout rovnoměrného zanesení filtru prachem, což je příznivý účinek po filtrační fázi. *Obr. 132* znázorňuje stav lamel po regenerační rychlosti 6 m/s, kde si můžeme všimnout, že i přesto že účinnost je přijatelných 95 % dle *Grafu 6*, tak filtr je vizuálně stále nepatrně znečištěn a to především v jeho rozích. *Obr. 134* znázorňuje účinné kmitání lamel při rychlosti 6 m/s, přičemž v tomto případě není patrné ani opírání levých lamel o stěnu potrubí. Poslední obrázek v této *sekcí* *Obr. 135* ukazuje špatnou regeneraci krajní pravé lamely. V tomto případě by opět pomohla výměna materiálu z filtračního za nefiltrační ohebný PVC materiál.

Protože výsledky zkoušky byly více než pozitivní, rozhodl jsem se provést pro tento typ filtrační vložky doplňující test, který podkrývá účinnost regenerace vybrané referenční rychlosti 8 m/s a to v deseti po sobě jdoucích pokusech bez mezifázového vyčištění filtračních lamel. Tento test by nám tedy měl prozradit, zda naměřená účinnost je stále příznivá i pro více cyklických opakování a nedochází k jejímu snižování. Pro tento účel byly vyměněny filtrační lamely za nové, stejného druhu a tvaru, ovšem s jemnějším rozstupem úchyťových sponek, proto je filtrační vložka v původním stavu těžší přibližně o 1 g. Aby se celý experiment urychlil, tak nebyl použit koncový metrový kus potrubí sloužící převážně k měření průřezové rychlosti vzduchu. Výsledky z měření jsou zaznamenány v *Tab. 12*, originální záznam je k dispozici v *Příloze A*.

Tab. 12: Tabulka zaznamenaných hodnot během doplňkové zkoušky filtru F7

Měření účinnosti regenerace filtrační vložky na vytvořené VZT trati pro vybraný materiál

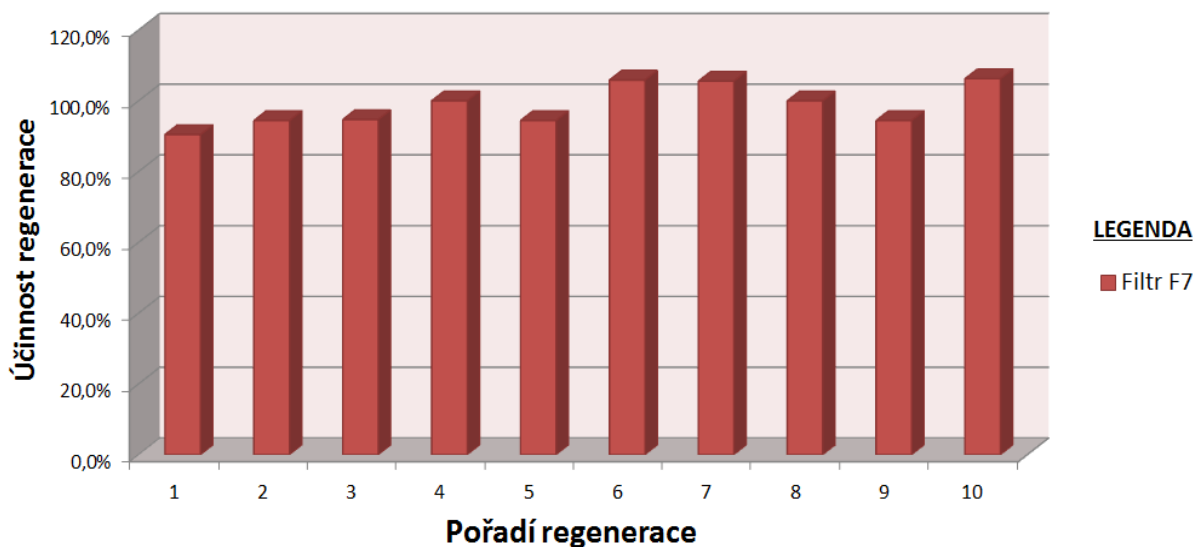


Druh zkoušené vložky	Lamelová filtrační vložka
Účinná průřezová plocha filtru	
Materiál	Syntetické vlákno ze 100% polypropylenu; vícevrstvé, barva růžová
Filtrační třída	F7

Poznámky k měření:
Pro pokus vybrán materiál F7 se 7 ks filtračních lamel. Východí rychlost po celou dobu experimentu 8 m/s, doba regenerace 5 min, doba filtrace 5 min, umístění filtrační vložky bez návaznosti na pokračující metrový kus

Název zkoušky	Okrajové podmínky			Parametry zkoušky			Výsledné hmotnosti filtrační vložky odečtené z váhy				Hmotnost zachyceného prachu filtrem	Hmotnost odloučeného prachu	Účinnost regenerace
	Datum	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rychlost proudícího vzduchu [m/s]	Zkoušený druh prachových částic	Hmotnost dávky prachu [g]	Před zanesením prachem [g]	Před regenerací [g]	Po regeneraci [g]	[%]			
Regenerace 1	20.10	19	51	8	A	20	837,0	847,5	838,0	10,5	9,5	90,5%	
Regenerace 2	20.10	20	47	8	A	20	838,0	847,0	838,5	9,0	8,5	94,4%	
Regenerace 3	20.10	20	48	8	A	20	838,5	848,0	839,0	9,5	9,0	94,7%	
Regenerace 4	20.10	21	48	8	A	20	839,0	847,0	839,0	8,0	8,0	100,0%	
Regenerace 5	20.10	21	47	8	A	20	839,0	848,0	839,5	9,0	8,5	94,4%	
Regenerace 6	20.10	21	48	8	A	20	839,5	848,0	839,0	8,5	9,0	105,9%	
Regenerace 7	20.10	20	50	8	A	20	839,0	848,0	838,5	9,0	9,5	105,6%	
Regenerace 8	20.10	20	49	8	A	20	838,5	846,5	838,5	8,0	8,0	100,0%	
Regenerace 9	20.10	19	52	8	A	20	838,5	847,5	839,0	9,0	8,5	94,4%	
Regenerace 10	20.10	19	52	8	A	20	839,0	847,0	838,5	8,0	8,5	106,3%	

Graf experimentální účinnosti regenerace rotačního regeneračního filtru materiálu F7 při rychlosti vzduchu 8 m/s



Graf 7: Účinnost regenerace v deseti po sobě jdoucích pokusech

Celkem bylo tedy provedeno 10 regeneračních zkoušek, jejichž účinnost je znázorněna na *Grafu 7*, který vychází ze záznamu měření v *Tab. 12*. Hodnota účinnosti regenerace je vypočítána pro každý jednotlivý pokus v pořadí na základě hmotnosti prachových částic usazených při předchozí zkoušce. Je tedy porovnávána celková váha současného a předchozího pokusu. V případě první zkoušky je porovnání provedeno s čistým filtrem bez zanesení částicemi. Při každé zkoušce se na filtru uchytilo jiné množství prachových částic, a proto bylo vyhodnocení provedeno tímto způsobem. Z tohoto důvodu se v grafu nachází i hodnoty s účinností nad 100 %.

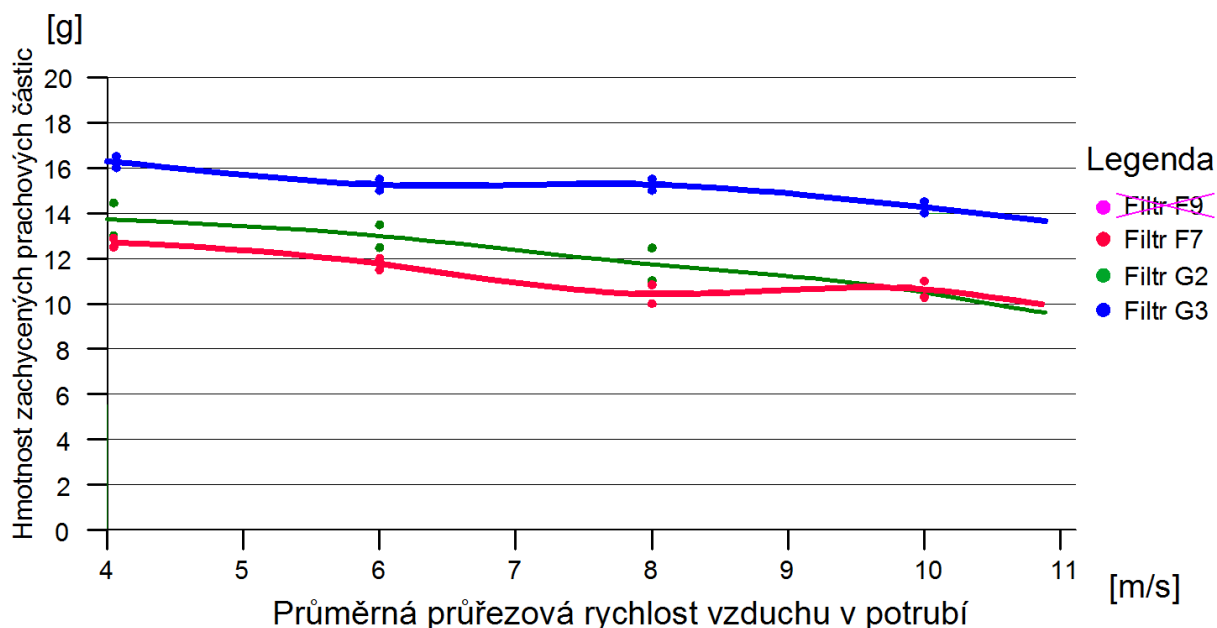
Pro referenční rychlost 8 m/s bylo tedy zjištěno, že účinnost zůstává stále na relativně stejné úrovni. Nutno říci, že pokud by tento typ filtru byl použit k všeobecnému větrání, tak počet opakujících se regeneračních fází by byl značně vyšší a tím by se i mohla následně postupně snižovat účinnost regenerace.

Závěr experimentu filtru F7 je tedy takový, že z hlediska regenerace se jedná o nejlepšího nalezeného zástupce filtračního materiálu. K pozitivním výsledkům dopomohla zvýšená šířka lamel a hlavně regenerace jednotlivých mezivrstev lamely. Protože při opakovaných pokusech regenerace postupně docházelo k nepatrnému rozpadu spodní vrstvy, nemohu tento materiál jednoznačně stanovit jako vhodného zástupce pro regenerační filtraci. Pro tento případ by bylo zapotřebí upravit složení souvrství filtrační tkaniny tak, aby se krycí vrstvy vytvořily z odolnějšího pevnějšího materiálu, čímž bychom eliminovali rozpad lamely při regeneračním kmitání.

B 3.7 Celkové shrnutí

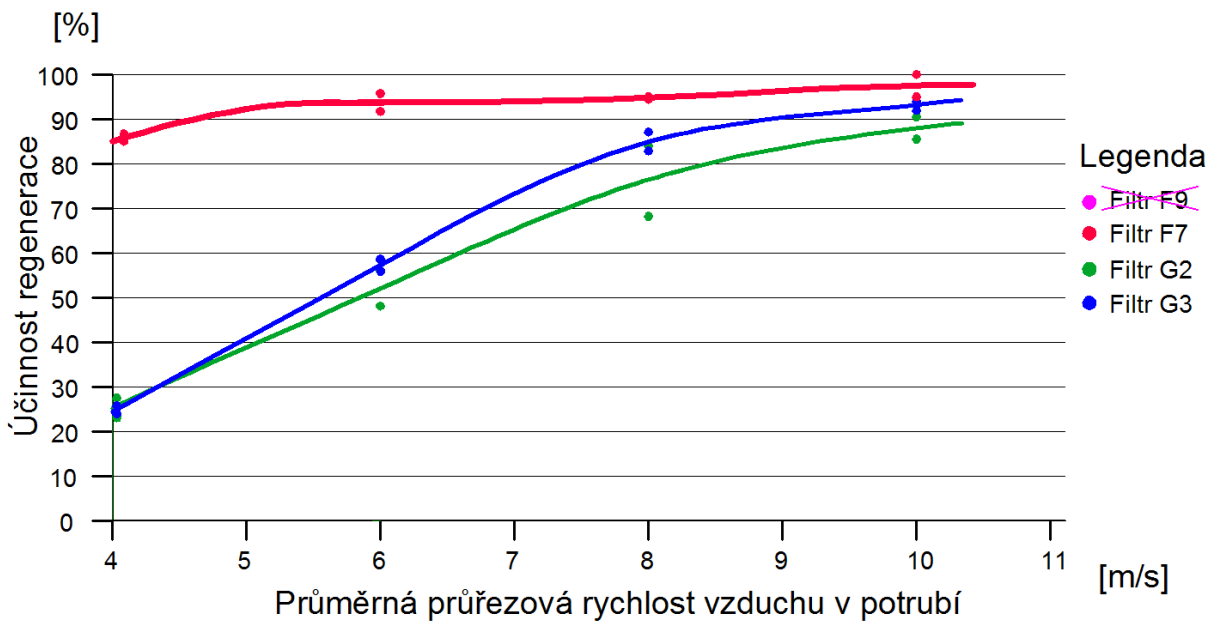
Z hlediska nejlepšího zachytu prachových částic dle *Grafu 8* obstál filtr G3, který zachytil o více jak 2 gramy více při každé zkoušce. Výsledek je ovšem sporný, protože do hry vstupovalo více druhů prachu. Prachová jímavost filtrů G2 a F7 je téměř shodná. Zkušební vzorek s názvem F9 byl ze zkoušky vyloučen pro jeho destruktivní chování při regenerační fázi.

U všech případů se potvrdil efekt nižšího zachytu prachu se vzrůstající rychlostí, ovšem jedná se o nepatrný pokles. I přesto můžeme konstatovat, že množství zachyceného prachu závisí na průřezové rychlosti.



Graf 8: Porovnání zkoušených filtrů z hlediska zachytu prachových částic

Velmi velkým překvapením na *Grafu 9* je porovnání účinností regenerace pro nižší rychlosti, kde je filtr F7 naprosto bezkonkurenční a jeho hodnoty jsou pro rychlost 4 m/s vyšší o 60 % oproti ostatním zástupcům. V případě rychlostního maxima, tedy 10 m/s, se rozdíly účinností všech zástupců liší pouze o jednotky procent, ovšem tato rychlost vzduchu je pro návrh běžné vzduchotechniky výjimečná. Celkově filtr F7 zvítězil s nejvyšší účinností pro všechny zkoušené rychlosti a je tedy jako jediný zvolen za vhodného zástupce pro regenerační jemnou filtraci, ovšem se záměnou spodní vrstvy. Pro hrubou filtraci bohužel zatím nebyl nalezen vhodný materiálový zástupce, který by usazený prach dokázal v regenerační části odloučit do odpadního vzduchu.



Graf 9: Porovnání zkoušených filtrů z hlediska jejich účinnosti regenerace

Závěr části B

I přesto, že byl původně stanoven časový a technický plán, celá experimentální část probíhala nakonec vlastním systémem, protože při realizaci se vyskytly problémy, které bylo nutno technicky řešit, a to především při stavbě modelu. Z vybraných problémů mohu zmínit, prodloužení stavby zkušební tratě přibližně na dvojnásobek, prodloužení kanálu o další kusy potrubí, problém s umístěním modelu, vylamování úchytů na kontrolních oknech a stavbu pomocné konstrukce na odjímaní koncového kusu potrubí. Z hlediska původních plánů byly přidány nadstavbové komponenty jako, vřazený odpor elektromotoru, turbulátory vzduchu, promíchávací přepážky a třetí kontrolní otvor.

Tento projekt mě naučil, že pokud chce člověk vyzkoušet něco nového, něco, k čemu nejsou k dispozici žádné podklady ani obdobné projekty a snaží se své nápady převést do reality, zbytečně ztrácí čas, pokud mnoho plánuje a přemýšlí nad dalšími kroky postupu. Většinou se mi totiž stávalo, že jsem stál a přemýšlel nad možnými variantami, chodil okolo problému a ztrácel čas zbytečným přemýšlením. Řešení problému totiž přicházelo samo, a to ve chvíli kdy se mu nevěnovala pozornost a sama konstrukce vám napověděla, jaké stanovuje mantinely pro jeho řešení. Přivlastnil bych to asi podobnému příkladu, kdy člověk musí napsat nějaký text a obecně platí, že vždy se pustí do psaní dříve, pokud se tento text má týkat určitého tématu, než v případě, kdy si téma může zvolit a potom zbytečně přichází o čas přemýšlením o volbě nejlepšího zadání.



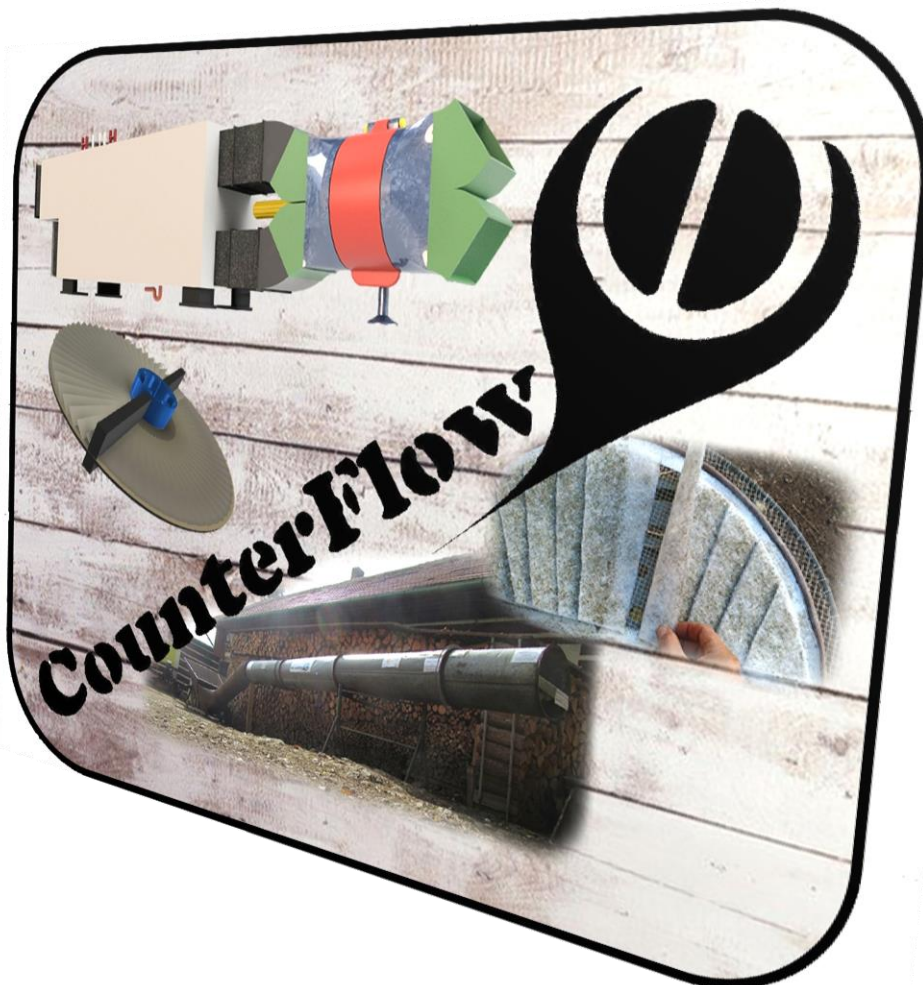
Obr. 136: Stavba zkušební tratě



Obr. 137: Stavba zkušební tratě

V některých případech se také vyplatilo, požádat o pomoc člověka, který má na věc úplně jiný náhled. Například první impulz k použitému principu regulační klapky dal můj děda, a to jsem původně ani nedokázal pochopit, jak to vlastně myslí. Systém spojení dvou koncových kusů potrubí s filtrační vložkou mezi nimi, aby bylo možné snadné rozpojování a opětovné propojení těchto dílů, zase vymyslel můj otec, který přišel na jednoduchý tříbodový úchyt za pomoci šroubů a matek, přičemž šrouby dokážou prolézt podkladní síťovinou filtrační vložky. Naprosto geniální a přesto jednoduchý princip úchytu.

Stavba modelu v domácím prostředí měla jednu obrovskou výhodu a tou je **zázemí**. Potřeboval jsem mnoho náčiní a pomůcek, potreboval jsem občas pomoci při manipulaci s komponenty a v mnoha případech pomocnou ruku. To vše jsem měl k dispozici, a proto se podle mého tento experiment vydařil i přesto, že se prozatím nenalezl vhodný filtrační materiál, ale i tak k jeho nalezení jsem si tímto experimentem značně pomohl. Závěrem bych tedy rád předznamenal, že regenerační vzduchotechnická filtrace bude mít velkou budoucnost a věřím, že se jednou dostane na trh zařízení, které bude tento princip využívat a pojem „**REGENERAČNÍ FILTRACE**“ se dostane do podvědomí technické veřejnosti v oboru TZB.



Obr. 138: Závěrečný ilustrační obrázek

Literatura a použité zdroje:

Publikace

- 1) Hemerka Jiří, Vybíral Pavel. Filtrace atmosférického vzduchu. 1. Vyd. Praha: ČVUT, 2011
- 2) Hemerka Jiří. Odlučování tuhých částic. 1. Vyd. Vyd. Praha: ČVUT, 2000
- 3) Nový R. a kol.: Technika prostředí 1 Vyd. Praha: ČVUT, 2006
- 4) Székyavá M., Ferstl K., Nový R. Větrání a klimatizace. 1. Vyd. Bratislava: JAGA, 2006

Zákony, vyhlášky, normy, směrnice

1. ČSN EN 779 - Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování všeobecné větrání - Stanovení filtračních parametrů
2. ČSN ISO 4225 - Kvalita ovzduší - Obecná hlediska – Slovník
3. Zákon č. 201/2012 Sb. - Zákon o ochraně ovzduší (Platnost od 01.09.2012)
4. č. 86/2002 Sb. Zákon o ochraně ovzduší (zrušeno k 01.09.2012)

Citované zdroje

- [1] Můj Mazlík: Bavlněné vlákno pro stavbu hnízda. In: [online]. 2015 [cit. 2017 – prosinec – 26] Dostupné z: <http://www.muymazlik.cz/bavlnene-vlakno-pro-stavbu-hnizda-50g-trixie?search=bavln>
- [2] Chytej.cz: Anatomie ryb. Původ a systematické zařazení ryb. In: [online]. 2015 [cit. 2017 – prosinec – 26] Dostupné z: <https://www.chytej.cz/atlas-ryb/anatomie-ryb/>
- [3] Vzduchotechnik Chrastava: Elektrostatické filtrační soustavy In: [online]. 2013 [cit. 2017 – prosinec – 26] Dostupné z: <http://www.vzduchotechnik.cz/vyroby/elektrostaticke-filtry/>
- [4] Vybíral Pavel; Ing, Phd. TZB.info: Filtrace ve VZT jednotkách pro nucené větrání rodinných domů II. 2016 In: [online]. 2016 [cit. 2017 – prosinec – 26] Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/14359-filtrace-ve-vzt-jednotkach-pro-nucene-vetrani-rodinnych-domu-ii>
- [5] Kapsové filtry Kuhlreiber: Kapsový filtr F7. In: [online]. 2015 [cit. 2017 – prosinec – 26] Dostupné z: <http://www.kapsove-filtry.cz/kapsovy-filtr-f7.html>

- [6] Imise látek znečišťujících ovzduší: portal.chmi.cz. In: [online]. 2010 [cit. 2017 – prosinec – 26] Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr98cz/kap_02/kap_02.htm
- [7] Pneumafil NEDERMAN: Rotary Pre-Filters. In: [online]. [cit. 2017 – prosinec – 26] Dostupné z: http://www.pneumafil.com/textile_air_filtration_conditioning/details/rotary_pre_filters/
- [8] R&R Beth: Prefilter TVM/N. In: [online] 2010 [cit. 2017 – prosinec – 28] Dostupné z: <http://www.rr-beth.com/en/pre-filter-tvm.html>
- [9] Pneumafil NEDERMAN: Rotary air filter [online]. 2012 In: [cit. 2017 – prosinec – 28] Dostupné z: http://www.pneumafil.com/textile_air_filtration_conditioning/details/rotary_air_filter/
- [10] Perri Machinery Czech Republic s.r.o.: Vakuový rotační filtr [online]. 2014 In: [cit. 2017 – prosinec – 28] Dostupné z: <http://www.perryczech.cz/nabidka-stroj-a-technologie/13-filtry/548-larox-1815-p2-15-m2-vakuovy-rotani-filtr.html>
- [11] Mendelova univerzita v Brně: Schéma principu činnosti vakuového filtru. [online] 2010 In: [cit. 2017 – prosinec – 28] Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=58529
- [12] Google.cz – Patents: Self-cleaning rotary filter for the cooling air inlet of an engine enclosure. Číslo patentu: US 4233040 A (IFI CLAIMS Patent Services). [online] 2002 In: [cit. 2017 – prosinec – 28] Dostupné z: <https://www.google.cz/patents/US3837149>
- [13] Chlagro: Stroje pro sklizeň obilovin a kukuřice – Sklizeň kukuřice kombajnem New Holland CR 980. In: [online] 2015 [cit. 2017 – prosinec – 28] Dostupné z: <http://www.chlagro.cz/stroje-pro-sklizen-obilovin-a-kukurice>
- [14] Unusual Volume Spikes For: Sirius XM Holdings Inc. In: [online] 2016 [cit. 2017 – prosinec – 28] Dostupné z: http://newscdn.newsrep.net/h5/nrshare.html?r=3&lan=en_US&pid=14&id=OSa611694EY_us&app_lan=&mcc=&declared_lan=en_US&pubaccount=ocms_0&showall=1
- [15] Depositphotos: Encontrar Imágenes Similares. In: [online] 2014 [cit. 2017 – prosinec – 28] Dostupné z: <https://mx.depositphotos.com/44140437/stock-illustration-businessman-and-graph-data-cartoon.html>
- [16] Depositphotos: Encontrar Imágenes Similares. In: [online] 2014 [cit. 2017 – prosinec – 28] Dostupné z: <https://mx.depositphotos.com/44140437/stock-illustration-businessman-and-graph-data-cartoon.html>

[17] Depositphotos: Ikona části počítače plochých vector linky chladicí ventilátor.
In: [online] 2013 [cit. 2017 – prosinec – 28] Dostupné z:
<https://cz.depositphotos.com/153081674/stock-illustration-line-flat-vector-computer-part.html>

[18] ČSN EN 779. Filtry na odlučování částic pro všeobecné větrání - Stanovení filtračních parametrů. Praha: Český normalizační úřad, 2012

Webové zdroje

1. www.tzbinfo.cz
2. www.tzb.fsv.cvut.cz
3. <https://dialog.cvut.cz/index.htm> (Brána EIZ)
4. www.google.cz/?tbs=pts&hl=cs&gws_rd=ssl (vyhledávání patentů)
5. www.ekofiltr.cz
6. www.wikipedia.org
7. www.ksklimaservice.cz
8. csnonline.unmz.cz

Použitý software

Autodesk Autocad 2013

Autodesk Inventor Profesional 2016

Autodesk 3D Desing Software

Adobe Photohop CS6

Microsoft Word 2010

Microsoft Excel 2010

Pinacle Studio 2014

Free Crop video

Seznam tabulek

Tab. 1: Intervaly výměn filtrů pro vybrané druhy [4] ; [5].....	15
Tab. 2: Doporučené intervaly výměny fáze filtrační vložky v jednostupňové filtraci .	19
Tab. 3: Imisní limity platné pro území České republiky [6].....	20
Tab. 4: Limity kvality ovzduší podle platných i navrhovaných direktiv EU [6].....	21
Tab. 5: Složení prachové směsi dle ČSN EN 779	39
Tab. 6: Složení směsi A.....	41
Tab. 7: Složení směsi B.....	41
Tab. 8: Specifikace filtračních materiálů	55
Tab. 9: Tabulka zaznamenaných hodnot během zkoušky filtru G2	66
Tab. 10: Tabulka zaznamenaných hodnot během zkoušky filtru G3	72
Tab. 11: Tabulka zaznamenaných hodnot během zkoušky filtru F7	78
Tab. 12: Tabulka zaznamenaných hodnot během doplňkové zkoušky filtru F7	84

Seznam grafů

Graf 1: Poměr zachycených částí v závislosti na průřezové rychlosti vzduchu	67
Graf 2: Účinnost regenerace filtru G2 v závislosti na průřezové rychlosti	68
Graf 3: Poměr zachycených částí v závislosti na průřezové rychlosti vzduchu	73
Graf 4: Účinnost regenerace filtru G2 v závislosti na průřezové rychlosti.....	74
Graf 5: Poměr zachycených částí v závislosti na průřezové rychlosti vzduchu	79
Graf 6: Účinnost regenerace filtru F7 v závislosti na průřezové rychlosti.....	80
Graf 7: Účinnost regenerace v deseti po sobě jdoucích pokusech	85
Graf 8: Porovnání zkoušených filtrů z hlediska zachytu prachových částic	86
Graf 9: Porovnání zkoušených filtrů z hlediska jejich účinnosti regenerace.....	87

Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma klimatizační jednotky s využitím rotačního filtru	5
Obr. 2: Vizualizace vytvořené klimatizační jednotky (BIM model).....	5
Obr. 3: Schématické zobrazení pracovního principu rotačního filtru.....	6
Obr. 4: Vizualizace schématického zobrazení z Obr. 3	6
Obr. 5: Filtrační vložka Vlákno-filtr	7
Obr. 6: Bavlněné vlákno [1]	9
Obr. 7: Filtrační vložka lamelová	9
Obr. 8: Žaberní oblouky štiky obecné [2]	9

Obr. 9: Čistící kartáč pro lamelovou filtrační vložku	10
Obr. 10: Schéma běžného elektrostatického filtru [3]	11
Obr. 11: Schéma regeneračního filtru s použitím elektrostatických sil.....	12
Obr. 12: Rozdělení fází na lamelovém filtru	13
Obr. 13: Rozdělení fází na vlákno- filtru.....	13
Obr. 14: Těsnění rotačního bubnu	14
Obr. 15: Místa úniku vzduchu při rotaci filtru.....	14
Obr. 16: Umístění rotačního filtru v rámci VZT jednotky	16
Obr. 17: Umístění rotačního filtru externě.....	16
Obr. 18: Žábrová filtrační vložka s dělením na poloviny	17
Obr. 19: Žábrová filtrační vložka s dělením na třetiny.....	17
Obr. 20: Poměrové rozdělení průřezu VZT potrubí pro rotační filtr	18
Obr. 21: Náhled konstrukce s trojím dělením.....	18
Obr. 22: Filtrační kolo s odsávacím ramenem [7]	22
Obr. 23: Schéma odsávání prachu z rotačního filtru [9].....	23
Obr. 24: Filtrační kolo s odsávacím ramenem (menší provoz) [8]	23
Obr. 25: Rotační filtrační zařízení na výrobu kukuřičného škrobu [10]	23
Obr. 26: Schéma filtračního zařízení filtrace vína [11]	23
Obr. 27: Rotační buben žacího stroje [12]	24
Obr. 28: Detail rotačního bubnu žacího stroje [12]	24
Obr. 29: Reálná podoba rotačního filtračního bubnu řezačky kukuřice [13].....	24
Obr. 30: Ilustrační obrázek	25
Obr. 31: Ilustrační obrázek [15];[16]	27
Obr. 32: Fukar sena s radiálním ventilátorem.....	28
Obr. 33: Skutečné provedení zkušební tratě	29
Obr. 34: Schéma zkušební tratě	29
Obr. 35: Pohled na reálnou zkušební trať.....	30
Obr. 36: Pohled na reálnou zkušební trať.....	30
Obr. 37: Schématický obrázek [17].....	31
Obr. 38: Fukar sena – zadní pohled	31
Obr. 39: Fukar sena – přední pohled.....	31
Obr. 40: Elektromotor Škoda - 7,5 kW	32
Obr. 41: Štítek elektromotoru Škoda.....	32
Obr. 42 : Štítek elektromotoru ČKD	32
Obr. 43: Elektromotor ČKD - 3kW	32
Obr. 44: Pohon radiálního ventilátoru s dvěma řemeny	33
Obr. 45: Manuální regulační klapka	34
Obr. 46: Stupnice rychlostí podle natočení regulační klapky	34
Obr. 47: Nastavení maximálního průtoku	34
Obr. 48: Nastavení minimálního průtoku	34
Obr. 49: První hodnoty regulace rychlosti vzduchu v [m/s] pro tvorbu stupnice.....	35
Obr. 50: Umístění otáčecí osy	35
Obr. 51: Test funkčnosti klapky	36
Obr. 52: Svařování provlékač trubky.....	36

Obr. 53: Pákové táhlo s aretačním šroubem	36
Obr. 54: Korýtkový podavač prachu [18].....	37
Obr. 55: Stavba dávkovače prachu	38
Obr. 56: Hotový prachový podavač	38
Obr. 57: Plnění podavače prachovými částicemi	38
Obr. 58: DEHS vzorec – složení prachové směsi [18].....	39
Obr. 59: Měření podílu složky pro zkušební prach	40
Obr. 60: Tvorba zkušebních prachů	40
Obr. 61: Prachová směs A.....	41
Obr. 62: Prachová směs B.....	41
Obr. 63: Zinkované potrubí o průměru 500 mm	42
Obr. 64: Instalace ohybného kusu potrubí.....	42
Obr. 65: Kontrolní otvor za podavačem prachu - otevřený	43
Obr. 66: Kontrolní otvor za podavačem prachu - zavřený.....	43
Obr. 67: Výroba přepážek.....	43
Obr. 68: Schéma umístění přepážek	43
Obr. 69: Schéma pro vytvoření redukce	44
Obr. 70: Hladký přechod redukční oblasti.....	45
Obr. 71: Umístění redukční plech	45
Obr. 72: Fixace redukčního plechu.....	45
Obr. 73: Použitý hliníkový zásobník.....	46
Obr. 74: Redukční plech k umístění před filtr.....	46
Obr. 75: Redukce po utěsnění.....	46
Obr. 76: Redukce před utěsněním.....	46
Obr. 77: Těsnění náběhu redukce	47
Obr. 78: Aplikace těsnící housenky	47
Obr. 79: Průsvitná přepážka – horní pohled	47
Obr. 80: Průsvitná přepážka – spodní pohled.....	47
Obr. 81: Tvorba revizního okna	48
Obr. 82: Otevřené revizní okno.....	48
Obr. 83: Revizní otvory před dokončením	49
Obr. 84: Schéma návrhu turbulátorů.....	50
Obr. 85: Finální turbulátory ve fixní poloze	51
Obr. 86: Výroba turbulátorů	51
Obr. 87: Výroba nosného rámu filtrační vložky	52
Obr. 88: Výroba nosného rámu filtrační vložky	52
Obr. 89: Výběr podkladní síťoviny	52
Obr. 90: Napínání síťového podkladu.....	52
Obr. 91: Vystředění filtrační vložky na VZT potrubí	53
Obr. 92: Lepení těsnění	53
Obr. 93: zatěsněná filtrační vložka	53
Obr. 94: Lepení podkladního PVC	54
Obr. 95: Detail uchycení podkladního PVC	54
Obr. 96: Filtrační materiál – polypropylen 100%, tl. 5 mm	56

Obr. 97: Filtr G2 a G3 – zkouška šířky lamel (10 m/s)	56
Obr. 98: Filtr G2 a G3 – zkouška šířky lamel (0 m/s)	56
Obr. 99: Filtr G2 a G3 – zkouška šířky lamel ve fázi filtrace	57
Obr. 100: Rozvrstvení horní části lamely	57
Obr. 101: Tvorba lamel F7	58
Obr. 102: Tvorba lamel F7	58
Obr. 103 : Filtr F7 – zkouška šířky lamel (10 m/s)	58
Obr. 104: Filtr F7 – zkouška šířky lamel (0 m/s)	58
Obr. 105: Vývoj lamel F9	59
Obr. 106: Filtr F9 – zkouška šířky lamel (10 m/s)	59
Obr. 107: Filtr F9 – zkouška šířky lamel (0 m/s)	59
Obr. 108: Výrobní název filtrační tkaniny F9	60
Obr. 109: Rozpad souvrství lamely a odtržení od podkladu	60
Obr. 110: Digitální váha Micro Digital Scale	61
Obr. 111: Výroba filtrační vložky G2	63
Obr. 112: Dokončení výroby vložky G2	63
Obr. 113: Regenerační fáze filtru G2	64
Obr. 114: Filtrační fáze filtru G2	64
Obr. 115: Regenerace s použitím turbulátoru (rychlost 9,6 m/s)	65
Obr. 116: Regenerace bez použití turbulátoru (rychlost 9,4 m/s)	65
Obr. 117: Vážení filtrační vložky	67
Obr. 118: Zanesení filtrační vložky G2 po regeneraci při rychlosti 4 m/s	68
Obr. 119: Zanesení filtrační vložky G2 po regeneraci při rychlosti 6 m/s	69
Obr. 120: Rozmístění filtračních lamel	70
Obr. 121: Vytvoření dvojité filtrační vrstvy	70
Obr. 122: Test turbulátoru na filtrační vložce G3	71
Obr. 123: Ukázka zanesení filtru po dokončení filtrační fáze	73
Obr. 124: Uchycení filtračního prachu na krajní části lamely	74
Obr. 126: Zanesení filtrační vložky G2 po regeneraci při rychlosti 8 m/s	75
Obr. 125: Zanesení filtrační vložky G2 po regeneraci při rychlosti 10 m/s	75
Obr. 127: Filtrační vložka F7	76
Obr. 128: Filtrační vložka F7 bez použití turbulátoru při rychlosti 6 m/s	77
Obr. 129: Filtrační vložka F7 bez použití turbulátoru při rychlosti 9 m/s	77
Obr. 130: Vážení čistého filtru F7	79
Obr. 131: Filtrační vložka po filtrační fázi	81
Obr. 132: Filtrační vložka F7 po regenerační fázi při rychlosti 10 m/s	81
Obr. 133: Filtrační vložka po regenerační fázi při rychlosti 6 m/s	81
Obr. 134: Regenerace filtru F7 při rychlosti 6 m/s	82
Obr. 135: Pravá lamela F7 opět bez regeneračních účinků	82
Obr. 136: Stavba zkušební tratě	88
Obr. 137: Stavba zkušební tratě	88
Obr. 138: Závěrečný ilustrační obrázek	89

Přílohy

Příloha A

Originální tabulkové záznamy výsledků měření

Seznam:

- 1.....Postup výpočtu účinnosti regenerace
- 2.....Test filtru G2
- 3.....Test filtru G3
- 4.....Test filtru F7
- 5.....Test filtru F7 – *rozšiřující experiment*
- 6.....Test filtru F9

Měření účinnosti regenerace filtrační vložky na vytvořené VZT trati

Název zkoušky	Okrajové podmínky			Parametry zkoušky			Výsledné hmotnosti filtrační vložky odečtené z váhy				Hmotnost zachyceného prachu filtrem X_i	Hmotnost odloučeného prachu Y_i	Účinnost regenerace Z_i
	Datum (2017)	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost vzduchu	Rychlost proudícího vzduchu	Zkoušený druh prachových částic	Hmotnost dávky prachu	Před zanesení prachem	Po zanesení prachem	Po regeneraci				
	[°C]	[%]	[m/s]	[-]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	
1) 10 m/s , První pokus	10	...	20	a_1	b_1	c_1	$X_1 = b_1 - a_1$	$Y_1 = b_1 - c_1$	$Z_1 = (Y_1)/(X_1 * 100)$		
2) 10 m/s , Druhý pokus	10	...	20	a_2	b_2	c_2	$X_2 = b_2 - a_2$	$Y_2 = b_2 - c_2$	$Z_2 = (Y_2)/(X_2 * 100)$		
3) 8 m/s , První pokus	8	...	20	a_3	b_3	c_3	$X_3 = b_3 - a_3$	$Y_3 = b_3 - c_3$	$Z_3 = (Y_3)/(X_3 * 100)$		
4) 8 m/s , Druhý pokus	8	...	20	a_4	b_4	c_4	$X_4 = \dots$	$Y_4 = \dots$	$Z_4 = \dots$		
5) 6 m/s , První pokus	6	...	20	a_5	b_5	c_5	$X_5 = \dots$	$Y_5 = \dots$	$Z_5 = \dots$		
6) 6 m/s , Druhý pokus	6	...	20	a_6	b_6	c_6	$X_6 = \dots$	$Y_6 = \dots$	$Z_6 = \dots$		
7) 4 m/s , První pokus	4	...	20	a_7	b_7	c_7	$X_7 = \dots$	$Y_7 = \dots$	$Z_7 = \dots$		
8) 4 m/s , Druhý pokus	4	...	20	a_8	b_8	c_8	$X_8 = \dots$	$Y_8 = \dots$	$Z_8 = \dots$		

Měření účinnosti regenerace filtrační vložky na vytvořené VZT trati

Druh zkoušené vložky	Lamelová filtrační vložka G2
Účinná průřezová plocha filtru	0,0936 0,0936 m ²
Materiál	SYNTETIKA, 100% bavlna 5mm
Filtrační třída	G2

Poznámky k měření: čas plynu s regenerací = 5min, chyba 20 ppm plynu do 1000 ppm, krym' lamy bez regenerace
LAMELY SE OPÍRAJÍ

Název zkoušky	Okrajové podmínky		Parametry zkoušky			Výsledné hmotnosti filtrační vložky odečtené z váhy			Hmotnost zachyceného prachu filtrem [g]	Hmotnost odloučeného prachu [g]	Účinnost regenerace [%]	
	Datum	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rychlost proudícího vzduchu [m/s]	Zkoušený druh prachových částic [-]	Hmotnost dávky prachu [g]	Před zanesením prachem [g]	Před regenerací [g]				Po regeneraci [g]
1) 10 m/s, PEVNÍ	10.10	13	53	10	B	10	993,5	1004	994,5	19,5	9,5	90,5
2) 10 m/s, DĚVŮ	10.10	14	53	10	B	20	994,5	1005	996	19,5	9	85,7
8 m/s, PEVNÍ	10.10	14	57	8	B	20	994,5	1007	996,5	12,5	19,5	84,0
8 m/s, DĚVŮ	10.10	14	55	8	B	20	996,5	1007,5	1000	11	7,5	68,2
6 m/s, PEVNÍ	11.10	17	52	6	B	20	998,0	1007,5	1000,5	12,5	7	56
6 m/s, DĚVŮ	11.10	17	53	6	B	20	1000,5	1014,0	1007,5	13,5	6,5	48,1
4 m/s, PEVNÍ	11.10	17	53	4	B	20	998,0	1008,0	1005,0	13,0	3	23,1
4 m/s, DĚVŮ	11.10	17	51	4	B	20	1005,0	1009,5	1008,5	14,5	4	23,6

DOPLET 2 DAT TEPLOMĚRŮ AŽ VLHKOMĚRŮ

Měření účinnosti regenerace filtrační vložky na vytvořené VZT trati

Druh zkoušené vložky	Lamelová filtrační vložka G3
Účinná průřezová plocha filtru	0,0932 m ²
Materiál	SYNTETIKA, 2 vrstvy splachování, celkem tl. 10mm
Filtrační třída	G3

Poznámky k měření: *natURAL filtrace a regenerace 5min, brýlemi lamedy nejsou regenerovány, nemají spouškový mechanismus a drubě stráž*

Název zkoušky	Okrajové podmínky			Parametry zkoušky			Výsledné hmotnosti filtrační vložky odečtené z váhy			Hmotnost zachyceného prachu filtrem [g]	Hmotnost odloženého prachu [g]	Účinnost regenerace [%]
	Datum	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rychlost proudícího vzduchu [m/s]	Zkoušený druh prachových částic [-]	Hmotnost dávky prachu [g]	Před zanesením prachem [g]	Před regenerací [g]	Po regeneraci [g]			
1) 10 m/s, První pokus	12.10	13	59	10	B	20	1003	1019,5	1004	14,5	13,5	93,1
2) 10 m/s, Druhý pokus	12.10	13	59	10	B	20	1004	1018	1005	14	13	92,9
3) 8 m/s, První pokus	12.10	13	58	8	B	20	1003,5	1019	1005,5	15,5	13,5	89,1
4) 8 m/s, Druhý pokus	13.10	14	56	8	B	20	1005,5	1020,5	1008	15	12,5	83,3
5) 6 m/s, První pokus	13.10	15	53	6	B	20	1004	1019	1019,5	15	8,5	56,7
6) 6 m/s, Druhý pokus	13.10	15	53	6	B	20	1049,5	1026	1017	15,5	9	58,1
7) 4 m/s, První pokus	13.10	15	52	4	B	20	1004	1020	1016	16	4	2,5
8) 4 m/s, Druhý pokus	13.10	16	53	4	B	20	1016,0	1032,5	1028,5	16,5	4	24,2

DOPLNIT 2

Měření účinnosti regenerace filtrační vložky na vytvořené VZT trati

Druh zkoušené vložky	Lamelová filtrační vložka F7
Účinná průřezová plocha filtru	0,0925 0,0925 m ²
Materiál	SYNTETIKA, 4. vrstva, říveňový molokob
Filtrační třída	F7

Poznámky k měření: 5 cm pro filtraci a regeneraci, brzoji lamely menší než správně, hlavně správně
krabice v podstatě vždy lamely, typ: PROŠIT, HORNÍ ČÁST!

Název zkoušky	Okrajové podmínky		Parametry zkoušky			Výsledné hmotnosti filtrační vložky odečtené z váhy			Hmotnost zachyceného prachu filtrem	Hmotnost odloučeného prachu	Účinnost regenerace [%]
	Datum	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rychlost proudícího vzduchu [m/s]	Zkoušený druh prachových částic [-]	Hmotnost dávky prachu [g]	Před zanesením prachem [g]	Před regenerací [g]			
1) 10 ml/s, PRVNÍ	14.10	19	50	10	BA	20	836	847	849,0	10,5	95,5%
2) 10 ml/s, DRUHÝ	14.10	19	51	10	BA	20	836,5	847	336,5	10,5	100
3) 8 ml/s, DRVNĚ	14.10	20	47	8	BA	20	837	847,5	837	10,5	95,5
4) 8 ml/s, DRVNĚ	14.10	20	48	8	BA	20	837	540,7	837,8	9,5	95
5) 6 ml/s, PRVNÍ	17.10	18	53	6	BA	20	837	849	838	12	94,7
6) 6 ml/s, DRUHÝ	17.10	18	52	6	BA	20	838	851	838,5	13	96,2
7) 4 ml/s, PRVNÍ	17.10	19	50	4	BA	20	837	850	839	13	84,6
8) 4 ml/s, DRVNĚ	17.10	18	51	4	BA	20	839	857,5	841	15,5	87,1%

DOPLNIT DLE TEPLOMĚRU A VLHKOMĚRU Z DOT

Měření účinnosti regenerace filtrační vložky na vytvořené VZT trati pro vybraný materiál

OVĚŘENÍ STÁLE ÚČINNOSTI
 REGENERACE = F7

Druh zkoušené vložky	Lamelová filtrační vložka F7
Účinná průřezová plocha filtru	0,0125 m ²
Materiál	SYNTEPIKA, 4 vrstvy, růžový materiál
Filtrační třída	F7

Poznámky k měření: 7 lamel, rychlost proudění 8 m/s, obta reny a p.l. = 5 min, demontován poslední kus sponbí v délce 1 m.

REGENERACE (ÚČINNOST) POČÍTANÁ VŽDY Z PŘEDCHOZÍ VÁHY, PROTO VYCHÁZEJÍ HODNOTY NAD 100% ~~REGENE~~

Název zkoušky	Okrajové podmínky			Parametry zkoušky			Výsledné hmotnosti filtrační vložky odečtené z váhy			Hmotnost zachyceného prachu filtrem [g]	Hmotnost odloučeného prachu [g]	Účinnost regenerace [%]
	Datum	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rychlost proudícího vzduchu [m/s]	Zkoušený druh prachových částic [-]	Hmotnost dávky prachu [g]	Před zanesením prachem [g]	Před regenerací [g]	Po regeneraci [g]			
REG 1	20.10	19	51	8	A	20	837	847,5	8380	10,5	9,5	100,9
REG 2	20.10	20	47	8	A	20	838	847	838,5	9	8,5	94,4
REG 3	20.10	20	48	8	A	20	838,5	848	839	9,5	9	94,7
REG 4	20.10	21	48	8	A	20	839	847	839	8	8	100
REG 5	20.10	21	47	8	A	20	839	848	839,5	9,0	8,5	94,4
REG 6	20.10	21	48	8	A	20	839,5	848	839	8,5	9	105,9
REG 7	20.10	20	50	8	A	20	839	848	838,5	9	9,5	105,6
REG 8	20.10	20	49	8	A	20	838,5	846,5	838,5	8	8	100
REG 9	20.10	19	52	8	A	20	838,5	847,5	839	9	8,5	94,4
REG 10	20.10	19	52	8	A	20	839	847	838,5	8	8,5	106,3

DOPLNIT DUE DAT (KLIMATICKÁ DATA POKUSU)

Měření účinnosti regenerace filtrační vložky na vytvořené VZT trati

Druh zkoušené vložky	Lamelová filtrační vložka F9
Účinná průřezová plocha filtru	9,25 dm ²
Materiál	NANO VLÁKNO, 3 vrstvy náobr. NANOWAVE F9
Filtrační třída	F9

Poznámky k měření: 5 min měření účinnosti a regenerace, TRHÁNÍ MATERIÁLU, ODDELOVÁNÍ VRSTEV!

Název zkoušky	Okrajové podmínky		Parametry zkoušky			Výsledné hmotnosti filtrační vložky odečtené z váhy			Hmotnost zachyceného prachu filtrem	Hmotnost odloučeného prachu	Účinnost regenerace
	Datum	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rychlost proudícího vzduchu [m/s]	Zkoušený druh prachových částic [-]	Hmotnost dávky prachu [g]	Před zanesením prachem [g]	Před regenerací [g]			
1) 10 m/s, První pokus	12.10			10	A	20					
2) 10 m/s, Druhý pokus											
3) 8 m/s, První pokus											
4) 8 m/s, Druhý pokus											
5) 6 m/s, První pokus											
6) 6 m/s, Druhý pokus											
7) 4 m/s, První pokus											
8) 4 m/s, Druhý pokus											

FILTR SE TRHA.

POKUS ZRUŠEN !!!

Příloha B

Pořízené audiozáznamy ve formátu **.AVI**

Celková velikost: 5 GB

Seznam pořízených audiozáznamů:

1) Průlet konstrukcí zkušební tratě

Zachycení celého modelu včetně pohoných a regulačních komponent. Záznam proveden pro fázi regenerace při 6 m/s s užitím filtru F7.

2) Test prachového podavače

Záznam z výroby zařízení k aplikaci prachových částic do zkušebního modelu. Pro pokus byly využity viditelné pevné částice.

3) Vývoj lamel G2 a G3 – regenerační fáze

Pro rychlostní řadu 1 až 16 m/s byly testovány lamely filtrů G2 a G3 v různých velikostech.

4) Vývoj lamel F7 – regenerační fáze

Pro rychlostní řadu 1 až 16 m/s byly testovány lamely filtru F7 v různých velikostech.

5) Vývoj lamel F7 – filtrační fáze

Ukázka lamel F7 ve fázi filtrace opět pro více velikostí. Zjišťováno především minimální účinné překrytí dvou sousedních lamel.

6) Vývoj lamel F9 – regenerační fáze

Pro rychlostní řadu 1 až 16 m/s byly testovány lamely filtru F7 v různých velikostech. Zachycen rozpad jedné z lamel.

7) Filtr G2 - regenerace

Ukázka z provozu regenerace filtru G2 při jeho startu. Umístění vložky je řešeno mezi přírubami. Je zřejmé, že nejvíce částic se uvolní z filtru během prvních 4 sekund.

8) Filtr G2 – regenerace bez použití turbulátoru

Záznam ukazuje fázi regenerace bez umístěných turbulátorů, tudíž filtrem prochází proměnné laminární proudění. Pro lepší porovnání je dobré přehrát video souběžně s videem č .9.

9) Filtr G2 – regenerace s použitím turbulátoru

Záznam ukazuje fázi regenerace s umístěným turbulátorem, tudíž filtrem prochází proměnné turbulentní proudění. Pro lepší porovnání je dobré přehrát video souběžně s videem č .8.

10) Filtr G2 – regenerace při proměnných rychlostech

Pro hrubě nastavené 4 různé rychlosti vzduchu byl pořízen záznam z regenerace filtrační vložky G2 s umístěním mezi přírubami.

11) Filtr G3 – regenerace

Ukázka regenerace filtru G3 pro rychlostní řadu 1 až 12 m/s. Umístění vložky na kraji, tedy bez účinků turbulátoru.

12) Filtr F7 – regenerace

Ukázka regenerace filtru G3 pro rychlostní řadu 1 až 11 m/s. Umístění vložky na kraji, tedy bez účinků turbulátoru.

13) Filtr F7 – regenerace při proměnných rychlostech

Pro hrubě nastavené 4 různé rychlosti vzduchu byl pořízen záznam z regenerace filtrační vložky F7 s umístěním mezi přírubami.

Josef Lácha
(podpis)

Obsah příloženého DVD:

- 1) Pořízené audiozáznamy **Přílohy B**
- 2) Kompletní diplomová práce v digitální podobě