



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV PROCESNÍ TECHNIKY



NÁVRH CYKLONOVÝCH ODLUČOVAČŮ PRACHU Z PROCESNÍHO VZDUCHU V LOVOCHEMII

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Bc. Jiří ŠANTÍN

Vedoucí práce:

Doc. Ing. Pavel HOFFMAN, CSc.

Stran: 112

Praha, 10. února 2015

Obrázků: 90

Tabulek: 19

Rovnic: 50

Příloh: 7

TATO STRANA DP BUDE NAHRAZENA OFICIÁLNÍM ZADÁNÍM DP.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem vypracoval diplomovou práci samostatně a použil jsem pouze odbornou literaturu a další informační zdroje (výkresy, technické listy, atd.), které jsou všechny citované a uvedené v seznamu použitých zdrojů na konci diplomové práce.

Nemám žádný závažný důvod, proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb. (a jeho novel č. 81/2005 Sb. a č. 216/2006 Sb.) o právu autorském.

V Praze dne:

Podpis:

Bc. Jiří ŠANTÍN

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Pavlu Hoffmanovi, CSc. za vedení práce, cenné rady, postřehy a za vstřícný přístup, kterého si velmi vážím.

Děkuji Ing. Michalu Bajimu a Radku Topolovi za cenné rady a informace, které mi poskytli.

Děkuji společnosti Lovochemie, která mi poskytla možnost vypracování diplomové práce .

Děkuji Ing. arch. Adéle Poubové za poskytnutí přístupu k licencované verzi ArchiCADu 18.

Děkuji své rodině, blízkým a přátelům za podporu při studiu.

Anotace

| | |
|----------------|--|
| Název práce: | Návrh cyklonových odlučovačů z procesního vzduchu v Lovochemii |
| Autor: | Bc. Jiří ŠANTÍN |
| Obor: | Procesní technika |
| Druh práce: | Diplomová práce |
| Vedoucí práce: | Doc. Ing. Pavel HOFFMAN, CSc. |
| Konzultant: | Ing. Michal BAJI, Radek TOPOL |

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a umístěním cyklonových odlučovačů na provozu LAVIII společnosti Lovochemie a.s. Úvodní část mapuje problematiku výroby NH_4NO_3 s CaCO_3 nebo MgCO_3 . Dále se zabývá analýzou stávajícího stavu provozu „suché strany“ LAVIII a teorií odlučování tuhých částic.

V hlavní části jsou provedena a vyhodnocena měření hustoty, koncentrace a rozměrů prachových částic. Dále je proveden návrh cyklonových odlučovačů a výpočet jejich celkové účinnosti pro stávající stav provozu „suché strany“ LAVIII. Na základě 2D výkresů byl vytvořen 3D model haly do kterého byly zapojeny navrhované cyklonové odlučovače. Byla provedena kontrola ventilátorů na novou provozní tlakovou ztrátu a ekonomické vyhodnocení investice.

Abstract:

This thesis describes the design and location of cyclone separators in the operation of LAVIII Lovochemie. In the first part are solved the problems of production of NH_4NO_3 with CaCO_3 or MgCO_3 . Furthermore it analyzes the current state of operation of "dry side" LAVIII building and the theory of solid separating.

In the main part and evaluated measurements of density, concentration and the dimension of dust particles are performed. The next part is dedicated to the design of the cyclone separators and calculating of their effectiveness for the current operating status of the "dry side" of LAVIII building. The 3D model of the building with supporting structures based on 2D drawings has been created in the next part. Proposed separators have been placed in the model. In

the last part were controlled ventilators for new operating pressure loss and an economic evaluation of investment was made.

Klíčová slova: cyklonové odlučovače, NH_4NO_3 , síťová analýza, laserová analýza

Key words: cyclone separators, NH_4NO_3 , sieving, laser diffraction,

| | |
|--|-----------|
| 1. ÚVOD | 9 |
| 2. VÝROBA PRŮMYSLOVÝCH HNOJIV | 11 |
| 2.1 Úloha jednotlivých prvků ve výživě rostlin | 11 |
| 2.2 Rozdělení hnojiv..... | 13 |
| 2.3 Jednoduchá dusíkatá hnojiva..... | 14 |
| 2.4 Vlastnosti NH_4NO_3 | 15 |
| 2.5 Výroba NH_4NO_3 s uhličitanem vápenatým (CaCO_3)/uhličitanem hořečnatým (MgCO_3) | 18 |
| 2.6 Závěr kapitoly..... | 24 |
| 3. POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU | 25 |
| 3.1 Dispoziční schéma budovy provozu LAVIII | 25 |
| 3.2 Specifikace problému na provozu LAVIII | 25 |
| 3.3 Schéma rozvodu technologického a provozního vzduchu SS | 26 |
| 3.4 Parametry provozu | 26 |
| 3.5 Ventilátory | 27 |
| 3.6 Hadicové tkaninové filtry | 28 |
| 3.7 Stanovení vhodného řešení pro minimalizaci zarážek | 34 |
| 3.8 Závěr kapitoly..... | 37 |
| 4. ODLUČOVÁNÍ TUHÝCH ČÁSTIC | 38 |
| 4.1 Charakteristický tvar a rozměr částic | 38 |
| 4.2 Vlastnosti částic..... | 42 |
| 4.3 Základní odlučovací principy | 52 |
| 4.4 Výběr vhodného odlučovače a jeho použitelnost pro provoz LAVIII | 53 |
| 4.5 Závěr kapitoly..... | 56 |
| 5. MĚŘENÍ | 57 |
| 5.1 Druhy prachů..... | 57 |
| 5.2 Odběry vzorků na provoze pro určení koncentrace prachových částic | 58 |
| 5.3 Odběr vzorků pro síťovou a laserovou analýzu | 61 |
| 5.4 Změření hustoty prachových částic LAV/LAD..... | 61 |
| 5.5 Síťová analýza..... | 62 |
| 5.6 Laserová analýza | 67 |
| 5.7 Závěr kapitoly..... | 71 |
| 6. NÁVRH CYKLONOVÝCH ODLUČOVAČŮ | 73 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 6.1 | Podmínky výběru vírového článku..... | 73 |
| 6.2 | Výběr vírového článku | 74 |
| 6.3 | Stanovení celkové odlučivosti vírového článku T3 1600 pro provozní podmínky LAVIII | 81 |
| 6.4 | Uspořádání vírových článků a stanovení základních zástavbových rozměrů | 87 |
| 6.5 | Závěr kapitoly..... | 90 |
| 7. | UMÍSTĚNÍ CYKLONOVÝCH ODLUČOVAČŮ | 91 |
| 7.1 | Popis modelované haly..... | 91 |
| 7.2 | 3D model haly | 91 |
| 7.3 | 3D model haly s hlavní zástavbou..... | 95 |
| 7.4 | Určení přibližného místa umístění cyklonových odlučovačů..... | 97 |
| 7.5 | 3D model umístění skupinových odlučovačů s rovným uspořádáním v provozu LAV III..... | 97 |
| 7.6 | Závěr kapitoly..... | 99 |
| 8. | KONTROLA TLAKOVÉ ZTRÁTY PRO NOVÝ PROVOZNÍ STAV | 100 |
| 8.1 | Parametry ventilátorů | 100 |
| 8.2 | Tlaková ztráta skupinových odlučovačů s rovným uspořádáním..... | 100 |
| 8.3 | Tlaková ztráta soustavy, která vznikla změnou stávajícího provozu | 101 |
| 8.4 | Celková tlaková ztráta | 102 |
| 8.5 | Kontrola ventilátorů | 102 |
| 8.6 | Závěr kapitoly..... | 103 |
| 9. | EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ | 104 |
| 9.1 | Stanovení základních parametrů zhodnocení | 104 |
| 9.2 | Úspora nového navrhovaného provozního řešení oproti původnímu..... | 104 |
| 9.3 | Nacenění investice..... | 105 |
| 9.4 | Ekonomické zhodnocení investice | 105 |
| 9.5 | Závěr kapitoly..... | 106 |
| 10. | ZÁVĚR | 107 |
| 11. | POUŽITÁ LITERATURA | 110 |
| 12. | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 112 |
| 13. | SEZNAM PŘÍLOH..... | 113 |

1. ÚVOD

Kolem roku 1800 n. l. žilo na Zemi kolem 1 miliardy lidí a většina z nich obhospodařovala zemědělskou půdu pro zajištění dostatku potravy. V současnosti v roce 2015 je na Zemi kolem 7,2 miliardy lidí a v zemědělství pracuje méně než jedna desetina populace. Proto je jedním z cílů v zemědělství intenzifikace hektarových výnosů a zároveň zlepšení kvality zemědělských produktů (Pevnější stavba rostlin, které lépe snáší klimatické výkyvy, jako je sucho a mráz. Nárůst obsahu bílkovin v zrnech, cukru v řepě apod.). S úspěchem se pro plnění výše uvedených cílů využívá hnojiv. [1] [2] [3]

Živé organismy jsou složeny především z uhlíku (C), vodíku (H), kyslíku (O), dusíku (N), fosforu (P), síry (S), draslíku (K), hořčíku (Mg), sodíku (Na) a vápníku (Ca). O, C, H umí rostliny získávat z většinou jednoduše dostupné vody (H_2O) a oxidu uhličitého (CO_2). Pro svůj růst potřebují ale rostliny další výše jmenované prvky. Ty už nejsou tak hojně a často v přírodě zastoupeny, proto nedostatek těchto prvků brzdí růst rostlin a snižuje výnos semen a celkově biomasy. Pro doplnění těchto živin (prvků) do půdy se využívá hnojiv, a to organických a průmyslových. [2] [3]

Průmyslová hnojiva, která nás v současnosti nejvíce zajímají v souvislosti s rostoucími požadavky na intenzifikaci výnosů z hektaru půdy, jsou chemické sloučeniny a směsi, obsahující prvky vhodné pro výživu rostlin v takové formě, ve které mohou být rostlinami přijímány.

Mezi velkou skupinou výrobců průmyslových hnojiv ve světě je i společnost Lovochemie a.s. se sídlem v Lovosicích v České republice. Jedním z řady cílů této společnosti, kromě pokrývání stále rostoucího zájmu o průmyslová hnojiva, je vyrábět hnojiva kvalitně a efektivně. Proto s rostoucím tlakem na množství produkce dochází k přetěžování provozů, které na takové objemy nebyly projektovány. Modernizace starších provozů probíhá postupně, a proto může docházet ke komplikacím při výrobě.

Hlavním úkolem této diplomové práce je navrhnout a umístit cyklonové odlučovače procesního vzduchu v Lovochemii a.s. na suché straně budovy LAVIII pro sušící a chladicí buben. Tím odlehčit zatížení dosavadních hadicových tkaninových filtrů a snížit tak náklady spojené s jejich častou údržbou, potřebnou ke spolehlivému provozu výroby. Splnění úkolu zadaného společností Lovochemie a.s. vyžaduje posouzení stávající technologie a určení její vhodné optimalizace. Dalším úkolem bylo provést provozní měření a získat informace o množství provozního vzduchu a jeho teplotě, koncentraci prachových částic a distribuci jejich velikosti apod. Konečným cílem bylo zhotovení výkresové dokumentace pro umístění cyklonových odlučovačů

v provozu výroby LAVIII, kontrola, zda instalované ventilátory, vytvářející v síti rozvodů procesního vzduchu podtlak mají dostatečný výkon a provedení rámcového ekonomického zhodnocení návrhu.

2. VÝROBA PRŮMYSLOVÝCH HNOJIV

V této kapitole je popsána úloha jednotlivých prvků ve výživě rostlin. Dále je zde popsáno základní rozdělení hnojiv a všeobecný popis výroby průmyslových hnojiv na provozu LAVIII.

Produkty na provozu LAVIII jsou:

- **LAV (ledek amonný s uhličitanem vápenatým)**
- **LAD (ledek amonný s uhličitanem hořečnatým)**
- **LAS (ledek amonný se síranem vápenatým)**

Postup výroby LAS nebude v této diplomové práci rozebírán. V rámci roční produkce se vyrobí zhruba 400 000 tun hnojiva, kde je LAS zastoupen zhruba v 15 000 tunách. Proto z charakteru řešeného problému není nutné LAS řešit. Vlastnosti ledku amonného a postup výroby LAV a LAD budou uvedeny v *kap. 2.4 a 2.5*.

2.1 Úloha jednotlivých prvků ve výživě rostlin

Příjem živin u rostliny je z větší části zajišťován kořeny a u některých druhů i listy. Rostlina řídí příjem živin aktivně, a tedy ovlivňuje množství i kvalitu, kterou přijímá. Velký nadbytek i nedostatek živin rostlině škodí. Při přebytku živin v půdě, způsobeném například nadměrným hnojením, může docházet ke znečištění okolí. Příkladem může být znečištění spodních vod dusíkem. Mikroorganismy mění dusičnany na dusitany, které mohou být v lidském těle přeměněny na karcinogenní nitrosaminy. [3] [4]

Rostlinné tělo obsahuje velké množství prvků, které jsou potřebné pro správný růst a vývoj rostliny. Tyto prvky se dají rozdělit do tří skupin:

- **Základní prvky**

Jsou nedílnou součástí rostlinné hmoty a obsaženy jsou v rostlině ve větším množství. Jedná se o prvky: C, H, O, N, P, S, Ca, K, Mg, Fe.

- **Užitečné prvky**

Jsou ve větším množství obsaženy v rostlinách, ale nejsou pro všechny rostliny nepostradatelné. Jedná se o prvky: Cl, Na, Si, Al.

- **Stopové prvky**

V rostlinách jsou obsaženy jen ve stopovém množství. Celkem je těchto prvků kolem 35. Jedná se například o: Mo, Cu, Au, F, Ti, aj.

S ohledem na provoz LAVIII bude dále zaměřena pozornost na prvky obsažené ve **vyráběných** produktech. Jedná se tedy o N, Ca, Mg a S.

- **Dusík (N)**

Z dusíku si rostliny vyrábějí aminokyseliny, z kterých dále vznikají jednoduché proteiny a složené proteidy, tvořící podstatnou část živé buňky. Dusík je dále součástí nukleinových kyselin, vytvářejících s bílkovinami nukleoproteidy (mají velký význam při stavbě buňčného jádra). Dusík obsažený v atmosféře nemá pro vyšší zelené rostliny (kromě bobovitých) žádný význam, protože veškerý dusík rostlina přijímá ze země v podobě nitrátového, amonného či amidového iontu. [3]

- **Vápník (Ca)**

Nachází se ve všech rostlinách a všech jejich částech. Při jeho nedostatku kořeny chřadnou, až odumřou. Za přítomnosti vápníku vydrží rostlina větší kyselost půdy. Vápník se dá využít jak pro výživu rostliny, tak pro chemickou a fyzikální úpravu vlastností půdy. Vápník udržuje půdu v „drobtovém“ stavu a vytváří tak podmínky pro přívod kyslíku a práci mikroorganismů. [3]

- **Hořčík (Mg)**

Je součástí chlorofylu. [3]

- **Síra (S)**

Síra je nezbytný biogenní prvek, důležitý pro růst rostlin. Je obsažena jen v některých aminokyselinách (cystin, metionin apod.). [3]

2.2 Rozdělení hnojiv

Rozdělení hnojiv bude provedeno podle normy ČSN 65 4802, která je od 1. 8. 2000 neplatná, její výklad dělení hnojiv je však přehledný a srozumitelný. Hnojiva se zde dělí dle účinnosti a původu.

2.2.1 Dělení hnojiv dle účinnosti:

- **Přímá hnojiva**

Dodávají do půdy i přímo rostlinám některou z rostlinných živin nebo i organickou či jinou hnojivou hmotu. [3]

- **Nepřímá hnojiva**

Zlepšují fyzikální a chemické vlastnosti půdy, růstové podmínky rostlin a mohou i doplňovat některé živiny do půdy. [3]

2.2.2 Dělení hnojiv dle původu:

- **Statková hnojiva**

Získávají se přímo v zemědělském podniku nebo farmě. Jedná se například o močůvku, kejdu, hnůj, kompost apod. [3]

- **Průmyslová hnojiva**

Jsou to výrobky chemického, hutního, stavebního a báňského průmyslu, které jsou vyráběny mimo zemědělské podniky. [3]

Průmyslová hnojiva se dále rozdělují na tři skupiny:

- Jednoduchá průmyslová hnojiva

Je v nich obsažena jedna základní živina, a proto se dělí dále na dusíkaté, vápenaté, hořečnaté, draselné a fosforečné.

- Složená průmyslová hnojiva

Dělí se podle složení:

Dvojitá (obsahují dvě základní živiny: NP, NK, PK).

Plná (obsahují tři základní živiny: NPK).

Dále jsou rozdělovány dle způsobu výroby:

Směsná, kde mechanickým mísením je upraven poměr jednotlivých živin za sucha nebo za mokra. Výsledkem tak mohou být jak dvojitá tak i plná hnojiva.

Kombinovaná, kde upravenými chemickými procesy (případně i přimísením některého jednoduchého hnojiva) vzniká plné hnojivo.

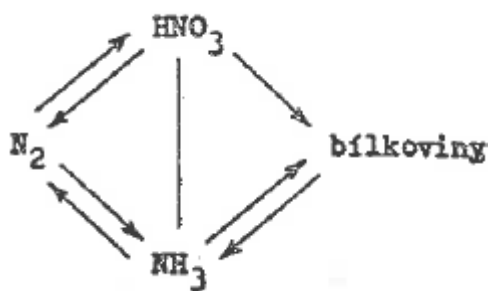
- Průmyslová hnojiva se stopovými prvky

Kromě hlavních živin obsahuje ještě známé množství některých stopových prvků. Dělení a názvy hnojiv pak vznikají podle zvoleného stopového prvku (prvků).

2.3 Jednoduchá dusíkatá hnojiva

Všechny produkty řešené optimalizace provozu LAVIII spadají do kategorie jednoduchých dusíkatých hnojiv.

Dusík je považován za nejdůležitější živinu. Je to dáno jeho minimálním obsahem v půdě ve formě, kterou mohou rostliny použít jako živinu. Schéma koloběhu dusíku v přírodě je názorně vidět na *obr. 1*.



Obr. 1 Koloběh dusíku v přírodě [3]

K dusíku se dá dále přistupovat podle rychlosti působení.

- **Nejrychleji působící dusíkaté hnojivo**

Hnojivo obsahuje dusík v nitrátové formě. Anion NO_3^- se neváže sorpčně v půdním komplexu a je obsažen proto v půdním roztoku. Z toho důvodu je rostlinami rychle přijímán. [3]

- **Pomaleji působící dusíkaté hnojivo**

Hnojivo obsahuje dusík ve formě NH_4^+ a ten působí pomaleji než nitrátový dusík. Amonný iont na rozdíl od nitrátového je absorbován půdním sorpčním komplexem a netvoří půdní roztok. Pro vytěsnění z půdního sorpčního komplexu je potřeba jiné volné zásady (např. vápník). Další zpomalení působení hnojiva zapříčiňují některé mikroorganismy, které přijímají nejraději dusík v amoniakální formě, a ten je ukládán do jejich těl. Uvolnění do půdy nastává až po jejich odumření a rozkladu. [3]

2.4 Vlastnosti NH_4NO_3

Zde bude uvedeno několik zásadních fyzikálně-chemických a mechanických vlastností, důležitých pro vypracování DP. Zbylé budou obsaženy v *příloze 1*. (literatura [5], [6]).

- **Krystalové modifikace NH_4NO_3**

Dusičnan amonný (ledek amonný) je krystalická látka bílé barvy. Existuje v pěti krystalových modifikacích. Krystalové modifikace a intervaly existence uvádí *tab. 1*.

Z tabulky vyplývá, že při změně krystalové modifikace dochází i ke změně objemu.

Tab. 1. Krystalové modifikace NH_4NO_3 a jejich vlastnosti [3]

| Označení modifikace | | Krystalová soustava | Interval existence [°C] | Hustota [kg/m^3] | Tepelné změny [kJ/kg] |
|---------------------|---|---------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| I. | a | krychlová | 125,2-169 | 1580-1610 | 70,129 |
| II. | b | čtverečná | 84,2-125,2 | 1640-1660 | 51,246 |
| III. | g | b-kosočtverečná | 32,3-84,2 | 1630-1660 | 17,459 |
| IV. | d | a-kosočtverečná | (-16,9)-32,3 | 1720-1740 | 20,892 |
| V. | e | čtverečná | < (-16,9) | 1700 | 6,699 |

Nejdůležitější pro sledovaný provoz v Lovochemii jsou IV. a V. krystalová modifikace. Přeměna mezi těmito modifikacemi nastává při teplotě 32,3°C a doprovázena je změnou hustoty (tedy i objemu) a změnou barvy.

- **Hustota**

Hustota závisí na krystalové modifikaci, kde změna je iniciována změnou teploty mimo daný interval existence krystalové modifikace. Závislost je vidět v *tab. 1*.

- **Silná hygroskopičnost**

Pokud hygroskopický bod NH_4NO_3 při dané teplotě bude nižší, než je relativní vlhkost vzduchu v blízkém okolí, bude NH_4NO_3 navlhkat. Vztah mezi teplotou a hygroskopičností NH_4NO_3 je uveden v *tab. 2*. [3]

Tab. 2. Hygroskopičnost dusičnanu amonného [3]

| NH_4NO_3 | | | | | | | |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Teplota [°C] | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 |
| Hygroskopický bod [%] | 75,3 | 69,8 | 66,9 | 62,7 | 59,4 | 52,5 | 48,4 |

- **Rozpustnost**

NH_4NO_3 je rozpustný ve vodě i v alkoholu. Rozpustnost je závislá na teplotě a u alkoholu i na jeho koncentraci. V *příloze 1* je uvedena rozpustnost ve vodě a v alkoholu.

- **Spékavost a sypkost**

Mezi spékavostí a sypkostí je přímá závislost. Silná hygroskopičnost, dobrá rozpustnost ve vodě, velká závislost na teplotě spojená se změnou hustoty, způsobují silný sklon ke spékání NH_4NO_3 . Spékavost odstranit nelze, ale dá se do jisté míry omezit. Nejúčinnějšími prostředky jsou granulace, snížení vlhkosti v NH_4NO_3 pod 1% a před uskladněním ochlazení na teplotu nižší než je přechod mezi krystalovou modifikací IV. a V. (tedy pod 32,3°C). Další možností je přidání některých látek (např. křemeliny, kaolinu apod.) před krystalizací či pudrování granulí nebo jejich potažení hydrofobními látkami. U pudrování a potahování hydrofobními látkami je důležité vědět, že tyto postupy nemají trvalý účinek (migrace do jádra hnojiva či neschopnost pohlcovat další vlhkost). Dalším faktorem, který ovlivňuje spékavost je správné uskladnění a použití hermetických obalů. [3]

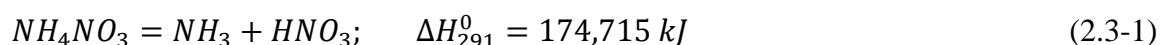
- **Výbušný rozklad**

NH_4NO_3 je málo citlivý k tření, jiskrám a úderům. Za určitých okolností ale může vybuchnout a v minulosti toho bylo využíváno pro výrobu výbušnin.

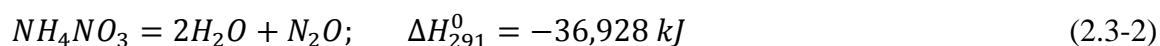
Směsi NH_4NO_3 s práškovým hliníkem a nitrosloucheninami (nitroglycerin, odpady z výroby trinitrotoluenu, nitrocelulóza) byly používány jako „bezpečnostní“ trhavina.

K výbuchu může docházet i samovolným rozkladem. Studie zabývající se výbuchy NH_4NO_3 v minulosti prokázaly, že průběh tepelného rozkladu NH_4NO_3 závisí na teplotě, fyzikálním stavu (sypký nebo spečený produkt) a i na způsobu uložení (volně nebo v uzavřeném prostoru). Průběh tepelného rozkladu NH_4NO_3 je názorně vidět na níže uvedených vztazích. [3]

1) Endotermní rozklad na NH_3 a HNO_3 při teplotě vyšší než 150°C .

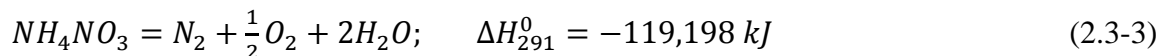


2) Exotermní rozklad na $2\text{H}_2\text{O}$ a N_2O při ohřevu nad 185°C



3) Explosivní rozklad

Nad teplotou 235°C je průběh rozkladu autokatalytický a může vést až k výbuchu. Rychlým ohřevem nad $400\text{-}500^\circ\text{C}$ dojde k explosivnímu rozkladu dle níže uvedeného vztahu:



Explosivnost NH_4NO_3 výrazně zvyšují lehko se oksydující látky (organické sloučeniny nebo kovy v práškovém stavu) a anorganické kyseliny. Explosivní termický rozklad zapříčiňují produkty rozkladu, které se chovají katalyticky.

Pro snížení nebo zamezení nebezpečí výbuchu se používá:

- Zvýšení obsahu vody (NH_4NO_3 s obsahem vody $> 3\%$ nemůže vybuchnout ani za pomoci detonátoru.)
- Přidání látek, které rozkládají produkty rozkladu NH_4NO_3

Pro tyto účely bývá využívána močovina. Při ohřevu uvolňuje amoniak a neutralizuje tím kyselinu dusičnou nebo rozkládá oxidy dusíku (vznikají při rozkladu NH_4NO_3). [3]

Pro potlačení rozkladu NH_4NO_3 snížením koncentrace dusíku pod 34% se využívá přidání uhličitanů (uhličitan vápenatý (vápenec) a hořečnatý (dolomit) nebo síranu amonného. [3]

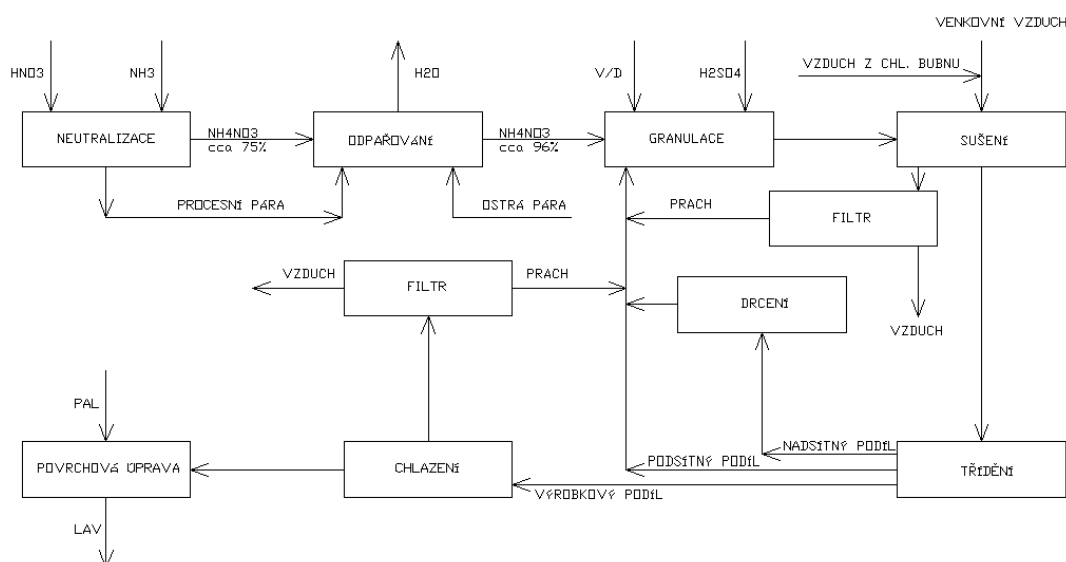
V České republice se pro zemědělské účely čistý NH_4NO_3 nepoužívá (požíván je, ale pouze oblastně a ne plošně). **Jedním z hlavních hnojiv je směs NH_4NO_3 s vápencem (LAV) nebo dolomitem (LAD)** či se síranem amonným (LAS).

- **Chemická agrese**

Přímo souvisí se silnou hygroskopičností NH_4NO_3 . Hlavním projevem chemické agrese je silná korozivnost. Mezikrystalická korose, která rychle postupuje do hloubky, se projevuje hlavně u uhlíkatých ocelí, aniž by vykazovala makroskopické změny. Dochází tak k rychlé ztrátě mechanických vlastností (aparatury pro výrobu NH_4NO_3 se proto často dělají z chrom-niklových ocelí).

2.5 Výroba NH_4NO_3 s uhličitánem vápenatým (CaCO_3)/uhličitánem hořečnatým (MgCO_3)

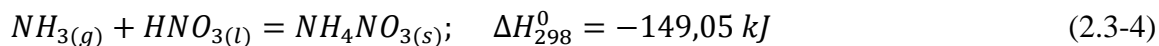
Proces výroby NH_4NO_3 s uhličitánem vápenatým (vápencem)/uhličitánem hořečnatým (dolomitem) může být rozdělen na neutralizaci kyseliny dusičné amoniakem, odpaření roztoku NH_4NO_3 na taveninu, míšení taveniny NH_4NO_3 s příměsí, převedení taveniny na tuhou fázi, sušení, ochlazování a povrchová úprava granulí. Balení a skladování s ohledem na provoz LAVIII nebude zahrnuto v této diplomové práci. Blokové schéma výroby je možné vidět na obr. 2.



Obr. 2 Blokové schéma výroby LAV III

- **Neutralizace**

Výroba dusičnanu amonného je založena na neutralizaci kyseliny dusičné (HNO_3) čpavkem (NH_3). Do neutralizátoru vstupuje plynný čpavek (o požadovaném tlaku a teplotě) a kapalná kyselina dusičná (o dané koncentraci). Neutralizace probíhá dle vztahu:

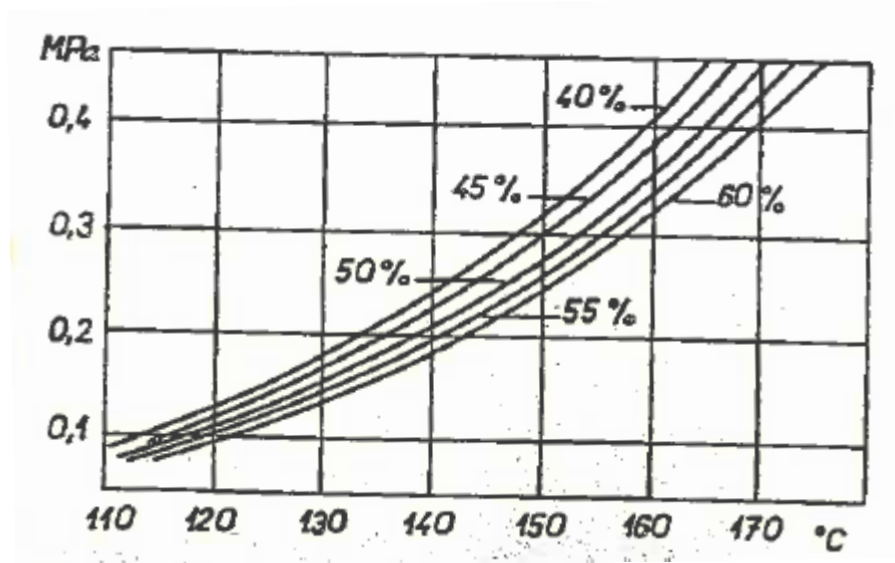


Reaktantem jsou vhodné roztoky kyseliny dusičné ($\text{HNO}_3(l)$ o koncentraci 45-60%) a plynný čpavek. Produktem je dusičnan amonný, který se musí odvodnit. [3]

Uvolněné teplo lze spočítat z reakčního tepla a změny entalpie při zředování HNO_3 a rozpouštění NH_4NO_3 . I přesto, že reakční teplo má v bilanci kladné znaménko a zředování a rozpouštění záporné, je neutralizační reakce jako celek silně exotermická. Pro minimalizaci rozkladu NH_4NO_3 se neutralizace provozuje za mírného přebytku čpavku a pH cca 5. Dociluje se toho poměrovým řízením průtoků čpavku (korekce přes tlak a teplotu) a kyseliny dusičné (korekce přes koncentraci). [3]

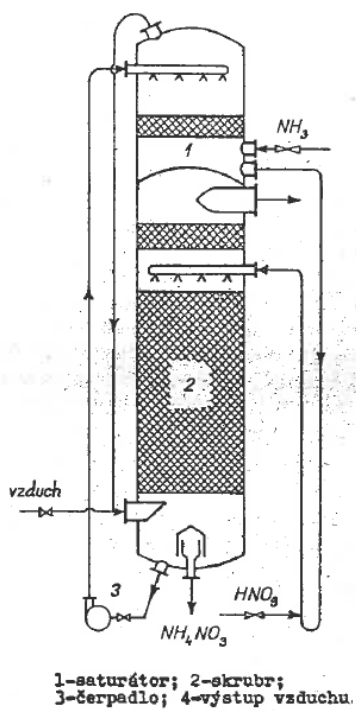
Reakční teplo vzniklé při neutralizaci může zabezpečit výrobu téměř bezvodého NH_4NO_3 . Využití reakčního tepla je ale omezeno. Při odpařování stoupá bod varu roztoku NH_4NO_3 a může se dostat nad bod varu použité kyseliny dusičné. Pokud tato situace nastane, bude docházet k destilaci kyseliny dusičné a ztrátám vzniklým s únikem s brýdovými parami. Další ztráty kyseliny dusičné budou způsobeny jejím termickým rozkladem. [3]

Pro zabránění nadměrných ztrát na dusíku musí být v neutralizační zóně udržována teplota, která je nižší než bod varu kyseliny dusičné. Dosahuje se toho vhodnými volbami technologie a konstrukce neutralizátoru. Například oddělením neutralizační zóny od výparné se zajištěním dobré cirkulace a zvýšením pracovního tlaku v neutralizátoru, kdy se posunou body varů roztoků kyseliny dusičné na vyšší teploty. Závislost bodu varu kyseliny dusičné na tlaku je na obr. 3. Dále pro snížení ztrát dusíku únikem v brýdových parách bývá využíváno vytvoření alkalického prostředí a použití demisteru (například odlučovací tkanina z nerezové oceli). [3]

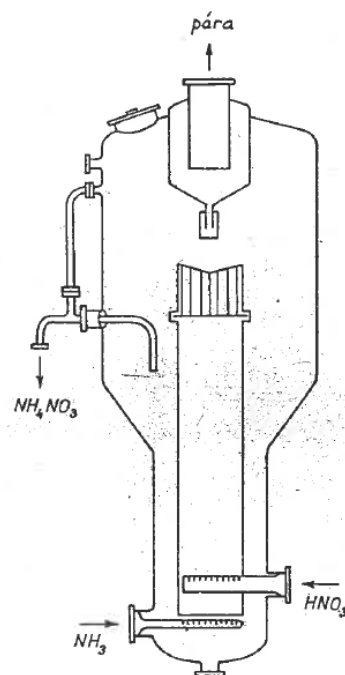


Obr. 3 Závislost bodu varu kyseliny dusičné na tlaku [3]

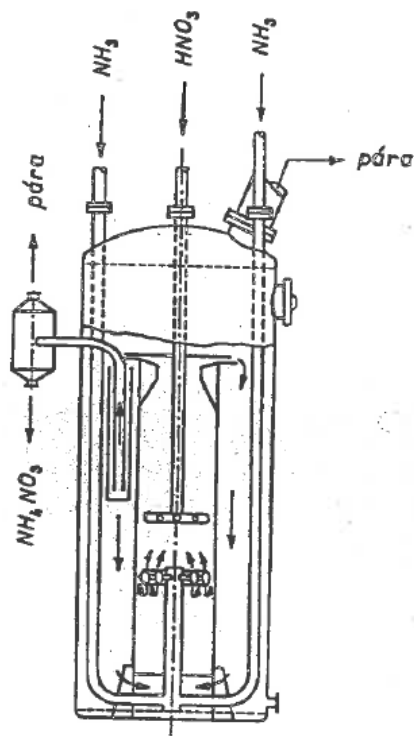
Schéma některých neutralizátorů jsou uvedena na obr. 4. – 6.



Obr. 4 Neutralizátor podle Hoblera [3]



Obr. 5 Neutralizátoru s přirozenou cirkulací [3]



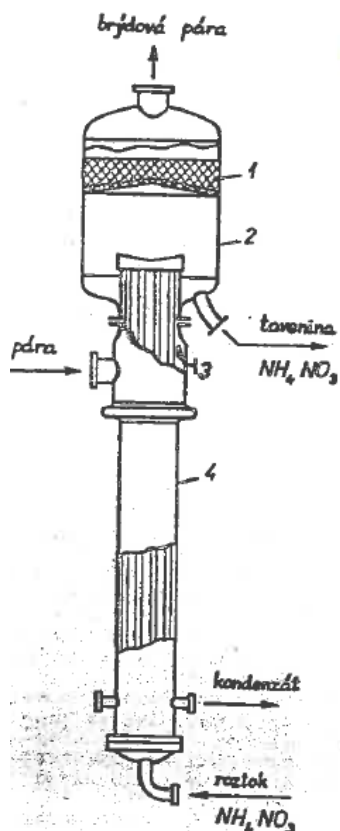
Obr. 6 Neutralizátor ITN [3]

- **Odpaření roztoku NH_4NO_3**

Koncentrace na výstupu z neutralizátoru bývá v rozsahu 60-84% NH_4NO_3 . Před převedením na tuhý produkt je třeba dosáhnout koncentrace 94,5-99,5% (dáno dle způsobu krystalizace). [3]

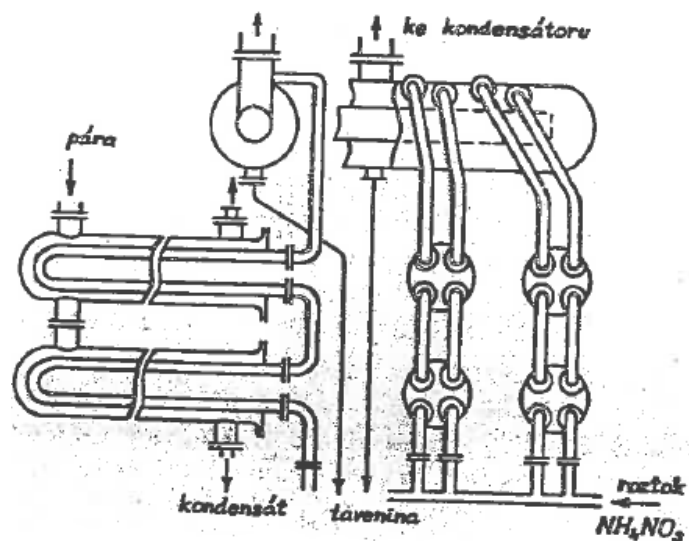
Provádí-li se zahušťování ve vícečlenných odparkách, mohou být první členy tlakové (to je dáno v závislosti na bodu varu zahušťovaných roztoků). Maximální teplota v odparkách se bude pohybovat kolem 170-180°C. Při teplotách nad 185°C může docházet k exotermickému rozkladu NH_4NO_3 . Pro omezení rozkladu NH_4NO_3 při odpařování bývá doporučováno přidávat k výchozímu roztoku malé množství močoviny (0,1-0,3% na váhu NH_4NO_3). [3]

Některé příklady odparek jsou na obr. 7. - 8.



Obr. 7 Vertikální odparka [3]

- 1. lapač kapek; 2. separátor
- 3. odvzdušňovač; 4. trubkový výměník

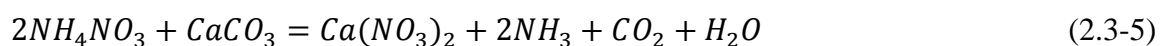


Obr. 8 Horizontální odparka [3]

- **Mísení taveniny NH_4NO_3 a příměsí**

Pro mísení se používají mísiče. S koncentrovanou taveninou se zde míchají příměsí (uhličitan vápenatý/uhličitan hořečnatý) a „recykl“ (recyklovaný odpad/prachové částice apod. z následujících procesů výroby hnojiva). [3]

Mísiče musí být vyhřívány na teplotu větší než 150°C , aby nemohlo dojít k ztuhnutí taveniny. Dále v případě mísení dusičnanu amonného s vápencem dochází k reakci taveniny s vápencem dle vztahu:



Vzniká tak dusičnan vápenatý $Ca(NO_3)_2$, který rychle a snadno váže vzdušnou vlhkost, která ovlivňuje rozpadání granulí hnojiva. Dále dochází ke ztrátám na dusíku. Pro řešení těchto problémů se využívá [3]:

- odvod plynů z mísiče do neutralizátoru, kde se zachytí čpavek
- přidání inhibitoru (většinou rozpustné látky v tavenině NH_4NO_3 , obsahující síranový iont), který zabraňuje rozkladu hotového produktu mísiče a tedy i vznik dusičnanu vápenatého)

Příkladem může být provoz LAVIII v Lovochemii, kde se přidává kyselina sírová (H_2SO_4), která odebírá vápenaté ionty a váže je ve formě síranu vápenatého ($CaSO_4$ - sádra), která je z hlediska vázání vzdušné vlhkosti neškodná. Dojde tím navíc ke snížení ztráty na vázaném dusíku až o 85%.

• **Převedení taveniny na tuhý produkt**

Pro převod taveniny NH_4NO_3 na tuhý produkt se využívá:

- krystalizátorů s vnitřním chlazením
- granulátorů (bubnových, žlabových apod.)
- stříkáním taveniny ve věži

Touto fází výroby bývají značně ovlivněny některé důležité fyzikální vlastnosti produktu (spékavost produktu, sypaná hmotnost, pohlcování vlhkosti, pevnost produktu v tlaku).

S ohledem na provoz LAVIII bude popsáno převedení taveniny na hrubý produkt ve vřetenovém granulátoru.

Standardní granule produktu projde cyklem granulačních procesů několikrát. Zde se smíchávají mleté příměsi s taveninou. V ideálním případě se částice NH_4NO_3 obaluje tenkou vrstvou taveniny a postupně roste její objem při každém průchodu granulačního cyklu. Po dosažení požadované velikosti opustí granulační smyčku. Tento proces je značně složitý. Při velkém průtoku taveniny vznikají velmi malé granule, a tok materiálu granulačním **cyklem** se navyšuje. Při malém průtoku vznikají velké kusy, které musí být rozemlety a vráceny do granulace. Pokud bude koncentrace taveniny příliš velká, tvorba granulí bude probíhat velmi rychle, a ty pak budou mít tendenci se rozpadat. Obráceně, při malé koncentraci bude z granulátoru odcházet produkt v podobě husté emulze a budou zalepovány následující aparáty v procesu výroby. Další velký význam má teplota a zrnitost vstupujícího materiálu. [2] [3]

- **Sušení, třídění, ochlazování a povrchová úprava**

- Sušení

Využívá se pro dosažení požadované vlhkosti. V potaz musí být brána silná hygroskopičnost sušeného materiálu. Proto k odparu vody bude docházet pouze tehdy, bude-li hygroskopický bod sušeného materiálu vyšší než relativní vlhkost sušícího vzduchu. Dosáhnout tohoto lze buď ohřátím vzduchu (horké sušení) nebo snížením jeho vlhkosti (studené sušení). [3]

Na provozu LAVIII se využívá velkých sušících bubnů, kterými prochází hmota z granulátorů a předeřtý vzduch, kterým se snižuje vlhkost materiálu. Zároveň zde dochází k ohlazení hran.

- Třídění

Výstup ze sušícího bubnu je zde tříděn převážně na síťových třidičích. Materiál je dělen na nadsítný, výrobní a podsítný podíl. Nadsítný materiál je rozemlet a je jednou ze složek „recyklu“. Podsítný materiál tvoří další složkou „recyklu“. Výrobní podíl je materiál, který splňuje požadavky na rozměr hnojiva (udávaný průměrem granule). [3]

- Ochlazování

Z *tab. 1.* vyplývá existence NH_4NO_3 v několika krystalových modifikacích v závislosti na teplotě. Z důvodu skladování (především zabránění spékání vlivem změny krystalové modifikace) se výrobní materiál chladí pod teplotu $32,3^\circ\text{C}$, aby se dosáhlo IV. krystalové modifikace, kde interval existence této modifikace daný teplotou se shoduje se standardními skladovacími podmínkami. Používá se obdobný buben jako při sušení. [3]

- Povrchová úprava

Používána bývá pro ochranu před navlháním, prašností a pro zabránění navlhání hnojiva. Povrch granulí hnojiva bývá pokryt tenkou vrstvou oleje s povrchově aktivní látkou (PAL). [3]

2.6 Závěr kapitoly

Tato kapitola diplomové práce se zabývá vysvětlením důležitosti hnojiv a jejich základním rozdělením. Dále se zaměřuje na základní vlastnosti NH_4NO_3 a na výrobu NH_4NO_3 s příměsí uhličitanu vápenatého a uhličitanu hořečnatého (jedná se o hlavní produkty provozu LAVIII, kterým se zabývá téma této diplomové práce).

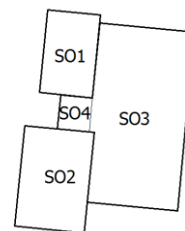
3. POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU

Cílem této kapitoly bude rozbor problému s filtrací provozního a technologického vzduchu na provozu suché strany LAVIII. Dále stanovení řešení daného problému.

3.1 Dispoziční schéma budovy provozu LAVIII

Budova provozu se skládá ze 4 celků. Schéma budovy provozu je na *obr. 8*.

- SO1 (stavební objekt) – velín LAVIII
- SO2 – Mokrý strana LAVIII
- SO3 – Suchá strana LAVIII
- SO4 – Výtah a schodišťová věž



Obr. 8 Schéma budovy provozu LAVIII

SO1 slouží k řízení a monitorování celého provozu.

SO2 je část technologie, kde se vyrábí dusičnan amonný. Do této části spadá vše od neutralizace až po zahuštění roztoku dusičnanu amonného na taveninu (viz *kap. 2.5*).

SO3 slouží k výrobě dusičnanu amonného s vápencem/dolomitem. Tedy se to týká technologie od granulace až po hotový produkt (viz *kap. 2.5*).

SO4 slouží k dopravě po budově.

3.2 Specifikace problému na provozu LAVIII

Dle zadání společnosti Lovochemie se řeší optimalizace na suché straně provozu (dále už jen SS), kde častými odstávkami kvůli údržbě hadicových tkaninových filtrů (dále už jen filtry) vznikají rozsáhlé náklady spojené s údržbou a ztrátami na produktu.

Odstávky provozu jsou způsobeny zanesením filtračních ploch filtrů. S postupným zvětšováním zanesení filtračních ploch (zvětšování filtračního koláče) se zvyšuje tlaková ztráta v soustavě rozvodu technologického a provozního vzduchu, který prochází filtry. Kvůli udržení požadovaného průtoku daného technologií musejí ventilátory zvyšovat v návaznosti na rostoucí tlakovou ztrátu svůj výkon. Ventilátory takto mohou zvyšovat svůj výkon pouze na hranici svých provozních parametrů. Pak se musí celý provoz LAVIII odstavit a provést vyčištění filtrů a další údržba.

3.3 Schéma rozvodu technologického a provozního vzduchu SS

Detailní schéma rozvodu technologického a provozního vzduchu se nachází v příloze 2.

Dle přílohy 2. může být řešený problém rozdělen na dvě části.

- Filtrování sušícího okruhu

Sušící vzduch prochází přes sušící buben, kde odebírá vlhkost z produktu a zároveň při průchodu bubnem s sebou strhává prachové částice.

- Filtrování chladícího okruhu

Chladící vzduch ochlazuje produkt v chladícím bubnu pod teplotu 32,3°C, aby došlo ke změně krystalové modifikace v rámci výroby produktu. Ve skladu by docházelo k jeho spékání (*kap. 2.4 - spékavost*).

3.4 Parametry provozu

- **Produkce**

Produkce provozu LAVIII je zhruba 58 [$\frac{t}{h}$] hnojiva.

- **Produkty**

Jak bylo uvedeno v úvodu *kap. 3*, tak jsou 3 druhy produktů.

- LAV (ledek amonný s uhličitanem vápenatým)
- LAD (ledek amonný s uhličitanem hořečnatým)
- LAS (ledek amonný se síranem vápenatým)

- **Průtok vzduchu přes hadicový tkaninový filtr na sušícím okruhu**

Tento proud vzduchu vysušuje produkt na požadovaný obsah sušiny a zároveň při průchodu sušícím bubnem s sebou strhává prachové částice. Vysoušením produktu zanáší do svého okruhu vlhkost, která přispívá k spékavosti prachu, a to jak na filtrech, filtrační ploše, tak i na dopravní trase.

Ve speciálním případě (např. prodloužení odstávky), bývá snižován průtok vzduchu na úkor vysoušení produktu, pro snížení tlakové ztráty na filtrech. Snížení průtoku jde maximálně

na takovou hranici, aby byla zachována podnikovým předpisem nejhorší povolená vlhkost dle specifikací daného produktu.

- Průtok vzduchu: $45\,000 \frac{Nm^3}{h}$ [11]
- Provozní teploty: 80-120°C [12]
- Průměrná koncentrace znečištění: 11-14 $\frac{g}{m^3}$ (viz. *kap.5*)

- **Průtok vzduchu přes hadicový tkaninový filtr na chladícím okruhu**

Tento proud vzduchu má dvě funkce. Hlavním účelem je schladit produkt pod teplotu změny krystalové modifikace 32,3°C (vysvětluje *kap. 2.4* – spékavost). Sekundárním úkolem je ochlazování provozu v letních měsících. Díky výše uvedeným faktům se průměrný průtok vzduchu pohybuje ve velkém rozsahu. Navíc musí být stanoven odhadem (tento údaj se na provozu LAVIII neměří), protože mezi výstupem vyčištěného chladícího vzduchu z filtru je před a za ventilátorem propojení („bypass“), které nelze za chodu uzavřít a regulace tohoto průtoku probíhá na základě optimalizování výroby pro nejlepší produkci automatickou a manuální klapkou.

Využívání tohoto proudu pro ochlazení provozu je značně znevýhodněno zvyšováním vlhkosti v proudu. To má za následek zvýšení spékání prachu na dopravní trase, filtrech a filtračních plochách.

- Průtok vzduchu: 30 000 – 55 000 $\frac{Nm^3}{h}$ [11]
- Provozní teploty: 75-85°C [12]
- Průměrná koncentrace znečištění: 8-14 $\frac{g}{m^3}$ (viz. *kap.5*)

3.5 Ventilátory

V řešené části sušícího a chladícího okruhu se využívá dvou radiálních ventilátorů (*obr. 9*),



Obr. 9 Radiální ventilátory řešeného sušícího (vpravo) a chladícího (vlevo) okruhu které mají stejné parametry.

- Ventilátory
 - Maximální výkon $91\,500 \frac{Nm^3}{h}$ [12]
 - Otáčky 1190 min^{-1} [12]
 - Maximální pokrytí tlakové ztráty do 2,5 kPa [13]
- Motor ventilátorů
 - Maximální výkon 132 kW [13]
 - Maximální otáčky 1480 min^{-1} [12]

3.6 Hadicové tkaninové filtry

Na provozu SS LAVIII jsou dva hadicové tkaninové filtry. Jeden slouží pro filtrování vzduchu sušícího okruhu a druhý pro filtrování vzduchu chladícího okruhu.

- **Rozdělení uspořádání komor filtrů**

Filtrační komora obou hadicových tkaninových filtrů je rozdělena na dvě části, a to část **A a B**.

- Filtrační komora chladícího okruhu: 10 sekcí po 45 hadicích uspořádaných do dvou komor A a B po 5 sekcích. Celkem 450 hadic.
- Filtrační komora sušícího okruhu: 12 sekcí po 60 hadicích uspořádaných do dvou komor A a B po 6 sekcích. Celkem 720 hadic.

- **Popis „filtračního uzlu“**

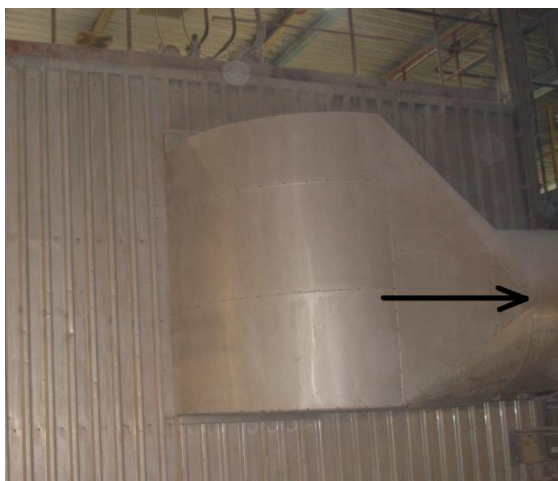
Oba dva filtry mají pouze jeden vstup znečištěného proudu vzduchu a jeden výstup čistého vzduchu. Vstupy a výstupy jsou vidět na *obr. 10, 11, 12 a 13* se znázorněným směrem proudění.



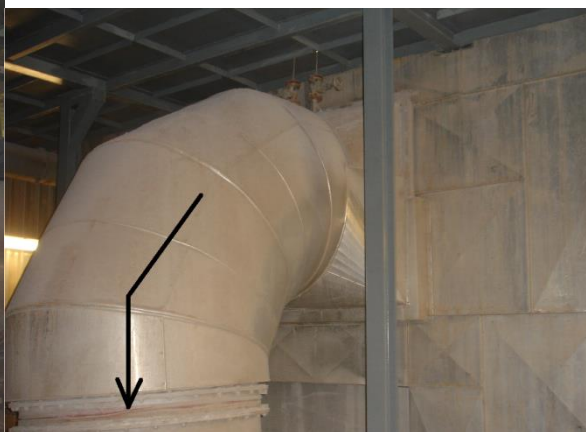
Obr. 10 Vstup znečištění do filtru sušícího okruhu



Obr. 11 Vstup znečištění do filtru chladícího okruhu

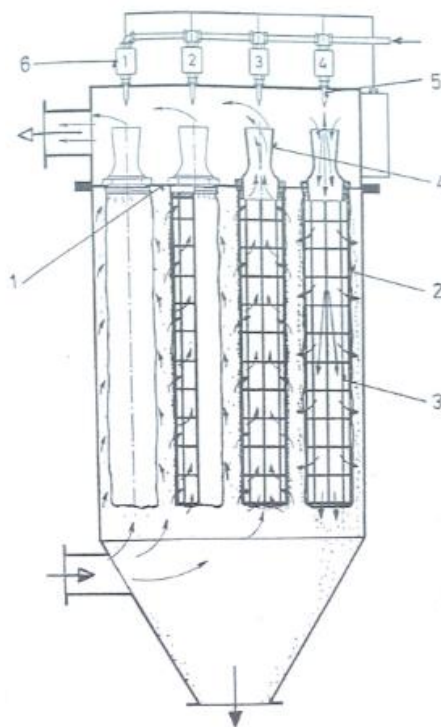


Obr. 12 Výstup z filtru sušícího okruhu



Obr. 13 Výstup z filtru chladícího okruhu

Po vstupu vzduchu do filtrační komory probíhá filtrace obdobně jako na *obr. 15*.



Obr. 14 Schéma průběhu filtrace

Bod 1 na *obr. 14* ukazuje dělicí rovinu mezi znečištěnou a čistou částí filtru. Na dělicí rovině jsou zavěšeny hadice a filtrace probíhá zvenku dovnitř, kde se prachové částice zachytávají na povrchu tkaniny hadice nebo na již existujícím filtračním koláči, který je na hadici. Dělicí rovina je vidět na *obr. 15*. Hadice je zavěšena v otvoru na dělicí rovině, kde tkanina hadice má v této části kovový kroužek, který zabraňuje propadnutí tkaniny dírou v dělicí rovině (viz *obr. 16*). Aby se zabránilo zborcení hadice, tak je v ní umístěna drátěná vestavba skládající se ze dvou částí, které jsou k sobě spojeny. Aby drátěná vestavba nevisela na tkanině a zbytně ji nedeformovala

či nenamáhala, je vrchní část drátěné vestavby zachycena v dýzovém nástavci, který je opřený o kroužek v tkanině hadice a je přichycen k dělicí rovině. Na *obr. 14* je hadice pod označením 2, drátěná vestavba 3, dýzový nástavec 4. Reálné provedení hadice je vidět na *obr. 17*, drátěné vestavby na *obr. 18* a dýzového nástavce na *obr. 19*.



Obr. 15 Dělicí rovina



Obr. 16 Kroužek v tkanině



Obr. 17 Hadice



Obr. 18 Drátěná vestavba



Obr. 19 Dýzový nástavec (Venturiho dýza)

Sestavení celku (hadice, drátěná vestavba, dýza) je pak na *obr. 20*.



Obr. 20 Sestavení hadice, drátěné vestavby a dýzového nástavce

Vyčištěný plyn protéká dýzovými nástavci do sběrné komory a přes ni výstupním otvorem ven. Regenerace tkaniny probíhá pomocí dýz, umístěných naproti ústí každé hadice. V krátkých časových intervalech (řádů desetin sekundy) se přes solenoidový ventil (*obr. 14* pod položkou 5 nebo v reálném provedení na *obr. 21*) přivede tlakový vzduch o tlaku kolem 0,6 MPa. Krátké otevření solenoidového ventilu vypustí tlakový impuls, který při vhodně zvoleném tvaru dýzového nástavce vyvolá přisávání vyčištěného vzduchu z okolí. Náhlou změnou průtoku se vyvolá mohutný tlakový impuls, který se přenáší po celé délce hadice. To vyvolává intenzivní regeneraci. Tento způsob regenerace se nazývá pulsní regenerace. Její výhodou je, že probíhá za provozu a není nutná odstávka filtrů. Dá se regenerovat po menších celcích, řadách atp. Rozvod tlakové vzduchu pro regeneraci je vidět na *obr. 22*.



Obr. 21 Solenoidový ventil

Prachové částice po regeneraci padají na dno filtru, kde se nachází sběrný šnek (obr. 23), a ten je dopravuje k turniketu (obr. 24 - vlevo). Protože jsou prachové částice silně lepivé, musejí mít boky filtru tlakový ofuk (obr. 25 - vpravo).



Obr. 22 Rozvod tlakové vzduchu pro regeneraci na střeše filtru



Obr. 23 Sběrný šnek



Obr. 24 Turniket (vlevo) a rozvod tlakového vzduchu na profuk boků dna (vpravo a dole)

- **Problémy s filtrací na provozu LAV III**

Kvůli vlastnostem popsaným v *kap. 2.4* a zanášením vlhkostí do filtrů (popis v *kap.3.4*), dochází k silnému zalepování filtračních hadic a ve výsledku i filtrů (*obr. 25*).

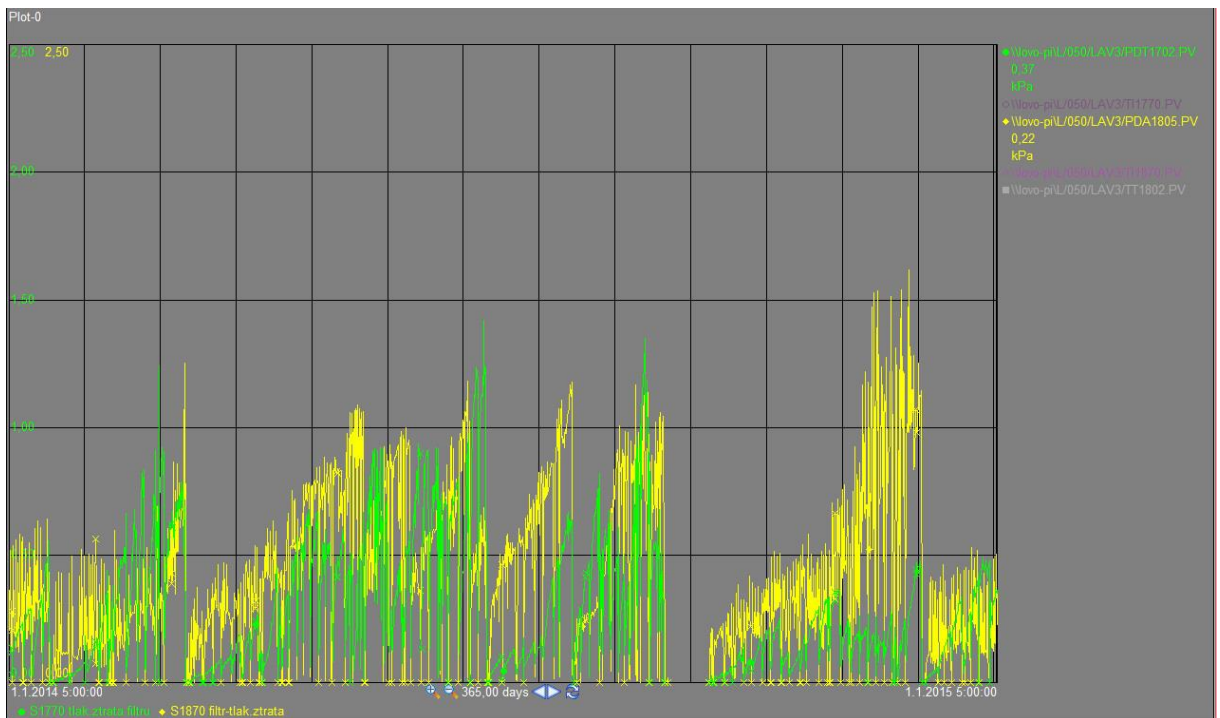


Obr. 25 Zalepené filtrační hadice

To vede k nárůstu tlakové ztráty a nutné odstávce kvůli údržbě.

- **Průběh tlakové ztráty**

Průběh tlakové ztráty v rámci jednoho roku je vidět na *obr. 26*. V *příloze 3* jsou pak rozepsány jednotlivé úseky s dalšími trendy tlakových ztrát na filtrech. Z trendů tlakových ztrát lze vyčíst, že průběh zvyšování tlakových ztrát je ze začátku lineární, ale v jistém okamžiku se průběh zalomí a tlaková ztráta začne prudce stoupat. To vypovídá o tom, že filtry již nejsou schopny efektivní regenerace filtrační plochy a jsou zalepeny.



Obr. 26 Trend tlakových ztrát za rok 2014

3.7 Stanovení vhodného řešení pro minimalizaci zářezek

Tento problém může být rozdělen na dvě roviny, a to údržbu a optimalizaci provozu filtrů.

3.7.1 Údržba

- Deformování opěrných klecí

Při údržbě dochází k deformování opěrných klecí hadic *obr.27*.



Obr. 27 Zdeformovaná opěrná klec

Pokud je zasazena do filtrační hadice zdeformovaná opěrná klec, tak většinou dochází k vychýlení z původního směru a k vzájemným kontaktům filtračních hadic. To má za následek snížení filtrační plochy (*obr. 28*).



Obr. 28 Vzájemný kontakt filtračních hadic

- Špatné usazování opěrných klecí

Opěrné klece místo sestavení a spojení s Venturiho dýzou (která drží klec) jsou naházeny do filtrační hadice (v rámci úspory času při montáži). To má za následek přidání nového namáhání tkaniny filtrační hadice, a dále to způsobuje vychýlení z původního směru. Snižuje se tím schopnost regenerace filtrační hadice, protože je celou dobu „předepjatá“ a následný regenerační efekt vyvolaný pulsní regenerací je snížen. Dále toto namáhání vede k poškozování hadic a může dojít až k jejímu protržení. Což má za následek vnesení nečistot na čistou stranu filtru (*obr. 29*).

Částečným řešením tohoto problému by bylo zaměřit se v rámci možností na správnou montáž opěrných košů a opatrnější zacházení s nimi.



Obr. 29 Znečištěná čistá strana filtru prasklou filtrační hadicí

3.7.2 Optimalizace provozu hadicových tkaninových filtrů

Z údajů v *kap. 3.4* vyplývá, že hadicové tkaninové filtry jsou vystaveny velké koncentraci prachových částic v čistěném proudu plynu. Navíc se do sušícího i chladícího okruhu zanáší další vlhkost.

Částečným řešením problému by mohlo být předřazení dalšího odlučovacího stupně, který by nebyl tak náročný na provoz, údržbu, kvalifikovanou obsluhu, měl by malý zastavěný prostor, měl by malou tlakovou ztrátu a zároveň by nebyl tolik náchylný k zalepování. Požadavek na odlučivost tohoto přestupně nemusí být velký, protože k finálnímu dočištění se stále budou využívat stávající filtry.

3.8 Závěr kapitoly

V rámci této kapitoly byl popsán provoz sušícího a chladícího okruhu filtrů. Zároveň se určila problematická místa provozu.

Byla navržena dvě řešení, která by měla pomoci vyřešit problém s filtrací provozního a technologického vzduchu.

- **Správná montáž opěrných košů a šetrné zacházení s nimi**
- **Předřazení nového odlučovacího stupně před filtry**

Byly stanoveny podmínky pro výběr nového odlučovače:

- **Nenáročný provoz, údržba**
- **Nenáročnost na kvalifikovanou údržbu**
- **Malá tlaková ztráta, nenáročný zásah do technologie**
- **Nízká pořizovací cena**
- **Malý zastavěný prostor**

4. ODLUČOVÁNÍ TUHÝCH ČÁSTIC

Z *kap. 3.* vyplývá, že jedním z nejjednodušších způsobů jak optimalizovat provoz hadicových tkaninových filtrů je předřadit odlučovač částic, který zachytí většinu částic.

Tato kapitola se bude zabývat určováním velikosti a tvaru částic, jejich vlastnostmi a odlučovacími principy, důležitými pro správné provedení měření a volbu odlučovače. Dále výběrem vhodného odlučovače a zdůvodněním výběru.

4.1 Charakteristický tvar a rozměr částic

Tvar částic závisí na jejich vzniku. Nejjednodušší pravidelné tvary (koule) vznikají při kondenzaci (např. spalovací procesy, elektrárenský popílek apod.). Pravidelné tvary částic vznikají také krystalizací. Složité tvary vznikají mechanickými operacemi (drcení, mletí apod.). [8]

4.1.1 Rozdělení tvaru částic

Částice se rozdělují na tři základní druhy.

- **izometrické**

Všechny tři rozměry jsou vzájemně srovnatelné.

- **laminární (neizometrické)**

Dva rozměry jsou převládající nad třetím.

- **fibrilární (neizometrické)**

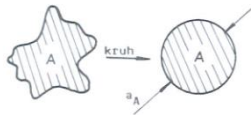
Jeden rozměr dominuje nad zbývajícími dvěma.

4.1.2 Rozdělení směsí částic

- monodisperzní částice

V monodisperzním materiálu jsou všechny částice obdobné velikosti. U částic kulového tvaru se vychází ze vztahů pro kulové částice. U částic nekulového tvaru se vychází také ze vztahů platných pro kulové částice. Jedná se například o:

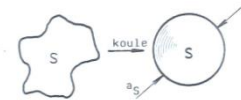
- ekvivalentní velikost částice dle průmětu (*obr.30*)[8]



$$D_A = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (4.1-1)$$

Obr. 30 Ekvivalentní velikost částice dle průměru

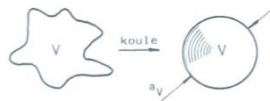
- ekvivalentní velikost částice dle povrchu (*obr.31*) [8]



$$D_S = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (4.1-2)$$

Obr. 31 Ekvivalentní velikost částice dle povrchu

- ekvivalentní velikost částice dle objemu (*obr.32*) [8]



$$D_V = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V}{\pi}} \quad (4.1-3)$$

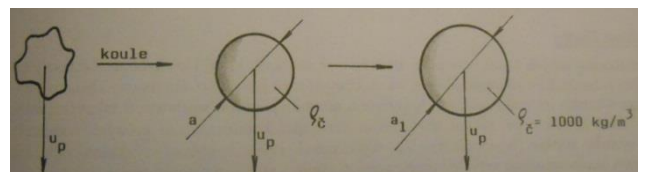
Obr. 32 Ekvivalentní velikost částice dle objemu

- ekvivalentní velikost částice dle objemu a povrchu [8]

$$D_{VS} = \frac{D_V^3}{D_S^2} \quad (4.1-4)$$

- ekvivalentní velikost částice dle pádové rychlosti \underline{a} [8]

Ekvivalentní velikost částice dle pádové rychlosti \underline{a} je taková velikost kulové částice o stejné hustotě částice ρ_c , která v daném prostředí sedimentuje se stejnou pádovou rychlostí u_p jako částice skutečná. Princip je patrný z *obr. 33*.



Obr. 33 Ekvivalentní velikost částice dle pádové rychlosti

Zavede se pro srovnání pohybových

vlastností částic jednotná hustota $\rho_{\check{c}} = 1000 \frac{kg}{m^3}$
 a ekvivalentní velikost částice a_1 . Pak přepočítávací vztah mezi a a a_1 bude

$$a_1 = a \sqrt{\frac{\rho_{\check{c}}}{1000}} \quad (4.1-5)$$

Kde a a a_1 jsou aerodynamické velikosti částice (o pohybu a sedimentaci rozhodují aerodynamické vlastnosti). Hustota částice $\rho_{\check{c}}$ je různá od hustoty materiálu, protože na povrchu částice se mohou vytvářet oxidy nebo částice mohou obsahovat dutiny (např. u popílků). [8]

- **polydisperzní materiály**

Obsahují částice různé velikosti. Je zde nutno uvádět frakční složení směsi (v jakém množství jsou ve směsi zastoupeny částice určitého frakčního rozměru). [7]

4.1.3 Stanovení frakčního rozměru zrna

Pro stanovení frakčních rozměrů zrn se využívá zpravidla:

- **sít'ové analýzy**

Frakční rozměr zrna D_i u sít'ové analýzy se stanovuje tak, že směs proséváme sadou sít' dle obr. 34. Kde $D_{s,i}$ značí rozměr otvoru i -tého síta a m_i hmotnost frakce zachycené na i -tém síti. Frakční rozměr bude pak určen buď z aritmetického průměru

$$D_i = \frac{D_{s,i-1} + D_{s,i}}{2} \quad (4.1-6)$$

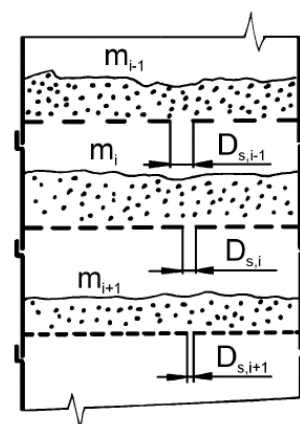
nebo geometrického průměru (pro frakce $\frac{D_{s,i-1}}{D_{s,i}} > \sqrt{2}$). [7]

$$D_i = \sqrt{D_{s,i-1} D_{s,i}} \quad (4.1-7)$$

- **sedimentační analýza**

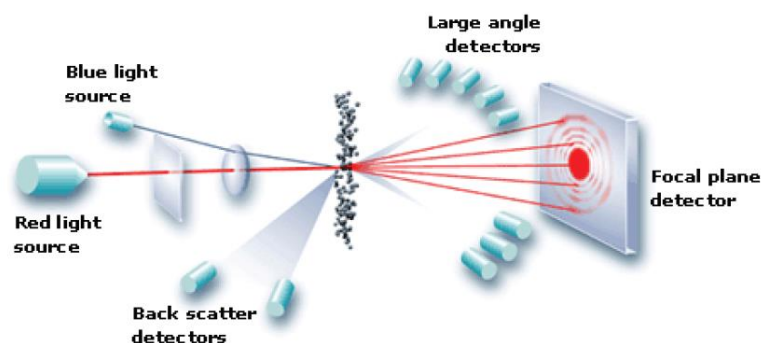
Je založená na principu určení průměru částice z usazovací rychlosti. Blíže nebude tato metoda rozebírána, protože nebyla využita v této diplomové práci.

- **laserová analýza**



Obr. 34 Princip sít'ové analýzy

Jedná se převážně o analyzátory využívající laserové difrakce. Princip laserové difrakce je znázorněn na *obr. 35*.



Obr. 35 Princip laserové difrakce

4.1.4 Stanovení frakčního složení směsi

Frakční složení směsi poskytuje informace o polydisperzním materiálu a charakterizuje se pomocí distribučních funkcí. A to buď

- **diferenciální funkcí $E(D)$ [7]**

Vyjadřuje četnost zastoupení částic ve směsi.

$$E = \frac{dF}{dD} \quad (4.1-8)$$

- **integrální funkcí F [7]**

Vyjadřuje podíl částic o průměru menším než D .

$$F = \int_0^D E dD = \int_{D_{min}}^D E dD \quad (4.1-9)$$

U distribucí je vždy nutno uvést, na čem jsou založeny. Většinou to bývá, buď na počtu (N) nebo na hmotnosti (m).

4.1.5 Popis rozložení (distribuce) částic

Nejčastěji se využívá tři základních popisů rozložení. Matematická závislost bude uvedena pouze u rozložení Rosin, Rammler, Serling, Bennetova, které je využito v DP (kap. 5.). [7]

- **Gaudin-Schummanovo rozložení**
- **Logaritmicko-normální rozložení**
- **Rosin, Rammler, Serling, Bennetovo rozložení (RRSB) [7]**

$$1 - F = \exp \cdot \left[- \left(\frac{D}{\bar{D}} \right)^n \right] \quad (4.1-10)$$

F = frakční složení [%]

D = rozměr částice [μm]

\bar{D} = středí rozměr částic [μm]

n = index polydisperzity [-]

4.2 Vlastnosti částic

Vlastnosti částic je možno rozdělit do čtyř skupin:

- povrchové vlastnosti částic
- elektrické vlastnosti částic
- pohybové vlastnosti částic
- přenosové vlastnosti částic

4.2.1 Povrchové vlastnosti částic

Odlučováním částic může docházet k výrazným projevům jevů, které nastávají při styku částic se stěnou (obtékané těleso, odlučovací plocha, atp.) nebo při styku částic mezi sebou. Při vzájemném styku částic mezi sebou se jedná o kohezi. Při styku částic se stěnou se jedná o adhezi. Adhezní vlastnosti částic jsou pak určujícím faktorem pro lepidlost částic, která může zásadně ovlivnit odlučování tuhých částic. Další významné povrchové vlastnosti částic a faktory

ovlivňující spolehlivost chodu odlučovačů jsou abraze materiálů, smáčivost částic, výbušnost prachů, sypaný úhel, úhel skluzu, úhel vnitřního tření. [8]

- **Měrný povrch částic**

Většina povrchových vlastností částic je závislá na měrném povrchu částic, který je možno vztahovat buď k jednotce hmotnosti, nebo jednotce objemu. Hmotností měrný povrch $S_M \left[\frac{m^2}{kg} \right]$ vyjadřuje celkový povrch částic o hmotnosti 1kg, objemový měrný povrch $S_v \left[\frac{m^2}{m^3} \right]$. [8]

- **Adheze částic a lepivost**

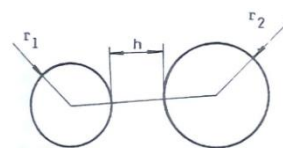
Lepivost není vlastnost materiálu, která se dá jednoznačně fyzikálně definovat. Lepivost prachů je souhrnem jevů, které způsobují ulpívání částic na stěnách odlučovačů a soudržnost shluků částic.

Lepivost vychází z adheze částic, způsobené adhezními silami. Tyto adhezní síly lze rozdělit dle původu na molekulární (Van der Waalsovy síly), kapilární, mechanické a elektrostatické. [8]

- Molekulární adheze [8]

Při vzájemném styku částice a povrchu stěny nebo vzájemném styku částic bývají uplatňovány síly molekulárního původu (Van der Waalsovy). Jedná se o síly elektrostatického charakteru a vyplývající ze stavby atomů a molekul (kladná jádra a záporné elektrony). Teorie molekulární adheze vede pro dvě kulové částice definované dle *obr.36* k přitažlivé síle $F_{DKČ}$.

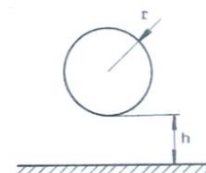
$$F_{DKČ} = \frac{\kappa}{6 \cdot h^n} \cdot \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \quad (4.2-1)$$



Obr. 36 Definice rozměrů

Pro kulovou částici a rovinnou stěnu dle parametrů na *obr. 37* pak k přitažlivé síle $F_{KČW}$.

$$F_{KČW} = \frac{\kappa}{6 \cdot h^n} \cdot r \quad (4.2-2)$$



Obr. 37 Parametry pro kulovou částici a rovinnou stěnu

Kde: r_1, r_2, r, h (průměry molekul a vzdálenost od stěny) [m]

κ = konstanta adheze (má velmi malý rozměr

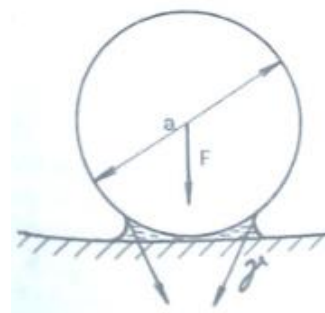
a při dosazení za r_1, r_2, r, h v metrech se $\kappa = 10^{-19}$

n = exponent, který závisí na vzdálenosti h a nabývá hodnot $n \geq 2$.

S rostoucí vzdáleností h , Van der Waalsovy síly velmi rychle klesají (při vzdálenosti h řádově v desetině mikrometru lze již tyto síly zanedbat).

- Kapilární adheze [8]

Ke vzniku kapilární adheze dochází v místě styku dvou částic nebo v místě styku částice se stěnou (obr.38.). Vlivem povrchové vlhkosti dojde při styku obou povrchů k vzájemnému propojení můstkem vody, který má většinou vydutý povrch. Protože je nad takovým tvarem povrchu kapaliny nižší rovnovážný tlak par než nad rovným povrchem kapaliny, dochází zde k další kondenzaci par až do okamžiku, než se tento tlak vyrovná s parciálním tlakem par v okolním plynu. Mezi částicí a rovným povrchem tak vzniká kapilární adhezní síla F_{kap} , která je dána adhezním napětím γ mezi kapalinou a plynem (povrchové napětí), ale i tlakovou silou vyvolanou skutečností, že v průběhu kapilární kondenzace je nad povrchem kapaliny nižší parciální tlak vodní páry a tedy i nižší celkový tlak než v okolí.



Obr. 38 Místo vzniku kapilární adheze

- Elektrostatická adheze [8]

Když je částice nositelem elektrického náboje a prochází prostorem blízko nenabitou vodivé stěny, vytváří se mezi nenabitou stěnou a částicí elektrostatické pole a vzniká tak mezi nimi přitažlivá elektrostatická síla.

- Mechanická adheze [8]

Adheze vzniká i vlivem drsností částic a drsností povrchu stěny. U drsného povrchu může docházet k „zaklínění“ částic a tedy vzniku mechanické adheze (obr. 39).

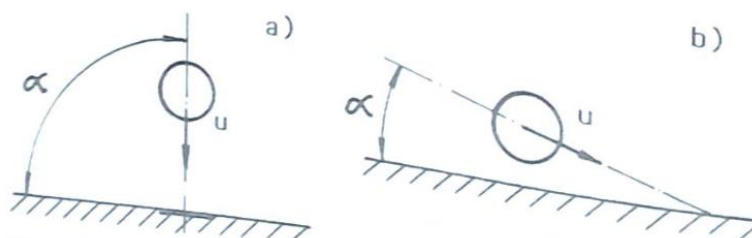


Obr. 39 Princip mechanické adheze

- **Abraze materiálu**

Abraze materiálu způsobuje opotřebení potrubí a stěn odlučovacích zařízení. Zejména působí problémy u vírových odlučovačů a při velké koncentraci i v pneumatické dopravě (hlavně při změně toku proudu).

Abraze je určena dvěma mechanismy otěru, a to rázovým a smykovým otěrem (princip je na *obr.40*). Vyznačuje se to úbytkem materiálu, který přímo závisí na koncentraci částic a době vystavení otěru, vlastnostech materiálu částic a stěn, rychlosti, úhlu dopadu a normálové síle při posunu částice po stěně. [8]



a) Rázový otěr; b) Smykový otěr

Obr. 40 Mechanismy otěru

- Rázový otěr

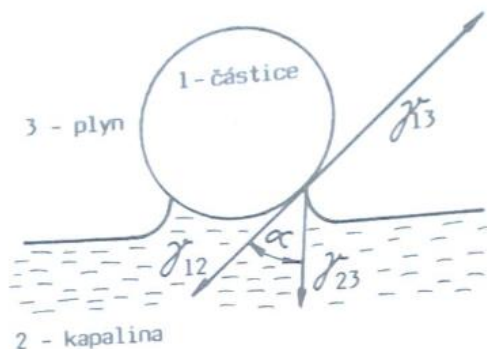
Částice dopadají na materiál skoro v kolmém úhlu a vyvolávají v materiálu podpovrchový lom a postupně tak dochází k vylamování povrchové vrstvy.

- Smykový otěr

Dá se přirovnat k třískovému obrábění.

- **Smáčivost částic**

Smáčivost částic určuje, zda bude částice kapalinou pohlcena či nikoliv. Jedná se o důležitou vlastnost pro správnou funkci mokrých odlučovačů. Smáčivost se posuzuje krajním úhlem α , který závisí na velikosti adhezních napětí na rozhraní dvou fází (*obr.41*). Se zmenšujícím se krajním úhlem se zvyšuje smáčivost částice. [8]



Obr. 41 Adhezní napětí na rozhraní dvou fází

$$\gamma_{12} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \right] = \text{adhezní napětí mezi částicí a plynem}$$

$$\gamma_{13} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \right] = \text{adhezní napětí mezi částicí a kapalinou}$$

$$\gamma_{23} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \right] = \text{adhezní napětí mezi kapalinou a plynem}$$

- **Výbušnost prachů**

Výbušnost silně závisí na měrném povrchu částic. Exploze je schopnost rychle shořet za současného vývinu tlaku. Pro předejití exploze musí být koncentrace prachů mimo dolní a horní mez výbušnosti. Plyn musí obsahovat menší množství kyslíku, než je potřebné minimum. Nesmí být přítomen iniciátor, který by způsobil explozi. [8]

- **Sypný úhel, úhel skluzu, úhel vnitřního tření, sypná hmotnost**

Jedná se o vlastnosti, které se zpravidla týkají zásobníků odloučených prachů či výsypek a dopravníků.

- Sypný úhel

Sypný úhel se dá definovat jako míra stability nestlačené vrstvy částic. Je to povrchová přímka kužele volně nasypaného materiálu se základnou. [8]

- Úhel skluzu

Je to úhel, při kterém se materiál na nakloněné rovině při zvyšování sklonu neudrží v klidu a dojde ke skluzu. Využito to bývá zejména při návrhu výsypek apod. [8]

- Úhel vnitřního tření

Ovlivňuje „klenovitost“ materiálu a dimenzování výpustních otvorů. Stanovuje se na základě znalosti mezní křivky napjatosti, která se definuje jako závislost mezního smykového napětí na působícím normálovém napětí a úhlu vnitřního tření. [8]

$$\tau_m = \tau_0 + tg\mu \cdot \sigma \quad (4.2-3)$$

Kde, τ_m = mezní smykové napětí $\left[\frac{kg}{m \cdot s^2} \right]$

τ_0 = odpor materiálu proti smyku $\left[\frac{kg}{m \cdot s^2} \right]$

μ = úhel vnitřního tření materiálu [1]

σ = normálové napětí $\left[\frac{kg}{m \cdot s^2} \right]$

Mezní smykové napětí udává tzv. smykovou pevnost práškového materiálu. Je-li smykové napětí větší než mezní smykové napětí, dochází k vzájemnému posuvu mezi částicemi.

4.2.2 Elektrické vlastnosti částic

Základními vlastnostmi, které se uplatňují pro odlučování je náboj částic a elektrický odpor vrstvy částic. Tyto vlastnosti se přímo uplatňují u elektrických odlučovačů. Blíže se těmito vlastnostmi nebude diplomová práce zabírat, protože nesouvisí s jejím tématem (vychází ze závěru *kap. 4.4*).

4.2.3 Pohybové vlastnosti částic

V dvoufázových systémech tuhá nebo kapalná částice – plyn je základem odlučování přenos částic z proudu plynu k odlučovacím plochám. Přenos částic je výsledkem působení hmotnostních a povrchových sil. [8]

- Hmotnostní síly (gravitační, setrvačná, odstředivá, magnetická)
- Povrchové síly (aerodynamický odpor, elektrická síla, molekulární síla)

Převládající síly, vyvolávající při odlučování pohyb částic směrem k odlučovacím plochám, určují princip odlučování. [8]

- Gravitační princip
- Setrvačný princip
- Odstředivý princip
- Elektrický princip
- Difuzní princip

Při popisování jednotlivých principů se vychází z řešení pohybu individuální částice.

- **Obecná pohybová rovnice částice**

Obecná pohybová rovnice částice vychází z Newtonova druhého pohybového zákona, který říká, že setrvačné síly jsou v rovnováze s ostatními silami působícími na částici. Dále za předpokladu, že se jedná o kulovou částici průměru a s vektorem rychlosti \vec{u} , nacházející se v proudu plynu, který v místě částice má vektor rychlosti \vec{v} , bude částice obtékána relativní rychlostí \vec{v}_r [8]

$$\vec{v}_r = \vec{v} - \vec{u} \quad (4.2-4)$$

Obecná pohybová rovnice částice je pak definována

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_r + \vec{F}_v + \vec{F}_e \quad (4.2-5)$$

Kde, \vec{F}_1 = setrvačnost částice

\vec{F}_2 = setrvačné síly přiřazené hmotnosti částice z rozdílu rychlostí $\vec{v} - \vec{u}$

\vec{F}_r = aerodynamický odpor

\vec{F}_v = vztlak

\vec{F}_e = vnější síly

Při obecném řešení pohybu částice se vychází z níže uvedeného vztahu (4.2-6), který je pouhé dosazení do rovnice (4.2-5). Odvození a dosažení je celé obsaženo v příloze 4.

$$\frac{\pi a^3}{6} \rho \frac{d\vec{u}}{dt} + \frac{\pi a^3}{12} \rho \left(\frac{d\vec{u}}{dt} - \frac{d\vec{v}}{dt} \right) = \xi \frac{\pi a^2}{4} \frac{|\vec{v}-\vec{u}|(\vec{v}-\vec{u})}{2} \rho - \frac{\pi a^3}{6} \vec{\nabla} p + \vec{F}_e \quad (4.2-6)$$

- **Přímočarý rovnoměrný pohyb částice**

Jedná se o rovnoměrný (ustálený) pohyb tuhé částice v klidném prostředí, vyvolaný homogenním silovým polem, například gravitací. Tento případ se označuje jako sedimentace

částice, kde působí síly pouze ve směru gravitačního zrychlení, a proto se řešení obecné pohybové rovnice (4.2-5) provádí pouze v tomto směru. V ustáleném stavu se částice pohybuje konečnou pádovou rychlostí \vec{u}_p , takže pro relativní rychlost obtékání částice podle vztahu (4.2-4) platí $\vec{v}_r = -\vec{u}_p$

Dále se pro ustálený stav upraví obecná pohybová rovnice (4.2-5) do tvaru [8]

$$0 = \vec{F}_\tau + \vec{F}_v + \vec{F}_e \quad (4.2-7)$$

Kde, $\vec{F}_e = \text{vnější síly} = \vec{F}_g = V_\infty \rho_\infty \vec{g}$

- **Přímočarý nerovnoměrný pohyb částice**

Přímočarý nerovnoměrný pohyb částice popisuje obecná pohybová rovnice (4.2-5), kde řešení této rovnice je velmi složité.

Základním případem přímočarého nerovnoměrného pohybu je řešení setrvačného doběhu částice. Jedná se o příklad pohybu částice, která byla vodorovně vypuštěna počáteční rychlostí u_0 do klidového prostředí. Při řešení pohybu zde zanedbáváme působení vztlakové síly, vnější gravitační síly působící kolmo na směr počáteční rychlosti u_0 a v případě plynného prostředí i setrvačnou sílu přiřazené hmotnosti \vec{F}_2 (platí pro $\rho \ll \rho_\infty$). Výsledný tvar upravené obecné pohybové rovnice je [8]

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_\tau \quad (4.2-8)$$

- **Křivočarý pohyb částice**

Jedná se o obecný případ pohybu částice, kde řešení je založeno na současném řešení obecné pohybové rovnice, rovnice pro popis rychlostního pole, rovnice kontinuity, rovnice pro popis vnější síly a tlaku. [8]

U odlučování tuhých částic se v konkrétních případech řešení křivočarého pohybu částice vychází z určitých zjednodušujících předpokladů a vlastní řešení pohybu částice se provádí numericky. [8]

- **Kvazistacionární pohyb částice**

Kvazistacionární (téměř ustálený) pohyb částice, který nastane ve chvíli, kdy bude platit mezi setrvačnou silou částice a aerodynamickým odporem $|\vec{F}_1| \ll |\vec{F}_\tau|$.

Praktický význam kvazistacionárního pohybu částice vyniká u některých druhů odlučovačů v blízkosti odlučovacích ploch, kde vnější síly působí kolmo na odlučovací plochu (elektrická síla u elektrických odlučovačů). [8]

4.2.4 Přenosové vlastnosti částic

V plynném prostředí je pohyb tuhých i kapalných částic ovlivňován nárazy molekul plynu. Částice pak kromě svého pohybu vyvolaného vnější silou vykonává i náhodný pohyb, který vyvolává difúzi částic. Difúze vysvětluje i změny koncentrací částic při proudění plynů v kanálech (hlavně při smíšení více proudů). Difúze nabírá na významu se zvyšující se jemností částic (s menším rozměrem).

Z hlediska přenosových vlastností částic nás nejvíce bude zajímat difúze, koagulace a termoforéza.

- Difúze částic

Podle toho, zda je pohyb částic vyvolán nárazy molekul plynu, vykonávajících náhodný tepelný (Brownův) pohyb nebo zda se částice nacházejí v turbulentním proudu a jejich pohyb je ovlivněn turbulentními fluktuacemi tekutiny rozlišujeme molekulární (Brownovskou) nebo turbulentní difúzi. [8]

Protože tepelný pohyb molekul plynu i pohyb plynu v turbulentním proudu má náhodný, stochastický charakter, tak i pohyb částice nacházející se v takovém prostředí má náhodný charakter. Z praktického hlediska nemá proto cenu sledovat individuální pohyb částice, ale hmotností tok částic. [8]

Přenos částic v proudícím plynu vyjádříme pomocí hustoty toku částic $\vec{j} \left[\frac{kg}{m^2 \cdot s} \right]$ (podle jednotek zvolených pro vyjádření hustoty toku musí být koncentrace částic C vyjádřena jako hmotnostní koncentrace), kde platí 1. Fickův zákon. [8]

$$\vec{j} = \vec{v}C - D\vec{\nabla}C \quad (4.2-9)$$

Kde, $\vec{v}C$ = konvektivní přenos

$$\vec{v} \left[\frac{m}{s} \right] \text{ (rychlost)}$$

$$C \left[\frac{kg}{m^3} \right] \text{ (hmotnostní koncentrace částic)}$$

$-D\vec{\nabla}C$ = difúzní přenos

$$D \left[\frac{m^2}{s} \right] \text{ (součinitel difúze)}$$

1. Fickův zákon říká, že hustota toku částic je vyvolána jednak konvektivním přenosem ($\vec{v}C$ – částice jsou unášeny proudem plynu) a jednak difúzním přenosem ($(-D\vec{\nabla}C)$ – vyvolaným gradientem koncentrace).

Součinitel difúze $D \left[\frac{m^2}{s} \right]$ je přenosovou veličinou hmotnosti a v laminárním proudu jej budeme značit jako D_B (součinitel Brownovské difúze) a v turbulentním proudu D_t (součinitel turbulentní difúze).

- Koagulace částic

Koagulace (shlukování) částic vzniká při vzájemném nárazu částic s vhodnými povrchovými vlastnostmi. Koagulací částic dochází k poklesu počtové koncentrace částic, protože na nově vzniklý shluk dvou, tří a více částic se hledí jako na jednu nově vzniklou částici. Koagulaci lze rozdělit podle příčiny vzájemného styku na:

- a) Brownovskou koagulaci – příčinou je Brownův pohyb částic
- b) Turbulentní koagulaci – příčinou je pohyb částic v turbulentním proudu
- c) Akustickou koagulaci – příčinou je pohyb částice v akustickém poli
- d) Kinematickou koagulaci – příčinou je u polydisperzních souborů částic, kde jsou částice různých velikostí, rozdílné relativní rychlosti v závislosti na velikosti částic

- Termoforéza

Nachází-li se částice v prostředí s vysokým teplotním gradientem, je sdílená hybnost molekul plynu při jejich nárazu na povrch částice na straně vyšší teploty vyšší, než sdílená hybnost na straně nižší teploty.

Termoforézy se jako odlučovacího principu nevyužívá, ale může při proudění horkých plynů výrazným způsobem ovlivnit dlouhodobé odlučování částic na stěnách kanálu.

4.3 Základní odlučovací principy

Jak bylo uvedeno na začátku *kap. 4.2.3*, převládající síly, vyvolávající při odlučování pohyb částic směrem k odlučovacím plochám, určují princip odlučování. Rozeznáváme tedy 6 základních odlučovacích principů.

- **Gravitační princip**

Vychází z působení gravitační síly a unášivé síly proudu na pohyb částice. Základní složkou rychlosti částice při odlučování je pádová rychlost $u_p \left[\frac{m}{s} \right]$.

- **Setrvačný princip**

V blízkosti odlučovací plochy dochází k zakřivení rychlostního pole trajektorie částice, která se vlivem setrvačnosti částice odchyluje od proudnice. Setrvačný princip se využívá jako hlavní odlučovací princip u těch odlučovačů, kde jsou do proudu plynu vloženy překážky různých tvarů. Velmi často se kombinuje s gravitačním principem.

- **Odstředivý princip**

Odstředivý princip je zvláštním případem setrvačného odlučování při rotaci plynu. Rotace plynu probíhá ve válcových nebo kuželových komorách. Pohyb částice ve směru k odlučovací ploše je dán působením odstředivé síly.

- **Difúzní princip**

Bývá uplatňován při obtékání těles malou rychlostí. Je založen na difúzi částic z proudu plynu na povrch obtékaného tělesa. Tento odlučovací princip má velký význam zejména ve filtraci při odlučování částic na povrch filtračních vláken, která tvoří filtrační vláknitou vrstvu.

- **Intercepční princip**

Jedná se o přímé zachycení částic, široce uplatňovaného ve filtraci při průchodu plynu vláknitou či zrnitou vrstvou.

- **Elektrický princip**

Pohyb částice směrem k odlučovací ploše je vyvoláván elektrickou silou, která působí na částice. Jedná se tedy o působení elektrické (Coulombovy) síly na nabitě částice v elektrickém poli. Většinou se elektrický princip kombinuje s dalšími odlučovacími principy.

- **Kombinace odlučovacích principů**

Při odlučování u některých odlučovačů působí najednou více odlučovacích principů. Klasickým příkladem může být filtrace, kde při odlučování částic na vlákne působí současně setrvačný, difúzní a intercepční princip. Díky tomu, že působí všechny principy současně, tak se vzájemně ovlivňují.

4.4 Výběr vhodného odlučovače a jeho použitelnost pro provoz LAVIII

Tato podkapitola bude řešit výběr odlučovače pro řešení provozu popsaného v *kap. 3*. Výběr vhodného odlučovače byl omezen těmito požadavky společnosti Lovochemie a.s.

- Nízká pořizovací cena
- Nízké nároky na provoz a údržbu
- Nenáročný zásah do technologie, malá tlaková ztráta
- Nenáročnost na kvalifikovanou obsluhu
- Malá zastavěná plocha

4.4.1 Třídění a výběr vhodných odlučovačů pro optimalizaci provozu hadicových tkaninových filtrů

- **Elektrické odlučovače**

Princip funkce: Odpadní plyny jsou odsávány ze zdroje prašnosti ventilátorem přes elektrický odlučovač. Prachové částice, unášené plynem, proudí mezi stěnami usazovacích elektrod, kde jsou zavěšeny vysokonapěťové elektrody, na které se přivádí velmi vysoké napětí. V první fázi se elektricky nabijí prachové částice monopolárním nábojem (se stejným znaménkem) a ve druhé fázi jsou tyto elektricky nabitě částice odváděny působením nehomogenního elektrického pole z proudu plynu ke stěnám nebo vloženým sběrným plochám. Elektricky nabitě částice se pohybují v elektrickém silovém poli proti odporu prostředí po silokřivkách k nesouhlasně nabitému pólu poměrně malou (tzv. usazovací) rychlostí. [9]

Výhody: Vyšší odlučovací schopnosti i pro jemné částice. Nízká tlaková ztráta. Vhodné pro velké průtoky plynů a velké teploty. Menší citlivost na abrazi.

Nevýhody: Vysoké investiční náklady. Kvalifikovaná obsluha. Náročnost na údržbu. Citlivost na změny složení prachu (měrný elektrický odpor). Vysoké nároky na půdorysný a zastavěný prostor.

Použitelnost ve stávající technologii LAVIII: Elektrické odlučovače nesplňují ani jedno kritérium, podle kterých se posuzuje použitelnost na provoz LAVIII. Proto jsou vyhodnoceny jako **NEVHODNÉ** pro řešený provoz.

- **Filtry**

Princip funkce: Principem je odlučování částic filtrační vrstvou, která může být vláknitá, zrnitá nebo z porézní hmoty. Filtrace se dá rozdělit na filtrování atmosférického vzduchu a filtraci průmyslovou.

- Filtrace atmosférického vzduchu

Hlavními znaky filtrace atmosférického vzduchu je nízká vstupní koncentrace (v řádu $\frac{mg}{m^3}$), teplota vzduchu blízká se normálním podmínkám. Dále se částice odlučují ve vrstvě (hloubková filtrace) a s výjimkou hrubých filtrů se filtrační materiály neregenerují.

- Filtrace průmyslová

U průmyslové filtrace se pohybujeme ve větších vstupních koncentracích (v řádu $\frac{g}{m^3}$), teplota vzduchu může být až v řádu stovek °C. Částice se odlučují na povrchu filtračního materiálu (povrchová filtrace), kde se vytváří vrstva odloučených částic (filtrační koláč). Je nutno v přiměřených časových intervalech filtrační koláč odstraňovat (provádí se regenerací filtračního materiálu).

Výhody: Dobrá odlučivost i pro velmi malé částice.

Nevýhody: V rámci průmyslové filtrace při špatných provozních podmínkách (zanášení vlhkostí do provozu, střídání několika druhů prachů, výkyvům teplot apod.) a špatných vlastnostech odlučovaných částic (velká hygroskopičnost, možnost změny krystalové modifikace částic, lepivost, velké vstupní koncentrace apod.) dochází k častému zanášení filtračních ploch a následná údržba, která je náročná na čas velmi prodražuje provozní náklady.

Použitelnost ve stávající technologii LAVIII: Ve stávající technologii LAVIII se využívá průmyslové filtrace, kterou zajišťují hadicové tkaninové filtry. Z *kap. 3.* vyplývá, že filtrace při parametrech provozu LAV III, vlastnostech odlučovaných částic a jejich vysokých koncentrací

v proudu vzduchu, **NENÍ VHODNÁ**. Dochází k zalepování filtrů (i přes to, že pro odstraňování filtračního koláče se využívá pulzní regenerace). To vede k častým odstávkám provozu z důvodu čištění, a tedy k poměrně vysokým provozním nákladům.

- **Mokrý mechanický odlučovač**

Princip funkce: Princip funkce je založen na využití setrvačného a odstředivého odlučovacího principu. K odloučení částic do kapaliny dochází v zásadě čtyřmi způsoby, a to na:

- kapičkách
- hladině kapaliny
- povrchu obtékaných těles
- povrchu bubliny plynu při průchodu plynu vrstvou kapaliny

Výhody: Dobrá odlučivost oproti suchým mechanickým odlučovačům i pro jemné částice. Jsou vhodné pro lepidlo, abrazivní a výbušné prachy. Dále jsou vhodné pro vysoké koncentrace znečištění. Z hlediska obestavěného prostoru jsou oproti ostatním typům odlučovačů nejúspěšnější.

Nevýhody: Hlavní nevýhodou je nutnost kalového hospodářství. Dále náročnost na údržbu a kvalifikovanou obsluhu. Musí se také řešit odpar kapaliny.

Použitelnost ve stávající technologii LAVIII: Z důvodu poměrně složitých zásahů do stávající technologie, náročnosti na údržbu a kvalifikovanou obsluhu **NEJSOU** tyto odlučovače **VHODNÉ** pro stávající provoz. Naopak v případě výstavby nového provozu by byl tento typ odlučovačů velmi vhodný.

- **Suchý mechanický odlučovač**

Jedná se o nejstarší a v praxi velmi rozšířené odlučovače.

Princip funkce: Princip funkce je závislý od typu suchého mechanického odlučovače. Všeobecně je využíváno u těchto odlučovačů gravitačního, setrvačného a odstředivého principu k odlučování částic.

Výhody: Jednoduchá konstrukce, provozní spolehlivost, nenáročnost na údržbu a obsluhu, nižší pořizovací náklady, vhodnost i pro vyšší teploty. Nenáročnost zapojení do technologie.

Nevýhody: Nižší životnost pro abrazivní materiály. Nízká odlučivost pro jemné frakce.

Použitelnost ve stávající technologii LAVIII: Suché mechanické odlučovače splňují ve všech bodech požadavky pro výběr vhodného odlučovače. Horší odlučivost pro jemnější frakce

není pro tento typ odlučovačů limitující, protože budou použity jako předstupeň před filtry, které se doposud používají pro odlučování ve stávajícím provozu. Jsou **VHODNÉ**

4.4.2 Výběr vhodného odlučovače ze skupiny suchých mechanických odlučovačů

- **Gravitační (tíhové) odlučovače**

Patří mezi nejjednodušší odlučovače. Velkou nevýhodou, kvůli které nemohou být využity ve stávajícím provozu je velká náročnost na obestavěný prostor.

- **Setrvačné odlučovače**

Využívají setrvačný odlučovací princip při průtoku plynu vhodně profilovanými překážkami. Nevýhodou, kvůli které nemohou být použity ve stávajícím provozu, je obtížná čistitelnost. Tento problém by mohl ohrozit plynulý chod technologie a ve výsledku by mohl velmi prodražit provozní náklady.

- **Rotační odlučovače**

Část tohoto odlučovače vykonává rotační pohyb a přivádí plyn do rotace. Vlivem odstředivé síly se částice soustřeďují na stěně odlučovače, odkud s dílčím proudem plynu odchází. Jsou určeny pro čištění plynů menších průtoků. Také jsou nevhodné pro lepivé a abrazivní částice. Z těchto důvodů se nemohou použít ve stávající technologii.

- **Vírové odlučovače**

Využívají odstředivé síly působící na částice při otáčivém pohybu tekutiny v nepohyblivém aparátu. Způsobuje se tím radiální usazovací pohyb částic o větší hustotě směrem ke stěně aparátu. Vliv gravitace je u většiny vírových odlučovačů ve srovnání s účinkem odstředivé síly a proudící kapaliny zanedbatelný. [8] [10]

Díky jednoduché konstrukci, snadné údržbě, nenáročné obsluze a poměrně malé tlakové ztrátě jsou ideálním aparátem pro optimalizaci provozu hadicových tkaninových filtrů.

4.5 Závěr kapitoly

V této kapitole byla popsána tuhá částice. Její charakteristický tvar, rozměr, vlastnosti a základní odlučovací principy, které se používají pro její odloučení. Dále se vyhodnotily jednotlivé odlučovače s ohledem pro optimalizaci řešeného provozu touto diplomovou prací, a jako nejvhodnější byly určeny vírové odlučovače.

5. MĚŘENÍ

Tato kapitola bude popisovat průběh odběrů provedených na SS provozu LAVIII a měření odebraných vzorků prachu. Dále jejich zpracování a vyhodnocení.

5.1 Druhy prachů

Na provozu LAVIII se dají rozlišit v rámci sušícího a chladícího okruhu 4 druhy prachů.

- **Prach z výroby LAV/LAD na sušícím okruhu**

Jedná se o prach z výroby LAV/LAD. Skládá se z hrubé a jemné frakce. Jemná frakce je v převážné většině prach vápence/dolomitu, který se dostal do sušícího bubnu. Hrubá frakce je pak úlet zrn ze sušení LAV/LAD.

- Doporučená metoda měření

Pro získání přehledu o distribučním rozložení velikosti částic stačí provést síťovou analýzu. Prach ale obsahuje z větší části jemnější frakci. Pro získání podrobnějších informací o distribuci velikosti částic je nutno provést podrobnější analýzu pomocí laserového analyzátoru.

- Složení prachu

Složení tohoto prachu neodpovídá produktovému složení. Obsahuje více vápence/dolomitu. Složení prachu na sušícím okruhu je vidět v *tab. 3*.

Tab. 3. Analýza prachů LAV/LAD sušícího bubnu [12]

| Vzorek | Obsah v % hm. | | | | | | |
|--------|---------------|------|--------|-----------|------------|------|------------|
| | N nit. | Nčp. | Ncelk. | CaO celk. | CaO vodor. | MgO | MgO vodor. |
| LAV | 7,5 | 6,7 | 14,3 | 31,2 | 3,6 | 1,6 | X |
| LAD | 4,7 | 3,8 | 8,5 | 23,4 | 2,0 | 15,4 | 0,6 |

- **Prach z výroby LAV/LAD na chladícím okruhu**

Jedná se o prach z ochlazování LAV/LAD. Celý vzorek prachu je tvořen velmi jemnou frakcí.

- Doporučená metoda měření

Pro získání distribučního rozložení velikosti částic se **je nutné** provést měření pomocí laserového analyzátoru.

- Složení prachu

V této fázi výroby již složení prachu odpovídá produktovému složení (*viz. tab. 4.*).

Tab. 4. Složení prachů LAV/LAD chladicího bubnu, odpovídajícího produktovému složení [12]

| Složení odpovídající výrobku | | | | | |
|------------------------------|---------------|------|-----------|----------|-----|
| Vzorek | Obsah v % hm. | | | | |
| | N nit. | Nčp. | CaO celk. | CaO vodo | MgO |
| LAV | 13,3 | 13,5 | 12,0 | 0,14 | x |
| LAD | 13,3 | 13,5 | 8,0 | 0,14 | 4,0 |

5.2 Odběry vzorků na provoze pro určení koncentrace prachových částic

Kvůli určení koncentrace prachových částic v proudu vzduchu bylo potřeba provést několik odběrů vzorků. Vhodným místem pro odběr byly určeny spoje pod filtry u turniketů (*obr. 42*).



Obr. 42 Jedno ze čtyř odběrových míst

Jak bylo popsáno v *kap. 3.6*, skládá se každý filtr ze dvou částí (A a B). Pro odběr vzorku z jednoho filtru se musel prach odebírat zároveň z obou částí, protože rozdělení prachu nebylo rovnoměrné. Po odmontování spojů mezi turniketem a dopravníkovým pásem se v určený čas vsunul do proudu padajícího odloučeného prachu kovový skluz (v obou částech najednou), kterým se prach odváděl do pytlů. Doba odběru byla určena na 10 minut. Potom se vzorky uzavřely v pytlích a byly zváženy. Dále se zaznamenal aktuální průtok vzduchu na filtru (u chladícího filtru se průtok neměřil – *kap. 3.6*) a teplota.

Jak je vidět v *tab. 5.* a *tab. 7.*, množství odebraného prachu se značně liší. Je to dáno tím, že při odběrech mohlo dojít k regeneraci hadic, což zapříčinilo zvýšené množství odebraného vzorku. Dále zanesení hadic ve filtru způsobovalo, že z filtrů odcházelo malé množství odloučených částic. Z těchto důvodů bylo provedeno více těchto odběrů a z nich byla vytvořena průměrná hodnota. Z té se poté stanovovala průměrná koncentrace prachu.

Tab. 5. Odběry prachových částic LAV

| LAV | Odběr | Průtok | Teplota | Mn. Prachu | Doba odebrání vzorků |
|---------------------------|-------|----------------------|---------|------------|----------------------|
| | [-] | [Nm ³ /h] | [°C] | [kg] | [s] |
| Filtr od sušícího bubnu | 1 | 39 000,0 | 87,1 | 144,5 | 600,0 |
| | 2 | 41 000,0 | 87,0 | 120,0 | 600,0 |
| | 3 | 43 114,0 | 88,0 | 178,0 | 600,0 |
| | 4 | 42 000,0 | 88,2 | 135,0 | 600,0 |
| | 5 | 44 500,0 | 88,0 | 115,0 | 600,0 |
| | 6 | 43 500,0 | 89,0 | 127,0 | 600,0 |
| Filtr od chladícího bubnu | 1 | - | 81,0 | 43,0 | 600,0 |
| | 2 | - | 85,0 | 93,0 | 600,0 |
| | 3 | - | 82,0 | 105,0 | 600,0 |
| | 4 | - | 84,0 | 87,0 | 600,0 |
| | 5 | - | 83,0 | 110,0 | 600,0 |
| | 6 | - | 85,0 | 105,0 | 600,0 |

Tab. 6. Zprůměrované hodnoty

| LAV | Průtok | Teplota | Mn. Prachu | Doba odebrání vzorků |
|--------------------------|----------------------|---------|------------|----------------------|
| | [Nm ³ /h] | [°C] | [kg] | [s] |
| Filtr sušícího bubnu | 42 185,7 | 87,9 | 136,6 | 600,0 |
| Filtr chladícího bubnu L | 55 000,0 | 83,3 | 90,5 | 600,0 |
| Filtr chladícího bubnu Z | 30 000,0 | 83,3 | 92,3 | 600,0 |

* Pozn.: U chladícího bubnu byl průtok z hlediska výpočtů zvolen 55 000 Nm³/h (*kap. 3.4*)

** L = letní provoz, Z = zimní provoz

Tab. 7. Odběry prachových částic LAD

| LAD | Odběr | Průtok Nm ³ /h | Teplota | Mn. Prachu | Doba odebrání vzorků |
|---------------------------|-------|------------------------------|---------|------------|----------------------|
| | [-] | [Nm ³ /h] | [°C] | [kg] | [s] |
| Filtr od sušícího bubnu | 1,0 | 46 800,0 | 86,0 | 91,0 | 600,0 |
| | 2,0 | 44 537,0 | 87,5 | 126,0 | 600,0 |
| | 3,0 | 43 000,0 | 87,1 | 115,0 | 600,0 |
| | 4,0 | 42 300,0 | 92,7 | 108,0 | 600,0 |
| | 5,0 | 41 000,0 | 89,3 | 103,5 | 600,0 |
| | 6,0 | 40 700,0 | 90,2 | 76,5 | 600,0 |
| Filtr od chladícího bubnu | 1,0 | - | 85,0 | 74,0 | 600,0 |
| | 2,0 | - | 82,7 | 87,0 | 600,0 |
| | 3,0 | - | 83,0 | 98,0 | 600,0 |
| | 4,0 | - | 83,2 | 115,0 | 600,0 |
| | 5,0 | - | 85,0 | 110,0 | 600,0 |
| | 6,0 | - | 81,8 | 90,0 | 600,0 |

Tab. 8. Zprůměrované hodnoty

| LAD | Průtok | Teplota | Mn. Prachu | Doba odebrání vzorků |
|--------------------------|----------------------|---------|------------|----------------------|
| | [Nm ³ /h] | [°C] | [kg] | [s] |
| Filtr sušícího bubnu | 43 056,2 | 88,8 | 103,3 | 600,0 |
| Filtr chladícího bubnu L | 55 000,0 | 83,5 | 95,7 | 600,0 |
| Filtr chladícího bubnu Z | 30 000,0 | 83,5 | 93,1 | 600,0 |

* Pozn.: U chladícího bubnu byl průtok z hlediska výpočtů zvolen 55 000 Nm³/h (kap. 3.4)

Výsledné koncentrace jsou pak uvedeny v tab. 9. Včetně přepočtu z Nm³ na reálné m³.

Tab. 9. Přibližná koncentrace prachových částic ve vzduchu

| | |
|--------------------------|------------------------------------|
| LAV | Koncentrace [g/m ³] |
| Filtr sušícího bubnu | 14 |
| Filtr chladícího bubnu L | 7 |
| Filtr chladícího bubnu Z | 13,6 |
| LAD | Koncentrace [g/m ³] |
| Filtr sušícího bubnu | 11 |
| Filtr chladícího bubnu L | 8 |
| Filtr chladícího bubnu Z | 14 |

5.3 Odběr vzorků pro síťovou a laserovou analýzu

Odběrová místa byla obdobná. Odběry probíhaly s tím rozdílem, že se odebíralo menší množství vzorku, které se uzavřelo do tepelně izolovaných nádob (z důvodu snížení pohlcování okolní vlhkosti a z důvodu udržení teploty). Po odběrech probíhal urychlený přesun do laboratoře, kde probíhala měření.

5.4 Změření hustoty prachových částic LAV/LAD

Do kalibrované odměrné baňky byl nalit ethyl alkohol (96%). Dále byl vytvořen nasycený roztok přisypaním většího množství LAV/LAD. Po ustálení hladiny byla odečtena její výška. Vybraný vzorek prachových částic byl zvážen na laboratorních vahách, a poté vsypán do odměrné baňky. Byla odečtena hladina nasyceného roztoku s přisypanými prachovými částicemi. Podíl hmotnosti prachu a jeho objemu odpovídala pak hustotě prachových částic.

5.4.1 Měřicí přístroje a zařízení

K měření bylo využito:

- Laboratorní váhy: SCALTEC (*obr. 44*)
 - Přesnost 0,1g
 - Rozměry 133x235x70 mm
- Ethylalkohol 96%
- Kalibrovaná baňka

5.4.2 Měřené vzorky

Měřenými vzorky byl prach LAV/LAD ze sušícího bubnu.

5.4.3 Vypracování měření

Vypracování měření bude uvedeno na vzorku LAD ze sušícího bubnu. Hladina nasyceného roztoku v kalibrované baňce byla po ustálení 300 ml. Přisypané prachové částice o hmotnosti 89,99 g zvedly hladinu na 350 ml. Jednoduchým přepočtem bylo zjištěno, že hustota LAD ze sušícího bubnu je

$$\frac{89,99}{350-300} = 1,8 \frac{g}{cm^3} = 1800 \frac{kg}{m^3} \quad (5.4-1)$$

Hustota LAV ze sušícího bubnu vyšla přibližně stejná jako u LAD, a to $1800 \frac{kg}{m^3}$. Hustota prachových částic LAV/LAD z chladícího bubnu byla naměřena $1300 \frac{kg}{m^3}$.

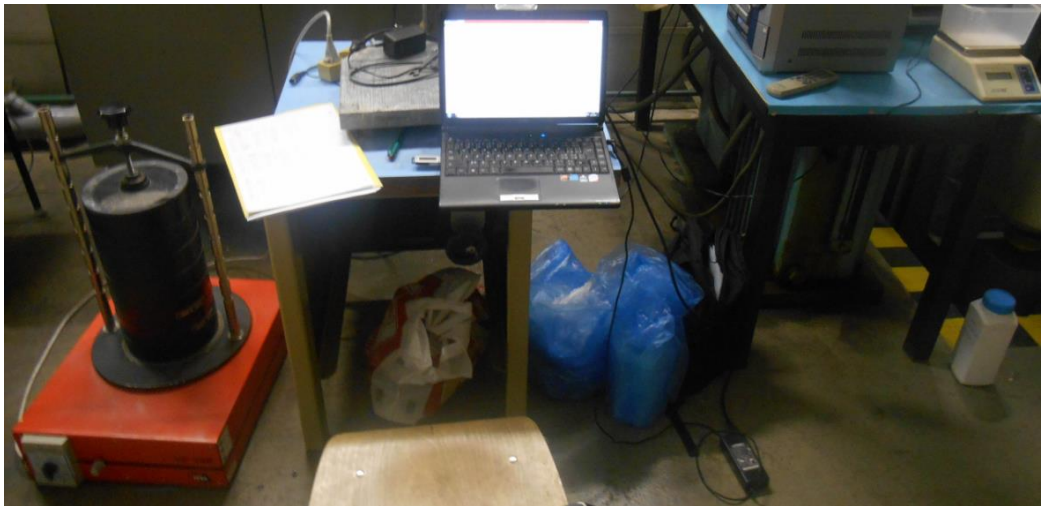
5.5 Síťová analýza

Touto metodou byl proměřován pouze prach LAV/LAD ze sušícího bubnu. Prach z chladícího bubnu byl velmi jemný, takže by celý prošel nejmenším rozměrem síta, které bylo k dispozici.

Odebrány byly 3 nezávislé vzorky (odběry v různých dnech) LAV/LAD. U každého vzorku byla provedena dvě nezávislá měření. Uspořádání sít bylo při všech měření stejné (velikost ok sít v μm): 850, 710, 600, 450, 355, 280, 0 (záchytná nádoba, kde byly všechny vzorky < 280).

5.5.1 Měřicí přístroje a zařízení

Schéma pracoviště je na *obr. 43*.



Obr. 43 Měření křivky propadu síťovou analýzou

K měření bylo využito:

- Laboratorní váhy: SCALTEC (*obr. 44*)
 - Přesnost 0,1g
 - Rozměry 133x235x70 mm
- Síta (*obr. 45*)
 - Velikosti ok (μm) 850, 710, 600, 450, 355, 280, 0
- Zdroj vibrací: JBS IVEX, VP 200 (*obr. 46*)
 - 3xPEN 220 V
 - 1 A
 - 50Hz
 - Hmotnost 40k g



Obr. 44 Laboratorní váhy SCALTEC



Obr. 45 Síto



Obr. 46 Zdroj vibrací

5.5.2 Měření vzorky

Měřenými vzorky byl prach LAV/LAD ze sušícího bubnu.

5.5.3 Postup měření

Prázdná síta se zvažila na váze. Po sestavení z vrchu sestupně od největšího oka po nejmenší se na síta vložil vzorek. Svrchní síto se uzavřelo a upevnilo v střísači (*obr. 46 – vpravo*). Potom se zapnul střísač. Po uplynutí 20 minut se zařízení vypnulo a jednotlivá síta se znovu zvažila. Vzorek na záchytném dně (o velikosti $< 280 \mu\text{m}$) byl uschován na měření laserovým analyzátozem.

5.5.4 Vypracování měření

Postup vypracování měření bude uveden na vzorku LAV_I.S (LAV, I. vzorek, S – sušárenský prach). Všechny ostatní měření včetně vypracování budou obsaženy v příloze 5.

Tab. 10 1. Měření vzorku LAV_I.S včetně obou měření a jejich následného zprůměrování

| PRVNÍ MĚŘENÍ | I. VZOREK - MĚŘENÍ ČÍSLO 1 | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|-------|------------|-----------|
| | průměr síta [μm] | hmotnost síta [g] | hmotnost síta a zrn [g] | hmotnost zrn [g] | xi | ai [mm] | Zp [%] |
| | 850,00 | 548,90 | 551,20 | 2,30 | 0,013 | 0,85 | 1,32 |
| | 710,00 | 492,90 | 494,70 | 1,80 | 0,010 | 0,78 | 1,03 |
| | 600,00 | 531,50 | 535,20 | 3,70 | 0,021 | 0,66 | 2,13 |
| | 450,00 | 489,80 | 497,50 | 7,70 | 0,044 | 0,53 | 4,42 |
| | 355,00 | 500,30 | 515,70 | 15,40 | 0,088 | 0,40 | 8,85 |
| | 280,00 | 483,60 | 504,20 | 20,60 | 0,118 | 0,32 | 11,83 |
| 0,00 | 604,10 | 726,70 | 122,60 | 0,704 | 0,14 | 70,42 | |
| suma | | | 174,10 | 1,000 | | | |

| DRUHÉ MĚŘENÍ | I. VZOREK - MĚŘENÍ ČÍSLO 2 | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|-------|------------|-----------|
| | průměr síta [μm] | hmotnost síta [g] | hmotnost síta a zrn [g] | hmotnost zrn [g] | xi | ai [mm] | Zp [%] |
| | 850,00 | 548,90 | 550,80 | 1,90 | 0,010 | 0,85 | 1,03 |
| | 710,00 | 493,00 | 494,90 | 1,90 | 0,010 | 0,78 | 1,03 |
| | 600,00 | 531,20 | 535,10 | 3,90 | 0,021 | 0,66 | 2,11 |
| | 450,00 | 489,70 | 497,30 | 7,60 | 0,041 | 0,53 | 4,12 |
| | 355,00 | 500,50 | 516,00 | 15,50 | 0,084 | 0,40 | 8,40 |
| | 280,00 | 483,80 | 504,40 | 20,60 | 0,112 | 0,32 | 11,17 |
| 0,00 | 604,00 | 737,10 | 133,10 | 0,721 | 0,14 | 72,14 | |
| suma | | | 184,50 | 1,00 | | | |

| I. VZOREK - ZPRŮMĚROVANÉ HODNOTY | | |
|----------------------------------|---------|--------|
| ZPRŮMĚROVANÉ MĚŘENÍ | ai [mm] | Zp [%] |
| | 0,85 | 1,18 |
| | 0,78 | 1,03 |
| | 0,66 | 2,12 |
| | 0,53 | 4,27 |
| | 0,40 | 8,62 |
| | 0,32 | 11,50 |
| | 0,14 | 71,28 |

suma

| |
|--------|
| 100,00 |
|--------|

Koncentrace x_i se vypočte:

$$x_i = \frac{\text{hmotnost zrn}_i}{\text{celková hmotnost}} \quad (5.5-1)$$

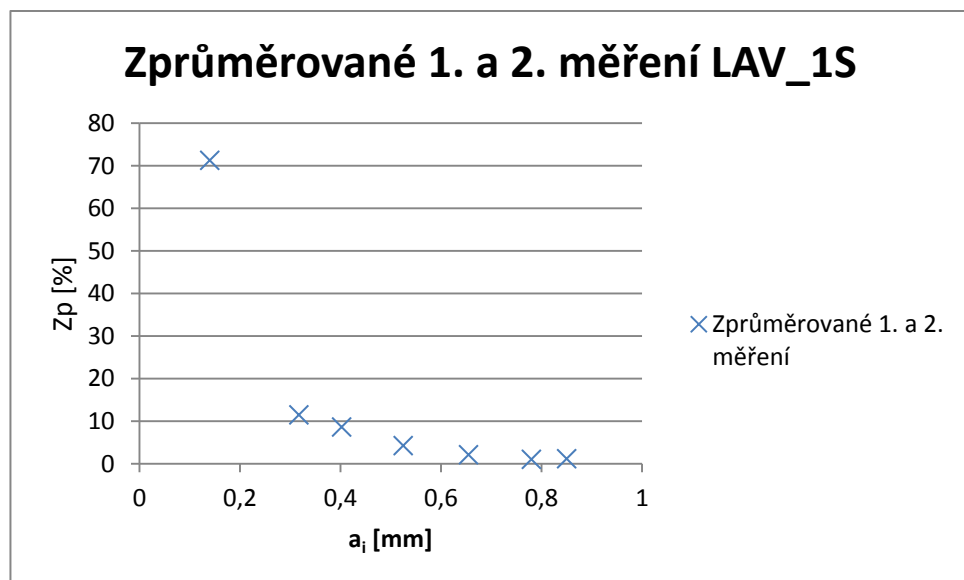
Průměr zrna a_i :

$$a_i = \frac{\text{průměr síta}_i + \text{průměr síta}_{i-1}}{2} \quad (5.5-2)$$

Z_p

$$Z_p = x_i \cdot 100 \quad (5.5-3)$$

Zprůměrované měření je vidět na *obr. 47*.



Obr. 47 Zprůměrované 1. a 2. Měření LAV_I.S

Pro proložení bodů byl využit Rosin-Rammlerovo popis rozložení. [14]

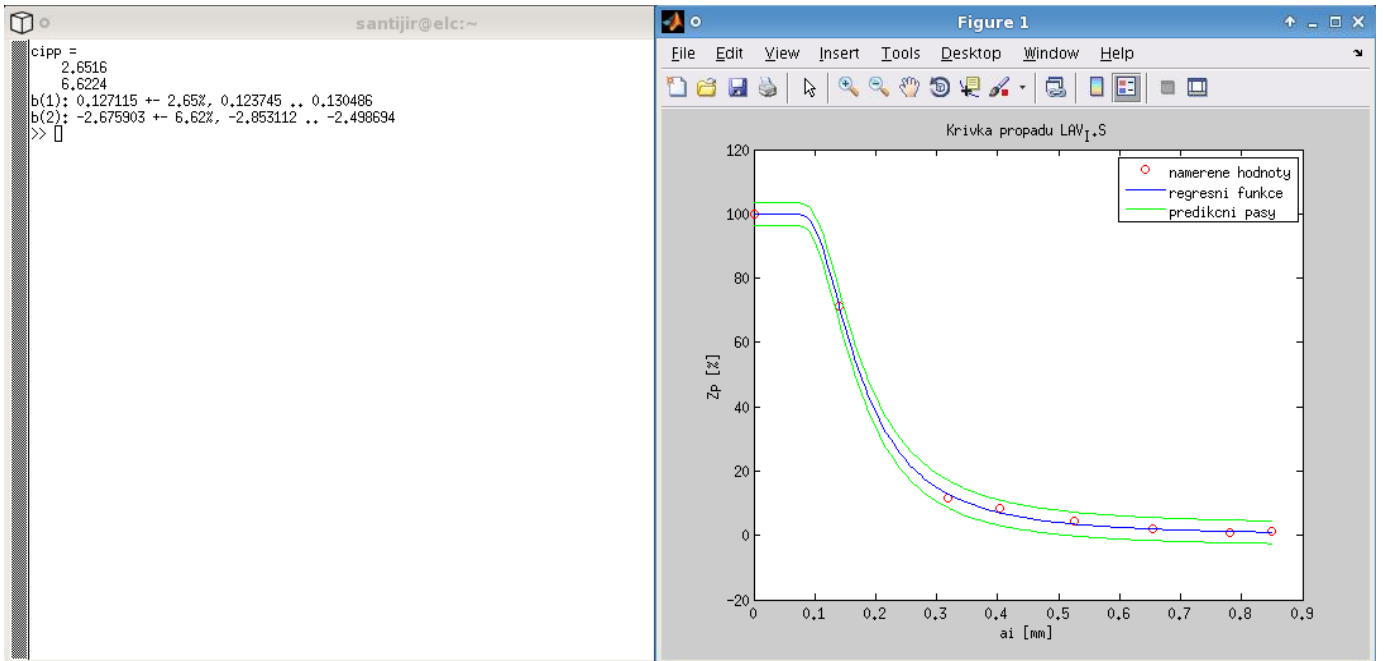
$$Z_p = 1 - \exp \cdot \left(\log(0,2) \cdot \left(\frac{a_i}{b_1} \right)^{b_2} \right) \quad (5.5-4)$$

Kde, a_i = velikost částic

b_1 = první parametr

b_2 = druhý parametr

Parametry byly hledány pomocí Matlabu. Jejich hodnotu, a následné proložení včetně vykreslení predikčních pásů je vidět na *obr. 48*.



Obr. 48 Vyhodnocení měření LAV_I.S

5.5.5 Závěr měření sítové analýzy

Jak vyplývá z grafu na *obr. 47*, je možno ve vzorku sledovat dva druhy prachu (což potvrzuje hypotézu z *kap. 5.1*). Jak už bylo řečeno, malé částičky jsou z prachu vápence/dolomitu a velké úlety ze sušení a uschlé shluky částic odlepené od stěn apod., což potvrzuje *obr. 49*.



Obr. 49 Nadsítný obsah síta o velikosti oka 850 μm

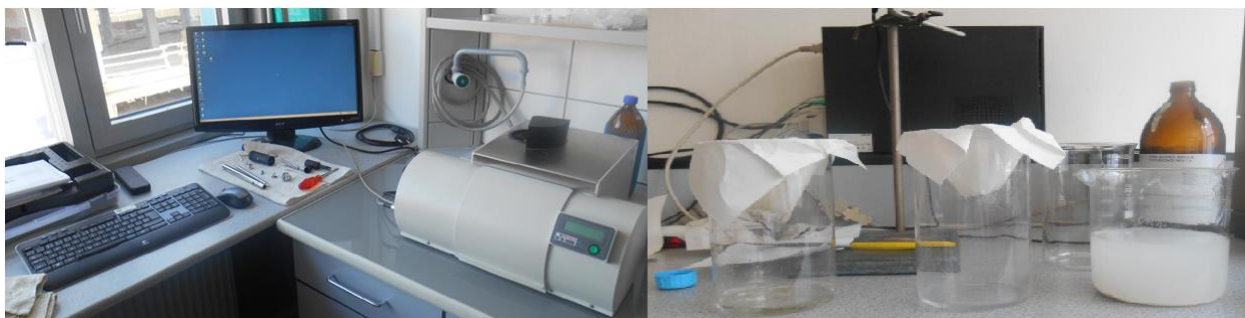
5.6 Laserová analýza

Touto metodou byl proměřován prach LAV/LAD z chladicího bubnu a prach LAV/LAD, který propadl sítím velikosti oka $< 280 \mu\text{m}$. V případě proměřování prachu propadlého sítím bude sloužit toto měření pouze jako informativní o složení prachu v rozsahu od $280 \mu\text{m}$ níže, které nemohlo být adekvátně změřeno na sítích. Nebude se dále vyhodnocovat.

Provedeno bylo 12 nezávislých měření (3x LAD/LAV sušící buben, 3x LAD/LAV chladicí buben), a pro každé nezávislé měření byly provedeny dvě závislá měření.

5.6.1 Měřicí přístroje a zařízení

Schéma pracoviště je na *obr. 50*.



Obr. 50 Měření pomocí laserového analyzátoru

K měření bylo využito:

- Laserový analyzátor: FRITSCH ANALYSSETE COMPACT
 - 4x kádinka s odměrným sloupcem
- Filtrační papír
- Ethyl alcohol 96%
- Nůž (dávkování a míchání)

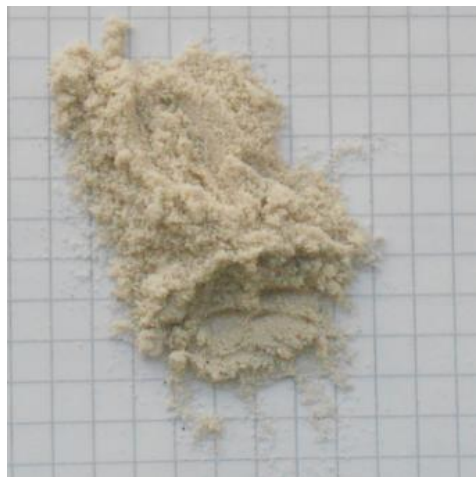
5.6.2 Měřené vzorky

Měřenými vzorky byl prach LAV/LAD z chladicího bubnu a prach LAV/LAD propadlý nejmenším sítím použitým při síťové analýze.

Vzorky prachu z chladicího bubnu LAV jsou na *obr. 51* a prach LAD použitý ze síťové analýzy na *obr. 52*.



Obr. 51 Prach LAV z chladícího bubnu



Obr. 52 Prach LAD ze síťové analýzy

5.6.3 Postup měření

LAV a LAD je rozpustný v lihu, a to v poměru 3,8 dílku váhových lihu (při 20°C) na 100 váhových dílků vody (při 20°C) [5]. Aby se zajistila nerozpustnost vzorků v lihu, byl nasycen NH_4NO_3 (obr. 53). Potom, aby se kvůli měření na laserovém analyzátoru, odstranily nerozpustné částice, byl nasycený roztok přefiltrován přes filtrační papír (obr. 54). Teprve poté byl nasycený roztok použit pro měření. Jeho čirost je vidět na obr. 55.

Před samotným provedením měření bylo ještě nastaveno na laserovém analyzátoru, aby nejdříve bez měřeného vzorku proměřil nasycený roztok, případné naměřené částice uložil jako „pozadí“ a po ukončení měření vzorku je odečetl.



Obr. 53 Nasycený roztok



Obr. 55 Přefiltrovaný roztok



Obr. 54 Filtrování nasyceného roztoku lihu a NH_4NO_3

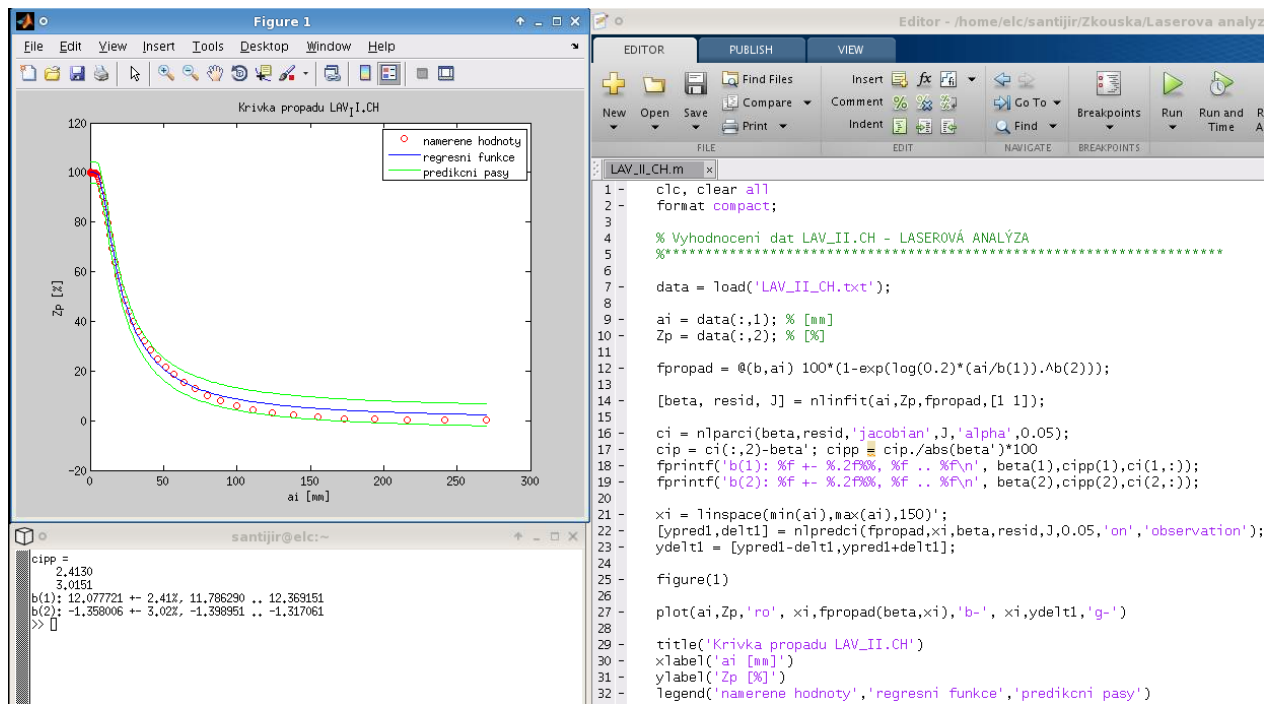
Měření probíhalo na laserovém analyzátoru pomocí nasyceného roztoku, kdy se do něj přisypával měřený vzorek (maximální koncentrace byla nastavena na laserovém analyzátoru na 7% v roztoku, aby si částice při proměrování nepřekážely – při vyšších koncentracích dochází k zneřádnění měření). Roztok byl v laserovém analyzátoru cirkulován čerpadlem a rozdispergování v roztoku zajišťovalo míchadlo.

5.6.4 Vyhodnocování měření

Postup vyhodnocování měření bude uveden na druhém vzorku LAV prachu z chladícího bubnu (LAV II. Vzorek chladící bubny). Tento vzorek byl použit při návrhu vírového odlučovače (*kap. 6*).

Po provedení měření vygeneruje laserový analyzátor datový soubor, v kterém jsou uloženy informace o vzorku. Vyhodnotí křivku propadu a frekvenci distribuce částic.

Naměřená data a jejich vypracování jsou obsažena v *příloze 6*. Obdobně jako u síťové analýzy byla provedena dvě nezávislá měření jednoho vzorku, která se zprůměrují a vzniklá data se vyhodnotí (*obr. 56*). Opět pomocí vztahu (5.4-4).

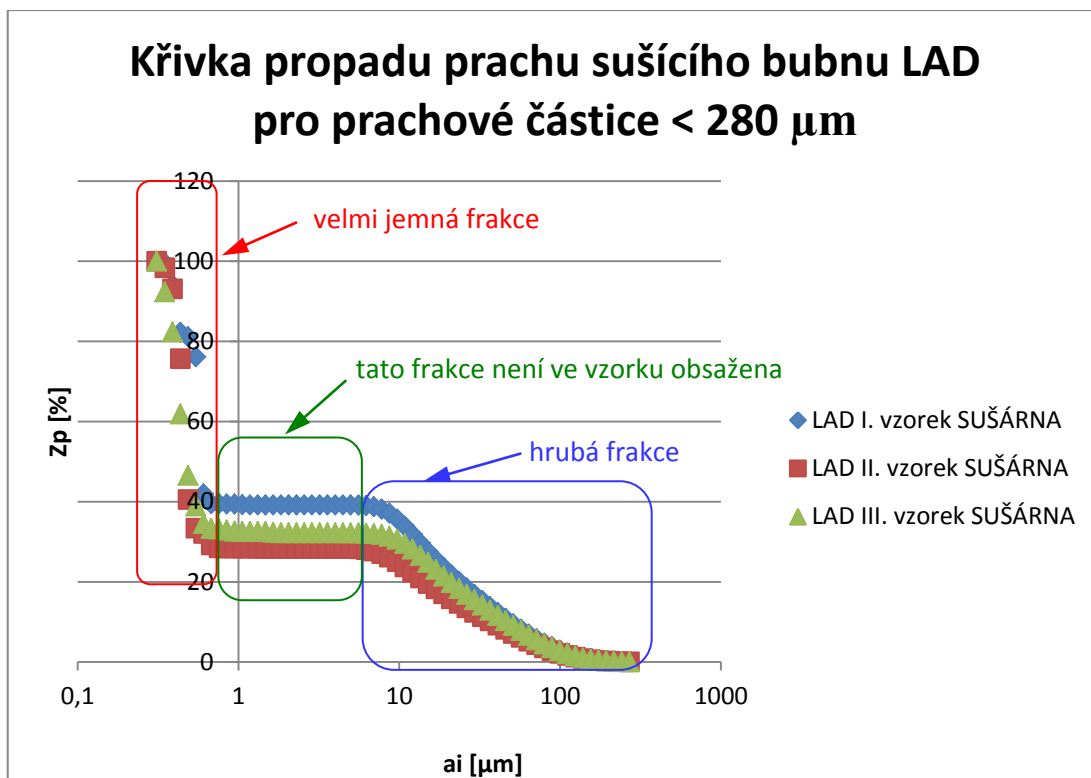


Obr. 56 Vyhodnocení měření vzorku LAV_II.CH

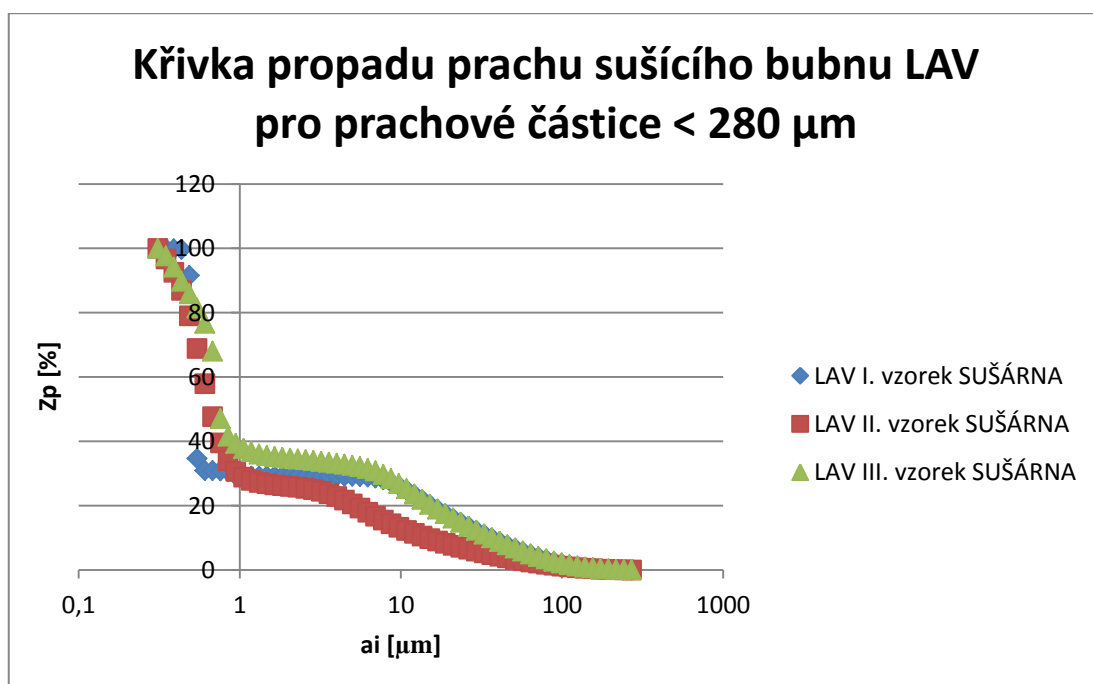
5.6.5 Závěr měření laserové analýzy

Laserová analýza potvrdila, že vzorky prachu z chladícího bubnu jsou v celém svém rozsahu složeny z jemných částic. Naopak vzorky prachu ze sušícího bubnu jsou složeny ze dvou druhů částic, které jsou značně rozdílné (z hlediska velikosti částic). Vyhodnocení vzorků sušícího bubnu nebylo provedeno, protože se jedná pouze o část z celého prachového vzorku. Účelem bylo u tohoto prachu doplnit chybějící část ze síťového diagramu.

Křivka propadu prachů ze sušícího bubnu LAD/LAV je vidět na obr. 57 a 58. Zbytek křivek propadů je v příloze 6. Křivky propadů neodpovídají skutečnosti, protože byla proměřována pouze frakce částic < 280 μm. Tyto grafy slouží pouze k orientaci.



Obr. 57 Křivka propadu sušících prachů vzorků LAD



Obr. 58 Křivka propadu sušících prachů vzorků LAV

5.7 Závěr kapitoly

V této části diplomové práce byl popsán odběr vzorků, jejich proměření a zpracování naměřených dat.

Provedeny byly dva druhy měření. Sítovou analýzou se stanovila křivka propadu u prachů sušícího bubnu LAV/LAD. Laserovou analýzou u prachů LAV/LAD chladícího bubnu. Navíc se laserovou analýzou zmapovala velikost částic, která nemohla být změřena na sítích u prachů ze sušícího bubnu.

6. NÁVRH CYKLONOVÝCH ODLUČOVAČŮ

Tato kapitola bude rozdělena do dvou částí. Výpočtové, která bude obsahovat všechny výpočty až po stanovení celkové odlučivosti. Návrhové, kde bude navrženo několik možných variant provedení, stanovení základních zástavbových rozměrů, vytvoření 3D modelů jednotlivých variant a výběr výsledné varianty.

6.1 Podmínky výběru vírového článku

Vírový článek musí být vybrán s ohledem na nízkou tlakovou ztrátu. Rozměrově by měl být větší, aby se mohla zajistit jeho snadná údržba a předcházelo se ucpávání, klenbování apod. Vírový článek bude vybírán pro podmínky provozu při výrobě LAV v chladicí části okruhu.

- **Tlak před filtry**

Bude se vycházet z největší možné tlakové ztráty, kterou mohou ventilátory pokrýt, a to je 2,5 kPa. Pak odpovídající tlak před filtrem bude odpovídat atmosférickému tlaku bez tlakové ztráty, a tedy 98,825 kPa.

- **Teplota**

Průměrná teplota byla v chladicím okruhu stanovena na 83,4 °C.

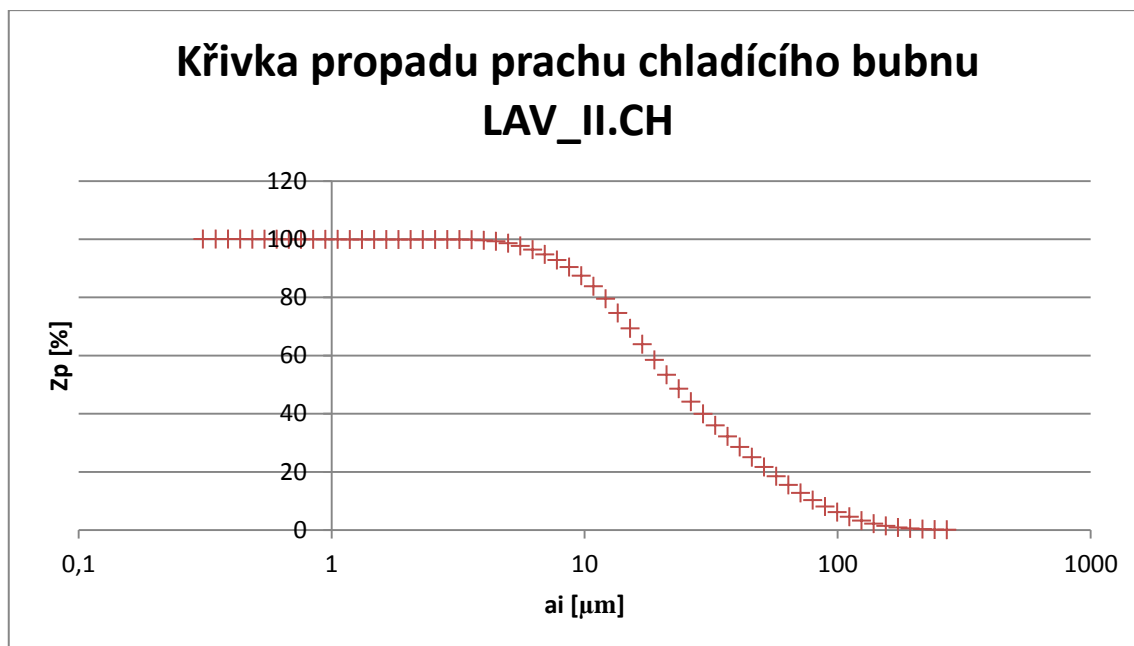
- **Průtok**

Bude se uvažovat maximální možný průtok v chladicí části okruhu. Nejvyššího průtoku se dosahuje při letním provozu v chladicím okruhu, kdy je potřeba ochlazovat provoz. Průtok v tomto období odpovídá průměrné hodnotě 55 000 Nm³/h (při daném tlaku a teplotě to odpovídá 70 031 m³/h).

Dále se bude uvažovat, pokud to bude nutné, že průtok při proudění více vírovými články bude rozdělen rovnoměrně mezi všechny články.

- **Křivka propadu**

Křivka propadu byla vybrána pro vzorek LAV_II. chladicího bubnu, protože obsahuje největší koncentrace nejjemnějších prachů (*obr. 59*), takže je předpoklad, že výsledná celková odlučivost pro ni vyjde nejméně příznivě. Pro prach ze sušicího bubnu bude celková odlučivost vyšší, než je v práci určená pro vzorek z LAV II.



Obr. 59 Křivka propadu prachu vzorku z chladícího okruhu LAV

- **Koncentrace**

Průměrná koncentrace prachu byla pro chladící okruh naměřena $11 \frac{g}{m^3}$ (viz. kap. 5.2).

6.2 Výběr vírového článku

Výběr vírového článku proběhl z podnikového katalogu ZVVZ [14].

S ohledem na požadavek společnosti Lovochemie a.s., upřednostňovat před odlučivostí nižší tlakovou ztrátu, byly vybrány vírové články pro křivku propadu, koncentraci prachových částic a další podmínky výběru T3 1000 a T3 1600.[14]

Počet vírových článků se stanoví pro zvolenou fiktivní rychlost v článku $v_f = 3,2 \frac{m}{s}$.

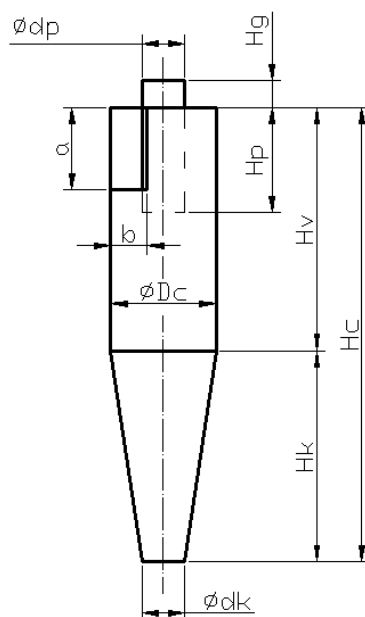
$$n_{T3_1600} = \frac{4 \cdot \frac{V_r}{v_f}}{\pi \cdot d_{T3_1600}^2} = \frac{4 \cdot \frac{70\,031}{3600}}{\pi \cdot 1,6^2} \doteq 3 \quad (6.2-1)$$

$$n_{T3_1000} = \frac{4 \cdot \frac{V_r}{v_f}}{\pi \cdot d_{T3_1600}^2} = \frac{4 \cdot \frac{70\,031}{3600}}{\pi \cdot 1^2} \doteq 8 \quad (6.2-2)$$

S ohledem na údržbu a jednoduchost konstrukce bude vybrán **vírový článek T3 1600**.

- **Parametry vírového článku T3 1600**

Rozměrové parametry jsou vidět na *obr. 60* a v *tab. 11*.



Obr. 60 Rozměrové parametry vírového článku T3 1600

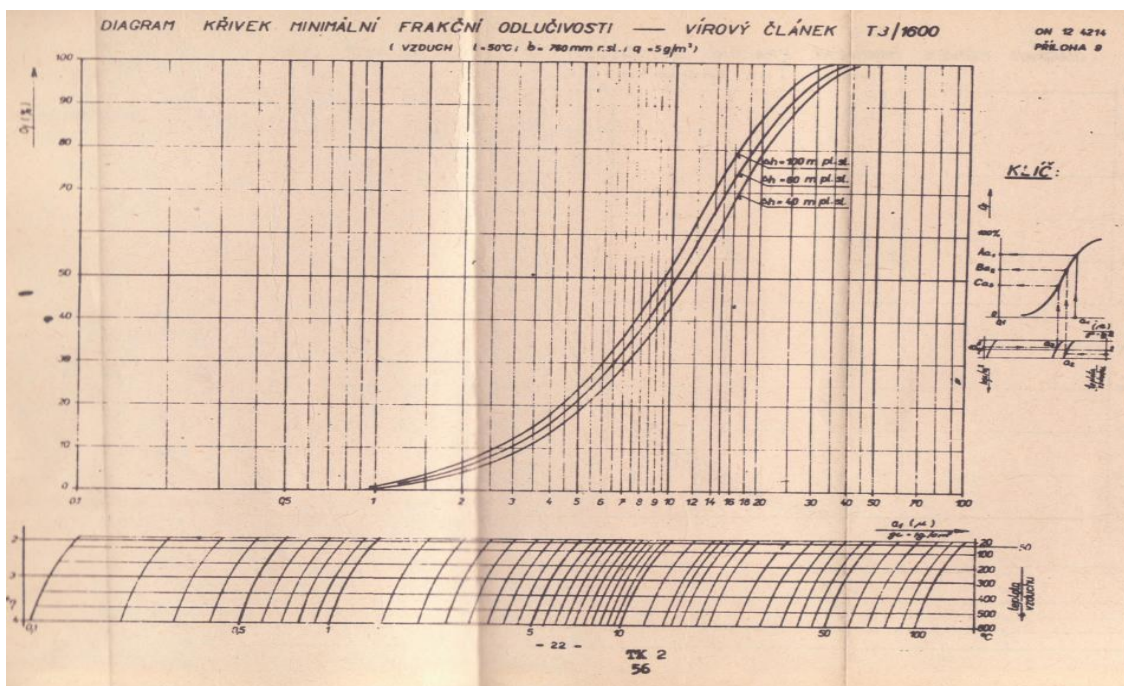
Tab. 11 Rozměrové parametry vírového článku T3 1600

| Vírový článek | $\varnothing Dc$ [m] | Hc [m] | Hk [m] | Hv [m] | $\varnothing dp$ [m] | $\varnothing dk$ [m] | Hp [m] | Hg [m] | a [m] | b [m] |
|------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------|------------|------------|
| T3 1600 | 1,6 | 6,9 | 3,2 | 3,7 | 0,65 | 0,65 | 1,6 | 0,4 | 1,2 | 0,5 |

Provozní parametry článku T3 1600z podnikové normy ZVVZ [14] jsou

- Médium: vzduch
- Teplota vzduchu: 50°C
- Tlak vzduchu na vstupu: 101,325 kPa
- Vstupní koncentrace nečistot: $5 \frac{g}{m^3}$

Frakční odlučivost T3 1600 je na *obr. 61*. Odečtená závislost frakční odlučivosti na velikosti částic při daných parametrech provozu a konstrukce vírového článku je obsažena v *tab. 12*.



Obr. 61 Frakční odlučivost vírového článku T3 1600

Tab. 12 Závislost frakční odlučivosti na velikosti odlučovaných částic

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|----|-----|----|-----|-----|------|----|------|----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Odečtená hodnota | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| a1 [μm] | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 | 7,5 | 8 | 8,5 | 9 | 9,5 |
| Of [%] | 0 | 2 | 4 | 6 | 8,5 | 11,5 | 14 | 17 | 19 | 21 | 25 | 28 | 29,5 | 32 | 34 | 37 | 39 | 42 |
| Odečtená hodnota | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| a1 [μm] | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 95 | 100 |
| Of [%] | 44 | 53 | 60 | 68 | 73 | 77,5 | 87 | 92,5 | 96 | 98 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

6.2.1 Obecný matematický popis křivky odlučivosti

Do dalších výpočtů je důležité znát matematický popis křivky odlučivosti vírového článku T3 1600. Pro matematický popis křivky odlučivosti byla vybrána exponenciální závislost [10]

$$Of(a_i) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{a_1}{a_{i50} \cdot k_{\varphi t} \cdot k_{\varphi c}} \right)^{n_{\varphi}} \right] \quad (6.2-3)$$

Kde, $\mathbf{a_1}$ = velikost odlučovaných částic, pro provozní parametry dané ZVVZ

$\mathbf{a_{i50}}$ = velikost částice, která bude z 50% odloučena

$\mathbf{k_{\varphi c}}$ = parametr exponenciálního modelu pohybující se v závislosti na kvalitě provedení vírového článku v rozmezí 1 – 1,3.

$k_{\varphi t}$ = parametr exponenciálního modelu, jehož funkcí je kompenzovat navržený model tak, aby pro zvolené $k_{\varphi c} \doteq 1$, $a_i = a_{i50}$ a libovolnou hodnotu n_{φ} vyšla hodnota $Of(a_{i50}) = 0,5$.

n_{φ} = exponent

- **Úprava vztahu (6.2-3) pro MATLAB a stanovení parametrů exponenciálního modelu**

Vyhodnocení této matematické závislosti bylo provedeno v programu MATLAB 2013. Rovnice (6.2-3) byla upravena do tvaru

$$Of(a_i) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{a_i}{a_{i50} \cdot k_{\varphi t} \cdot b} \right)^{n_{\varphi}} \right] \quad (6.2-4)$$

Kde parametr $k_{\varphi c}$ byl nahrazen parametrem b , jehož hodnota byla hledána funkcí nlinfit. Ostatní parametry byly spočítány pro podmínky $Of(a_i)$ vírového článku T3 1600.

- **Výpočet parametrů exponenciálního modelu pro podmínky $Of(a_1)$**

Cílem bylo vyčíslit hodnoty parametrů a_{i50} , $k_{\varphi t}$ a n_{φ} pro MATLAB, aby mohla být stanovena hodnota parametru b .

- Provozní a rozměrové parametry vírového článku T3 1600 z podnikové normy ZVVZ

Rozměry vírového článku T3 1600 jsou zakótovány na *obr. 60*.

$$T_{PN} = 50^{\circ}\text{C}$$

Teplota proudícího média (vzduch)

$$p_{PN} = 101\,325\text{ Pa}$$

Tlak proudícího média

$$\mu = 1,96701325 \cdot 10^{-5}\text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Dynamická viskozita vzduchu při teplotě T_{PN} a tlaku p_{PN}

$$\rho_{vz} = 1,0922835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Hustota vzduchu při T_{PN} a tlaku p_{PN}

$$\rho_s = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Hustota prachové částice

$$q = 5 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

Hmotnostní koncentrace prachových částic ve vzduchu

$$n = 3$$

Počet vírových článků

| | |
|---------------------------------------|--|
| $\dot{V}_{PN} = 58,36 \frac{m^3}{s}$ | Průtok vzduchu soustavou vírových článků T3 1600 (voleno) |
| $\dot{V}_{1PN} = 19,45 \frac{m^3}{s}$ | Průtok vzduchu jedním vírovým článkem T3 1600 |
| $a = 1,2 \text{ m}$ | Výška vstupního průřezu vírového článku T3 1600 |
| $b = 0,5 \text{ m}$ | Šířka vstupního průřezu vírového článku T3 1600 |
| $d_p = 0,65 \text{ m}$ | Průměr přepadové trubky vírového článku T3 1600 |
| $d_c = 1,6 \text{ m}$ | Průměr válcové části vírového článku T3 1600 |
| $H_c = 6,9 \text{ m}$ | Celková výška vírového článku T3 1600 bez přepadové trubky |
| $a_{i50} = 11 \mu\text{m}$ | Velikost prachové částice, která ve vírovém článku T3 1600 bude odloučena z 50%. |

Protože popisujeme matematickou funkcí reálnou křivku frakční odlučivosti, můžeme a_{i50} stanovit odečtením *obr. 61 a tab. 12*. Přibližná hodnota $a_{i50} = 11 \mu\text{m}$.

| | |
|--|---|
| $k_{stř} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ | Absolutní drsnost vnitřního povrchu vírového článku T3 1600 |
| $k^* = \frac{k_{stř}}{D_c} = \frac{3 \cdot 10^{-6}}{1,6} = 1,87 \cdot 10^{-6}$ | Relativní drsnost |
| $f = 1,1$ | Součinitel tření částic o stěnu cyklónu |

6.2.2 Výpočet parametrů exponenciálního modelu matematického popisu pro podmínky Of(a1)

- **Plocha vstupního průřezu**

$$S_1 = a \cdot b = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ m}^2 \quad (6.2-5)$$

- **Plocha průřezu přepadové trubky**

$$S_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,65^2}{4} = 0,33 \text{ m}^2 \quad (6.2-6)$$

- **Poměr y mezi plochou vstupního průřezu a plochou průřezu přepadové trubky**

$$y = \frac{S_1}{S_p} = \frac{0,6}{0,33} = 1,8 \quad (6.2-7)$$

Podmínka pro pokračování ve výpočtu je existence y v intervalu $\langle 0,45; 1,8 \rangle$. Podmínka je splněna.

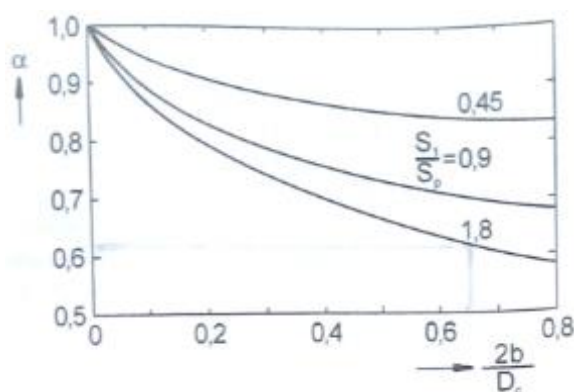
- **Hodnota poměru x**

$$x = \frac{2 \cdot b}{D_c} = \frac{2 \cdot 0,5}{1,6} = 0,625 \quad (6.2-8)$$

Podmínka pro pokračování ve výpočtu je existence x v intervalu $\langle 0; 0,8 \rangle$. Podmínka je splněna.

- **Stanovení empirického součinitele α**

Pro tangenciální vstup je součinitel α znázorněn na *obr. 62* v závislosti na poměrech x a y . Z *obr. 62* lze tedy odečíst $\alpha = 0,61$ pro $x = 0,625$ a $y = 1,8$.



Obr. 62 Graf pro určení součinitele α

- **Stanovení hydraulické součinitele tekutiny λ_1**

$$\lambda_1 = \left\{ \left(\frac{0,628 \cdot H_C \cdot (D_c - d_p) \cdot \mu}{\dot{V}_{1PN} \cdot d_p \cdot \rho_{vz}} \right)^{1,63} + \{40,3 + 5,4 \cdot 10^{-3} \cdot [-\ln(k^* + 10^{-6})^5]^{-2} \}^{0,4} \right\} \quad (6.2-9)$$

$$\lambda_1 = 1,87 \cdot 10^{-4}$$

- **Absolutní hmotnostní zlomek prachu ve vstupujícím vzduchu w_1**

$$w_1 = \frac{q}{q + \rho_{vz}} = \frac{\frac{5}{1000}}{\frac{5}{1000} + 1,09} = 0,00456 \quad (6.2-10)$$

- Stanovení ekvivalentního součinitele tření dispergovaných částic o stěnu vírového článku

$$\lambda_s = 1,7 \cdot f \cdot \left(\frac{\rho_s - \rho_{vz}}{\rho_s} \right) \cdot \frac{S_1 \cdot w_1 \cdot \alpha}{R_s \cdot \sqrt{D_c} \cdot d_p} = 5,554 \cdot 10^{-3} \quad (6.2-11)$$

- Stanovení hodnoty exponentu n_m

$$n = 1 - \frac{\ln \left[\frac{S_1 \cdot \alpha}{S_1 \cdot \alpha + [\lambda_1 + \lambda_s] \cdot \pi \cdot \frac{(D_c - b)}{2} \cdot H_c} \right]}{\ln \frac{d_p}{D_c}} = 0,79 \quad (6.2-12)$$

- Stanovení parametru modelu frakční odlučivosti $k_{\varphi c}$

$$k_{\varphi t} = 1,862 - 0,723 \cdot n = 1,862 - 0,723 \cdot 0,79 = 1,289 \quad (6.2-13)$$

- Stanovení exponentu n_φ

$$n_\varphi = \frac{0,3665}{\ln(k_{\varphi t})} = \frac{0,3665}{\ln 1,49} = 1,44 \quad (6.2-14)$$

- Stanovení parametru b

Parametr b byl stanoven pomocí funkce nlinfit v MATLABU (*obr. 63*). Hodnota parametru je $b = 1,039514$. Což odpovídá předpokladu, že parametr $b = k_{\varphi c}$ je v rozsahu 1-1,3.

6.2.3 Proložení křivky odlučivosti $Of(a1)$ exponenciálním modelem

Naměřená data z *tab. 12* byla proložena exponenciálním modelem (6.2-4) s parametry

$$a_{150} = 11 \mu\text{m}$$

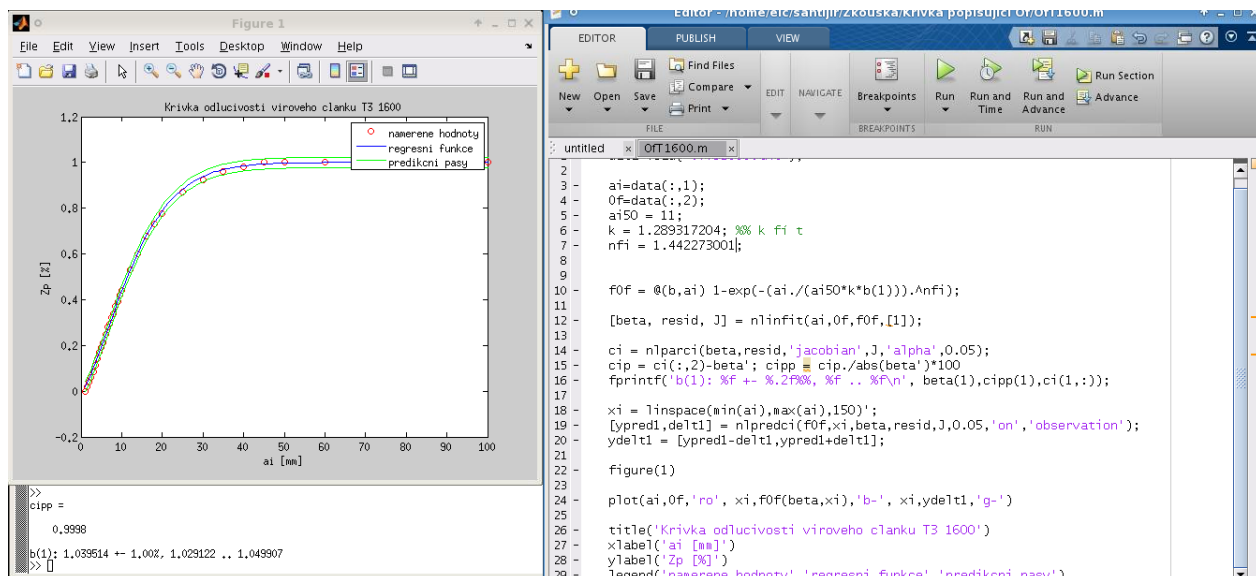
$$k_{\varphi c} = 1,289$$

$$b = 1,039514$$

$$n_\varphi = 1,44$$

Výsledek proložení včetně výpočtu predikčních pásů je vidět na *obr. 63*.

Důležité je zdůraznit, že pro optimalizování exponenciálního modelu má velký význam součinitel tření částic o stěnu cyklónu f . Doporučovaný je pro aerocyklóny $f = 0,6$. Nejpřesnější proložení bylo ale dosaženo s $f = 1,1$.



Obr. 63 Proložení frakční odlučivosti $Of(a1)$ exponenciálním modelem

6.3 Stanovení celkové odlučivosti vírového článku T3 1600 pro provozní podmínky LAVIII

Nejdříve musí být proveden přepočít frakční odlučivosti (dle podnikové normy ZVVZ [14]) na provozní podmínky. Teprve poté se může stanovit celková odlučivost vírového článku.

6.3.1 Způsob přepočtu frakční odlučivosti vírového článku T3 1600 (dle podnikové normy ZVVZ [14]) na provozní podmínky výroby LAV chladicího okruhu

Základem přepočtu frakční odlučivosti dle podnikové normy (dále stav 1) na provozní podmínky (dále stav 2) je použití Stokesova kritéria (Stk_m). Stokesovo kritérium je charakteristické pro každý odlučovač a obsahuje podmínky (proměnné) ovlivňující pravděpodobnost odloučení částice. [8]

Pro stav 1 a stav 2 tedy platí

$$Stk_{m1} = Stk_{m2} \tag{6.3-1}$$

Stk_m je definováno jako

$$Stk_m = \frac{a_i^2 \cdot \rho_s}{18 \cdot \mu} \cdot \frac{v}{D_c} \tag{6.3-2}$$

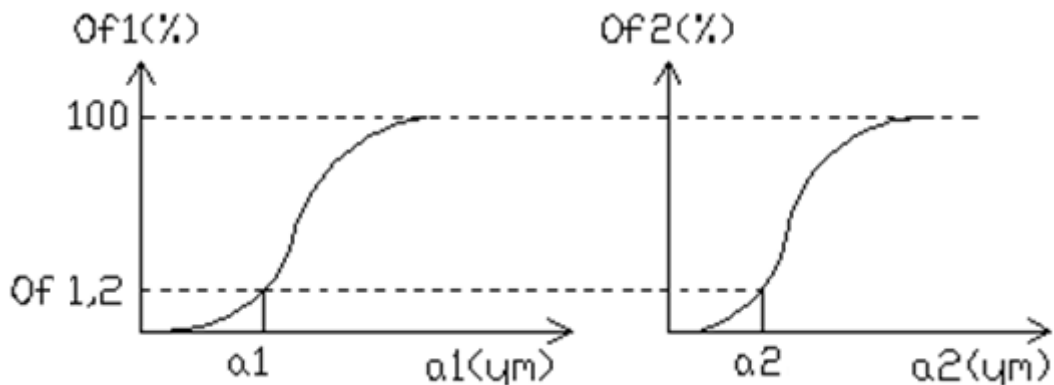
Můžeme tedy napsat:

$$Stk_m = \frac{a_1^2 \cdot \rho_{s1}}{18 \cdot \mu_1} \cdot \frac{v_1}{D_{c1}} = \frac{a_2^2 \cdot \rho_{s2}}{18 \cdot \mu_2} \cdot \frac{v_2}{D_{c2}} \quad (6.3-3)$$

Při úvaze, že $D_{c1} = D_{c2}$ se vztah (6.3-3) zjednoduší a po úpravách dostaneme vztah pro vyjádření velikosti částice a_2 (6.3-4), která má při provozních podmínkách stejnou frakční odlučivost jako částice a_1 při podmínkách dle podnikové normy.

$$a_2 = a_1 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{s1}}{\rho_{s2}} \cdot \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1}} \quad (6.3-4)$$

Grafické znázornění přepočtu frakční odlučivosti ze stavu 1 na stav 2 je na *obr. 64*.



Obr. 64 Vliv přepočtu ze stavu 1 na stav 2 pro frakční odlučivost Of

- **Stanovení parametrů pro přepočet a provedení přepočtu a_1 na a_2**

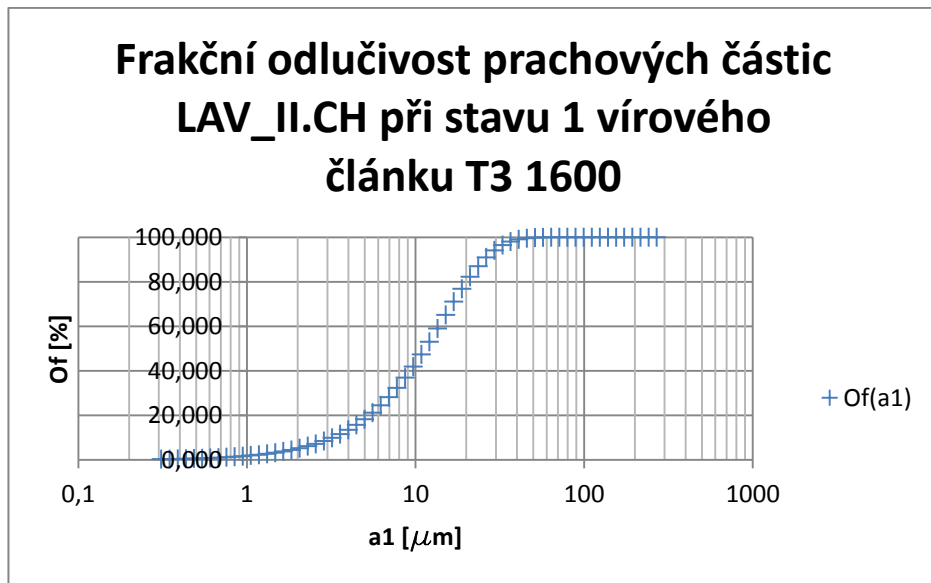
Parametry stavů jsou uvedeny v *tab. 13*.

Tab. 13 Hodnota parametrů pro přepočet

| | | | |
|--------|----------------------|-------|----------|
| Stav 1 | ρ_{s1} | v_1 | μ_1 |
| | [kg/m ³] | [m/s] | [Pa.s] |
| | 1000 | 2,29 | 1,97E-05 |
| Stav 2 | ρ_{s2} | v_2 | μ_2 |
| | [kg/m ³] | [m/s] | [Pa.s] |
| | 1300 | 3,4 | 2,12E-05 |

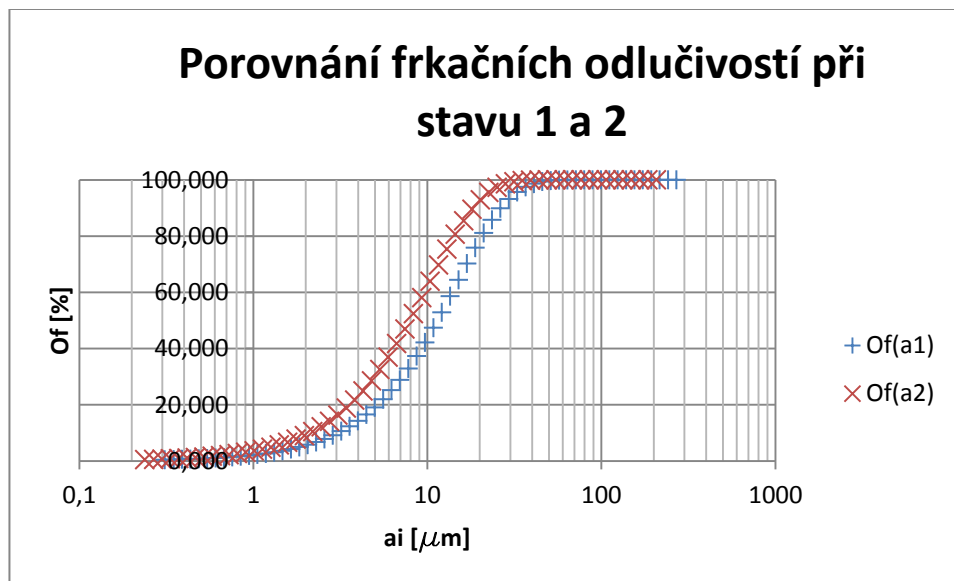
- **Provedení přepočtu**

Naměřená velikost částic a_1 pro vzorek LAV_II.CH (příloha 6.) se přepočítá na stav 2 (velikost částic a_2). Potom aplikuji na velikost částic a_1 vztah (6.2-4), abych získal frakční odlučivost částic a_1 pro stav 1 $Of(a_1)$. Závislost velikosti částic a_1 na $Of(a_1)$ je vynesena v grafu na obr. 65.



Obr. 65 Frakční odlučivost vzorku prachových částic LAV_II.CH pro stav 1

Protože platí $Of(a_1) = Of(a_2)$ mohu vynést do grafu závislost velikosti částic a_2 na $Of(a_2)$ a porovnat je se závislostí a_1 na $Of(a_1)$ (obr. 66).

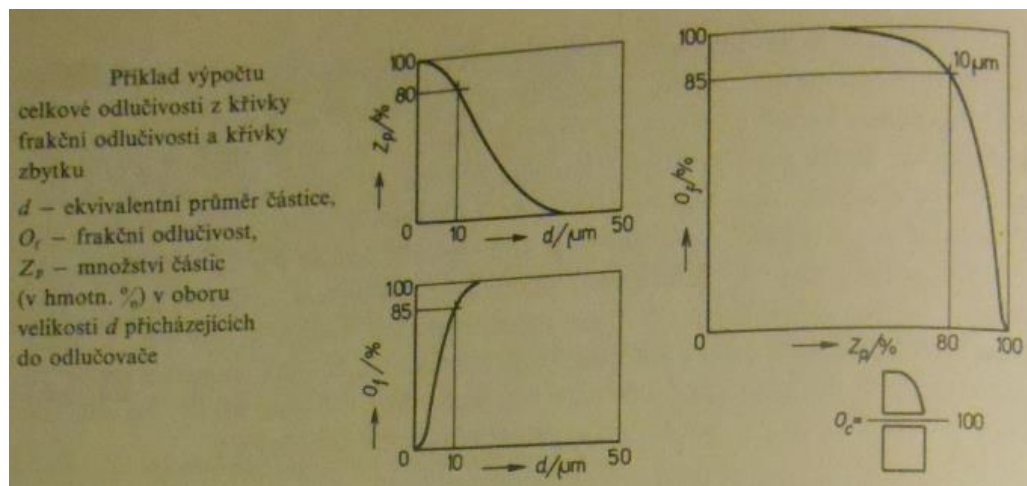


Obr. 66 Porovnání frakčních odlučivostí $Of(a_1)$ a $Of(a_2)$

Z obr. 66 vyplývá, že částice o velikosti a bude mít při stavu 2 větší odlučivost než při stavu 1. To odpovídá i fyzikálnímu předpokladu, protože při stavu 2 má částice větší hustotu a rychlost.

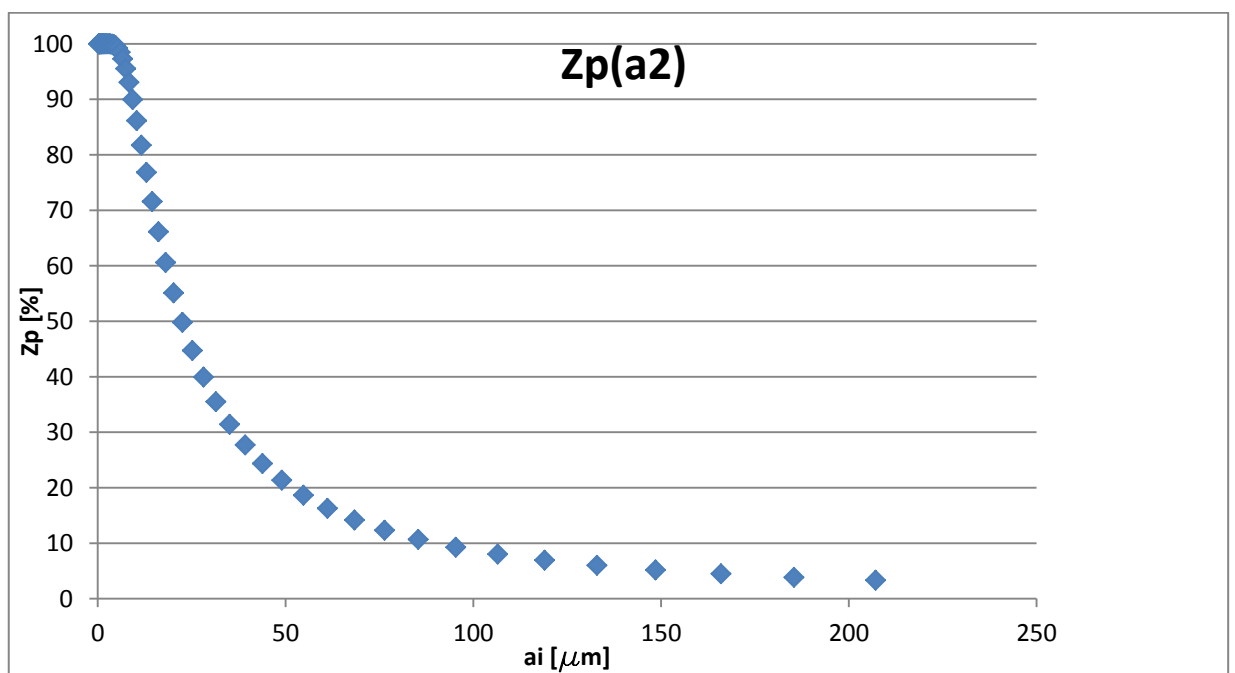
6.3.2 Výpočet celkové odlučivosti

Výpočet celkové odlučivosti byl proveden vyhodnocením grafického řešení v MATLABU. Princip grafického řešení je na obr. 67.

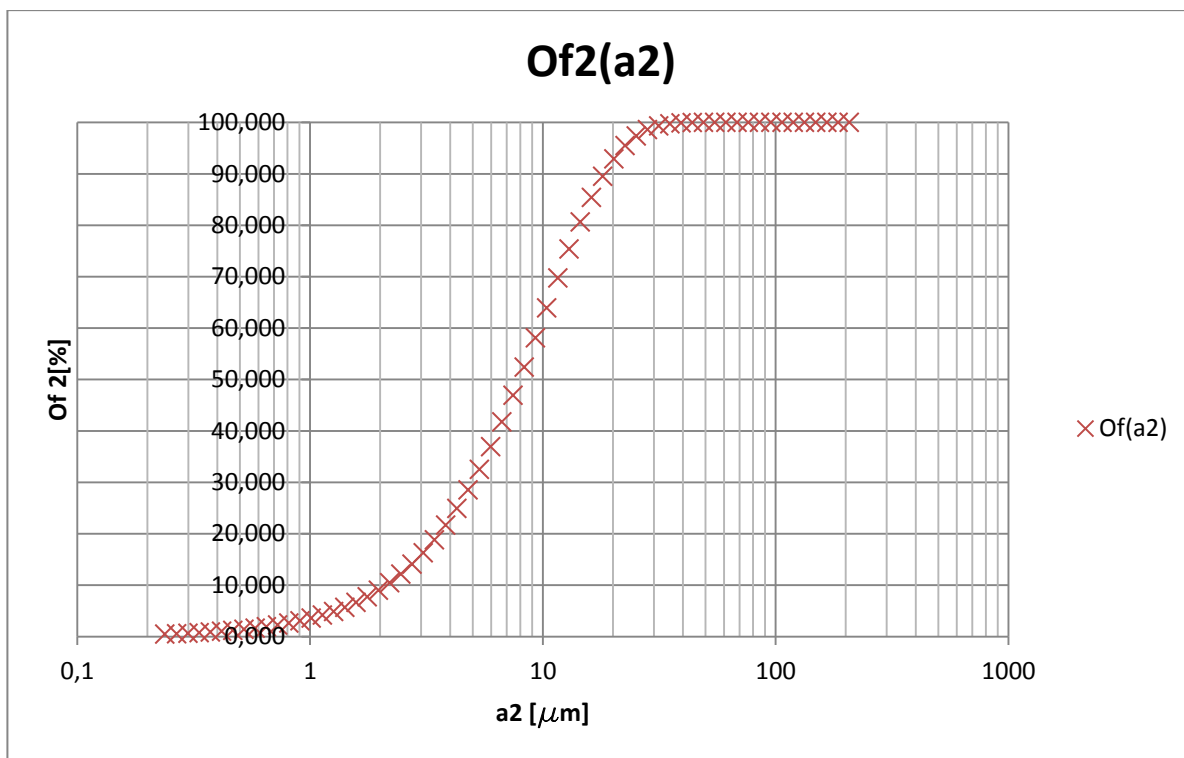


Obr. 67 Grafické řešení výpočtu celkové odlučivosti [9]

Křivka propadu $Z_p(a_2)$ je na obr. 68, křivka frakční odlučivosti $O_f(a_2)$ je na obr. 69 a závislost $Z_p(a_2)$ na $O_f(a_2)$ na obr. 70.

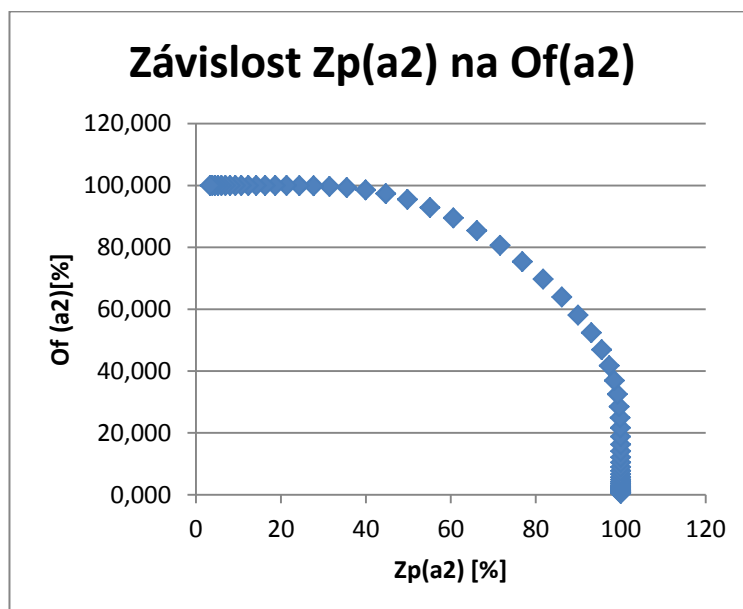


Obr. 68 Křivka propadu $Z_p(a_2)$



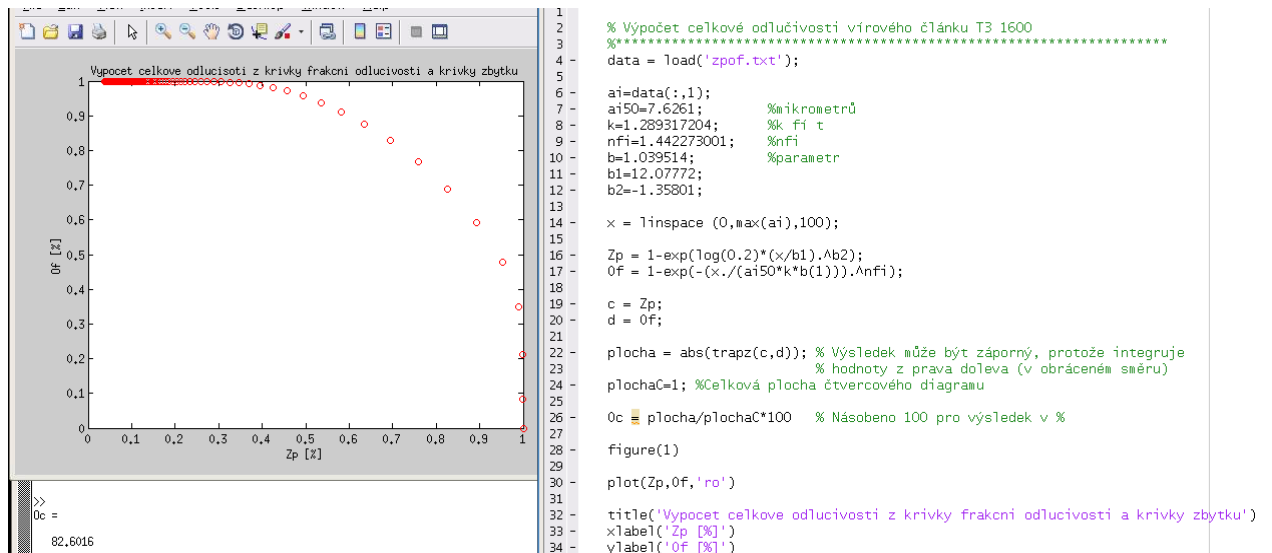
Obr. 69 Křivka frakční odlučivosti $Of(a_2)$

Pozn.: Pro proložení velikosti částic a_2 byl použit stejný exponenciální model se stejnými parametry, jako v *kap. 6.2.3*. Zde je pouze ten rozdíl, že se musela stanovit nová hodnota pro $a_{2(50)}$, protože se celá křivka posouvá doleva. V tomto případě bylo $a_{2(50)} = 7,8 \mu\text{m}$.



Obr. 70 Závislost $Z_p(a_2)$ na $Of(a_2)$

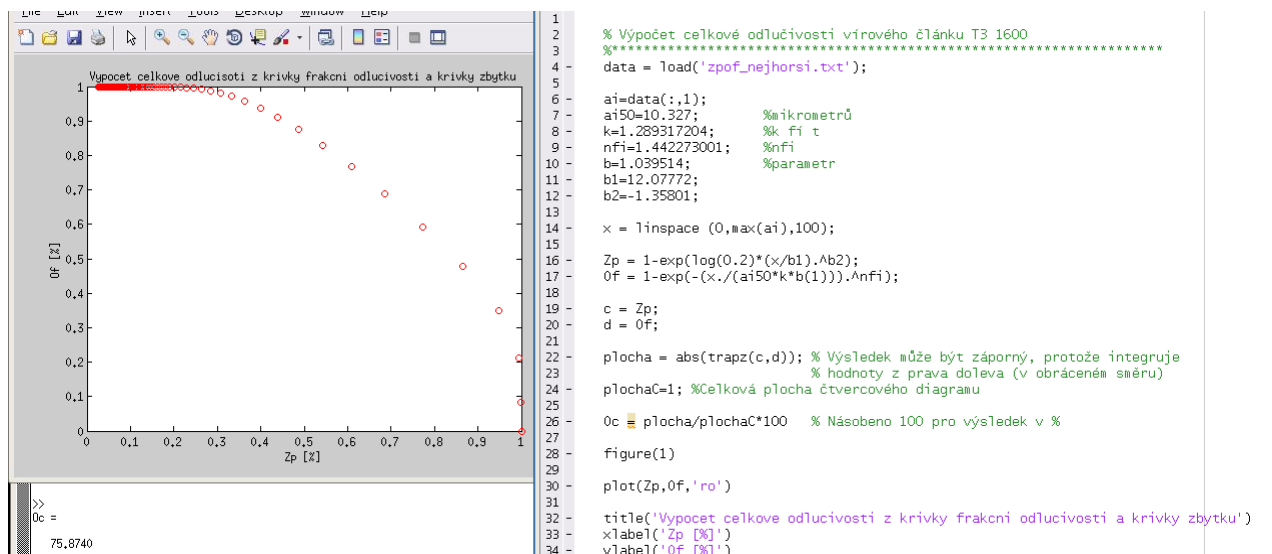
Velikost plochy pod křivkou byla stanovena v MATLABU pomocí funkce trapz (funkce pro diskrétní integraci). Vypracování v MATLABU je na *obr. 71*.



Obr. 71 Vyhodnocení celkové odlučivosti

Jak vyplývá z *obr. 71*, tak celková odlučivost pro stav 2 vírového článku T3 1600 je **Oc = 82,6%**.

Protože na chladícím okruhu při zimním provozu dojde ke snížení průtoku – není potřeba ochlazovat provoz (*kap. 3.4*), tak byla spočítána i celková odlučivost pro tento stav, kdy klesne fiktivní rychlost ve vírovém článku na $1,76 \frac{m}{s}$ (ostatní parametry zůstanou zachovány). Výsledek výpočtu je na *obr. 72*, z kterého vyplývá, že celková odlučivost pro tento stav **Oc = 75,9%**.



Obr. 72 Vyhodnocení celkové odlučivosti pro zimní provoz chladícího okruhu

6.4 Uspořádání vírových článků a stanovení základních zástavbových rozměrů

Jak vyplývá z *kap. 6.2 (vztah 6.2-1)*, řešeno musí být uspořádání 3 článků. Vícečlánekové sestavy se dají rozdělit na dvě základní provedení, a to skupinové odlučovače a bateriové uspořádání.

Skupinové odlučovače mají pro jednotlivé články většinou řešen samostatný vstup a bývají většinou v kruhovém uspořádání. Výmetné otvory článků bývají zavedeny do společné výsypky a výstupní otvory pro vyčištěné médium bývají zavedeny do společné výsypky.

Bateriové uspořádání se skládá z většího množství menších článků. Bývá charakteristické tím, že buď všechny články, nebo skupina mají společný vstup a články jsou zaústěny do společné výsypky. Průměry článků u bateriového uspořádání jsou v rozmezí kolem 160 – 630 mm a jejich počet je od 6 až do několika set. [8]

- **Parametry pro výběr uspořádání vírových článků**

V rámci této diplomové práce se uspořádání řeší z důvodu získání zástavbových rozměrů. Nebudou zde proto blíže rozebírány možné typy konstrukcí, ani řešení rozvodů vzduchu apod.

Bude se uvažovat, že u všech provedení bude zajištěno rovnoměrné rozdělení toku znečištěného média.

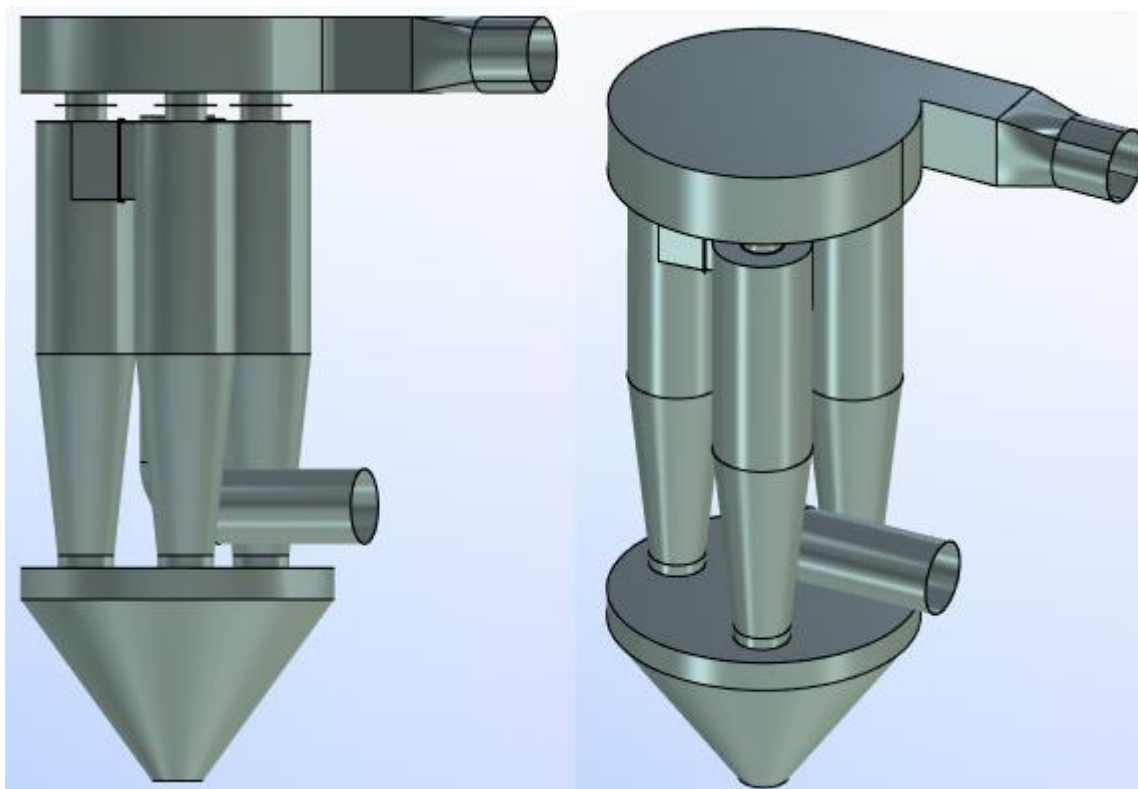
- **Výběr provedení uspořádání vírových článků**

Z textu výše vyplývá, že **bateriové uspořádání není vhodné**. Skládá se z většího množství menších článků, což v našem případě znamená zvětšení rizika zanášení, ucpávání apod.

Uspořádání bude tedy provedeno formou skupinového odlučovače ve dvou provedeních, a to s kruhovým uspořádáním a rovným uspořádáním.

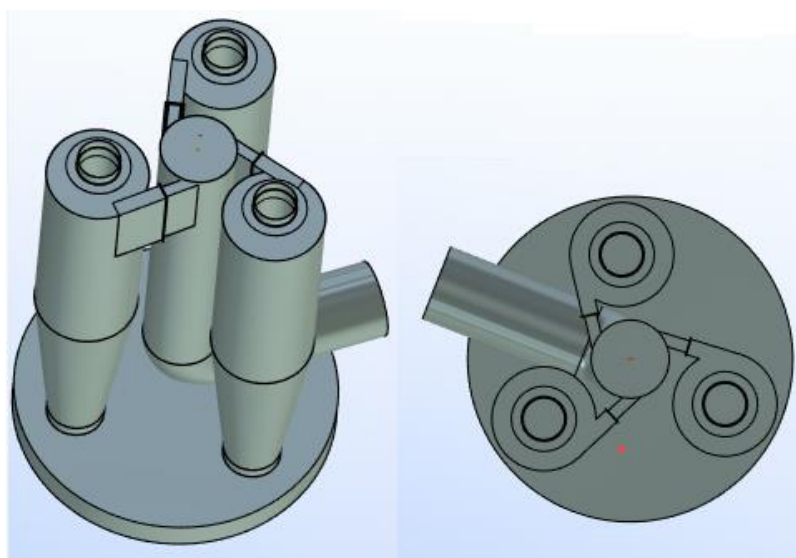
6.4.1 Skupinový odlučovač s kruhovým uspořádáním

Pro parametry vírového článku T3 1600 (*kap. 6.2*) byl vytvořen 3D model skupinového provedení s kruhovým uspořádáním (*obr. 73*).



Obr. 73 3D model skupinového provedení s kruhovým uspořádáním

Vzduch je do jednotlivých článků rozváděn centrálním potrubím, z kterého jsou tangenciální výstupy k jednotlivým článkům. Všechny články jsou napojeny na centrální komoru, odkud je tangenciálně odváděn vyčištěný vzduch. Odvod odloučených prachových částic je do společné výsypky, na kterou by byl ve spodní části připojen turniket, který by uzavíral oběh vůči okolní atmosféře. Uspořádání rozvodu vzduchu do článků je vidět na *obr. 74*.



Obr. 74 Rozvod vzduchu do článků

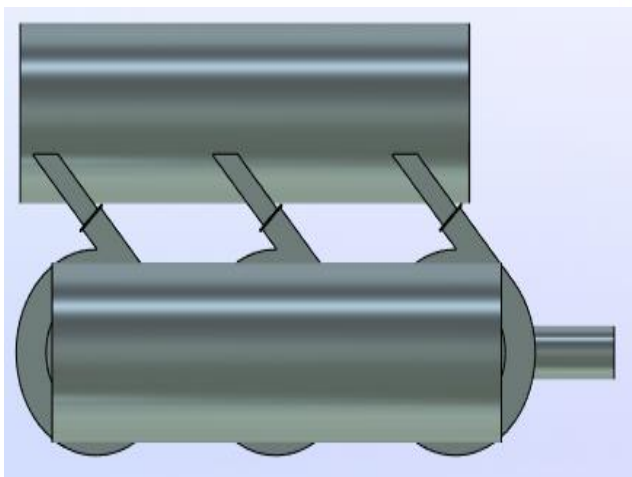
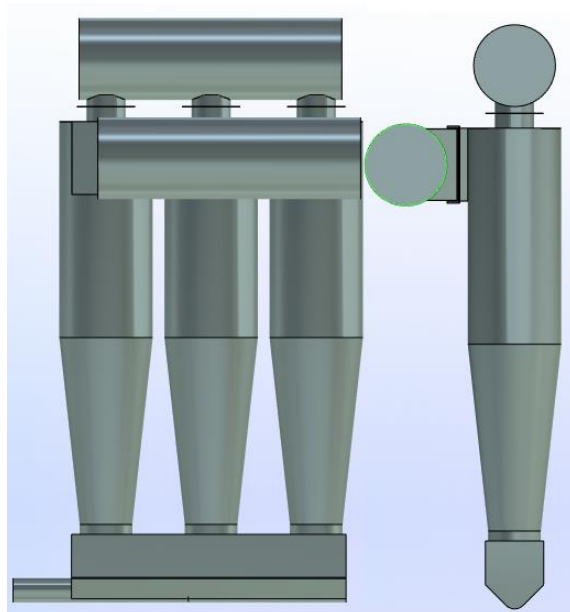
Zástavbové rozměry tohoto uspořádání jsou:

- Celková výška: 11,5 m
- Průměr v nejširším místě: 5 m

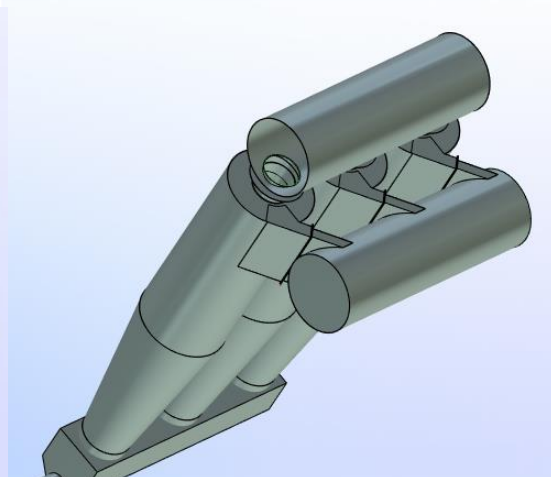
6.4.2 Skupinový odlučovač s rovným uspořádáním

Pro parametry vírového článku T3 1600 (*kap. 6.2*) byl vytvořen 3D model skupinového provedení s rovným uspořádáním (*obr. 75*).

Vírové články jsou uspořádány do řady a vzduch je do nich přiváděn hlavním potrubím, které je na konci zaslepeno. Odvod vyčištěného vzduchu je pak sběrným potrubím nad články. Odvod odloučených částic je sveden do podlouhlé výsypky se šnekem, který dopravuje materiál k turniket, a ten kromě dávkování na dopravníkový pas odděluje soustavu s odlučovači od okolní atmosféry. Uspořádání rozvodu vzduchu do článků je na *obr. 76*.



Obr. 76 Rozvod vzduchu do článků



Obr. 75 3D model skupinového provedení s rovným uspořádáním

Zástavbové rozměry tohoto uspořádání jsou:

- Celková výška: 9,5 m
- Celková délka: 5,2 m
- Celková šířka: 3,2 m

6.4.3 Výběr výsledné varianty

Největší váhu při volbě výsledné varianty má zastavěný prostor. Nejmenší zastavěný prostor z výše uvedených řešení má skupinový odlučovač s rovným uspořádáním. Z tohoto důvodu bude za **výslednou variantu vybrán skupinový odlučovač s rovným uspořádáním**. Jeho nevýhodou oproti kruhovému uspořádání je zajištění rovnoměrného přívodu vzduchu do článků (řešení těchto problémů bývá „know-how“ výrobců). Dá se to řešit například vhodnými vestavbami apod.

- **Dodatky k provedení výsledné varianty**

Musí být zajištěn přístup do sběrného potrubí nad články pro případ údržby. Musí být přístup do článků nejlépe v kuželové části, a to z důvodu údržby. Také se musí zařídit přístup do výsypky. Do kuželové části článku by měl být zabudován systém na odstraňování usazenin (buď na bázi mechanických oklepů nebo profukem tlakového vzduchu).

Významně se doporučuje opatřit vnitřek vírových článků protiabrazivní úpravou, protože odlučované částice jsou abrazivní.

6.5 Závěr kapitoly

V této kapitole byl navržen cyklonový odlučovač ve formě skupinového odlučovače s rovným uspořádáním, který se skládá se 3 vírových článků typu T3 1600.

Dále byla určena celková odlučivost pro nejjemnější prach na provozu LAVIII. Jednalo se o prach chladícího bubnu (vzorek LAV_II.CH). Celková odlučivost pak byla stanovena pro letní provoz, kdy je průtok $55\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$ a pro zimní, kdy je průtok $30\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$.

Oc = 82,6% pro letní provoz chladícího okruhu.

Oc = 75,9% pro zimní provoz chladícího okruhu.

Pro sušící okruh budou celkové odlučivosti vždy větší než $Oc = 82,6\%$.

Důležité je zkontrolovat, zda současná textilie filtrů je schopna filtrovat i pouze malé prachové částice, aby nedocházelo k zacpání tkaniny, což by vedlo k zhoršení problému místo jeho vyřešení.

7. UMÍSTĚNÍ CYKLONOVÝCH ODLUČOVAČŮ

V této kapitole bude řešeno umístění cyklonových odlučovačů (*kap. 6*) ve stávajícím provozu (*kap. 3*). V rámci této kapitoly dle požadavků zadavatele diplomové práce bude vytvořen 3D model haly LAVIII, dále tento model bude doplněn o zástavbu v místě vyhraněném pro umístění cyklonových odlučovačů. Dále bude v 3D modelu zobrazen stav s usazenými cyklonovými odlučovači a s tím související změnou dopravní trasy vzduchu.

Dále bude tato kapitola obsahovat naznačení řešení odvodu odloučeného materiálu z proudu vzduchu zpět do výroby.

7.1 Popis modelované haly

Hala je tvořena z různých nosíkových konstrukcí. Je značně výškově členitá a obsahuje velké množství schodišť, mezipater a ramp (*obr. 77*).



Obr. 77 Fotografie členitosti haly

Modelovat se budou nosné konstrukce v rámci mokré strany a suché strany provozu. Dále schodišťová věž s výtahem. Velín a kompresorovna budou provedeny schematicky.

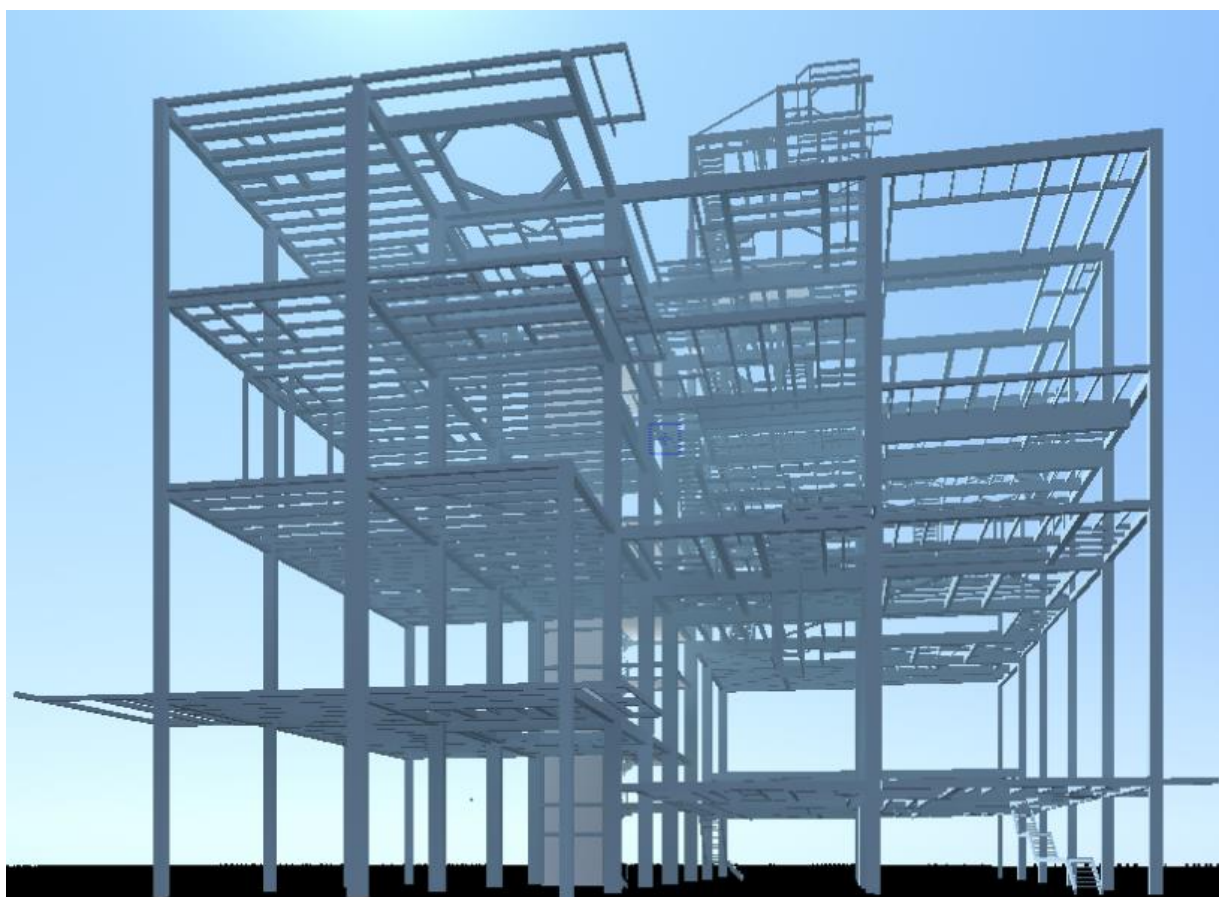
7.2 3D model haly

Hala byla modelována pouze ve formě nosníků bez opláštění. Modelována byla SS, MS provozu a schodišťová věž s výtahem. Velín byl modelován pouze schematicky.

3D model haly byl utvořen na základě 2D výkresů, které jsem obdržel od společnosti Lovochemie. Z důvodů ochrany majetku výše jmenované společnosti nebudou tyto výkresy obsaženy v jakékoli formě v rámci DP.

Hala byla modelována v programu ArchiCAD, kdy do jednotlivých výškových rovin byly vkládány 2D výkresy v AutoCADu a z nich byly obtažením a vytahováním tvořeny prostorové konstrukce. Výsledné vizualizace jsou na *obr. 78* a *80*. Pro porovnání se skutečným stavem jsou *obr. 79* a *81*.

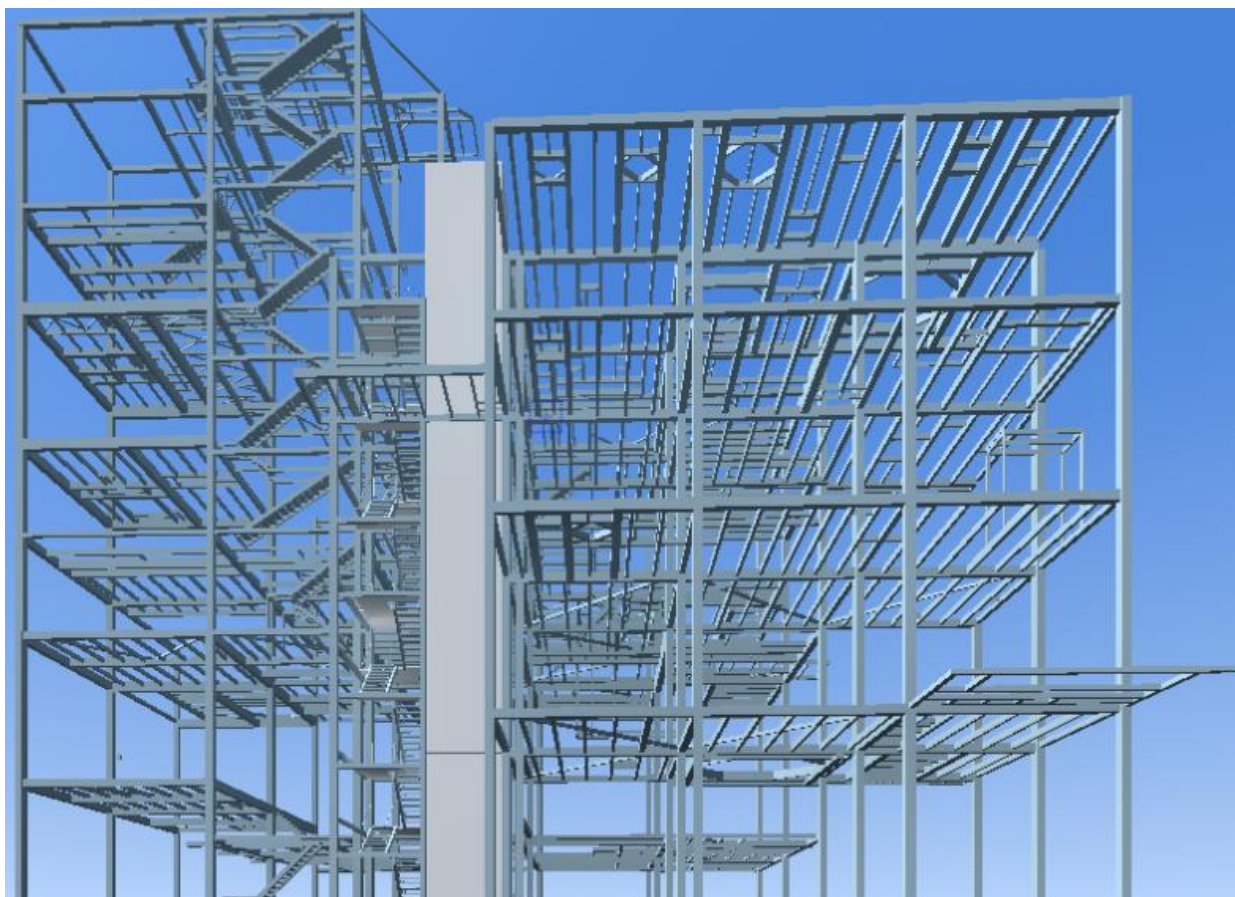
Označení pater bylo vytvořeno vlastní a neodpovídá AutoCADovým výkresům. Pro orientaci jsou všechny patra proto ještě s výškovým označením.



Obr. 78 3D model haly LAVIII zepředu



Obr. 79 Fotka haly LAVIII zepředu (vlevo MS a vpravo oplášťovaná SS)



Obr. 80 3D model haly LAVIII (pohled z levého boku)



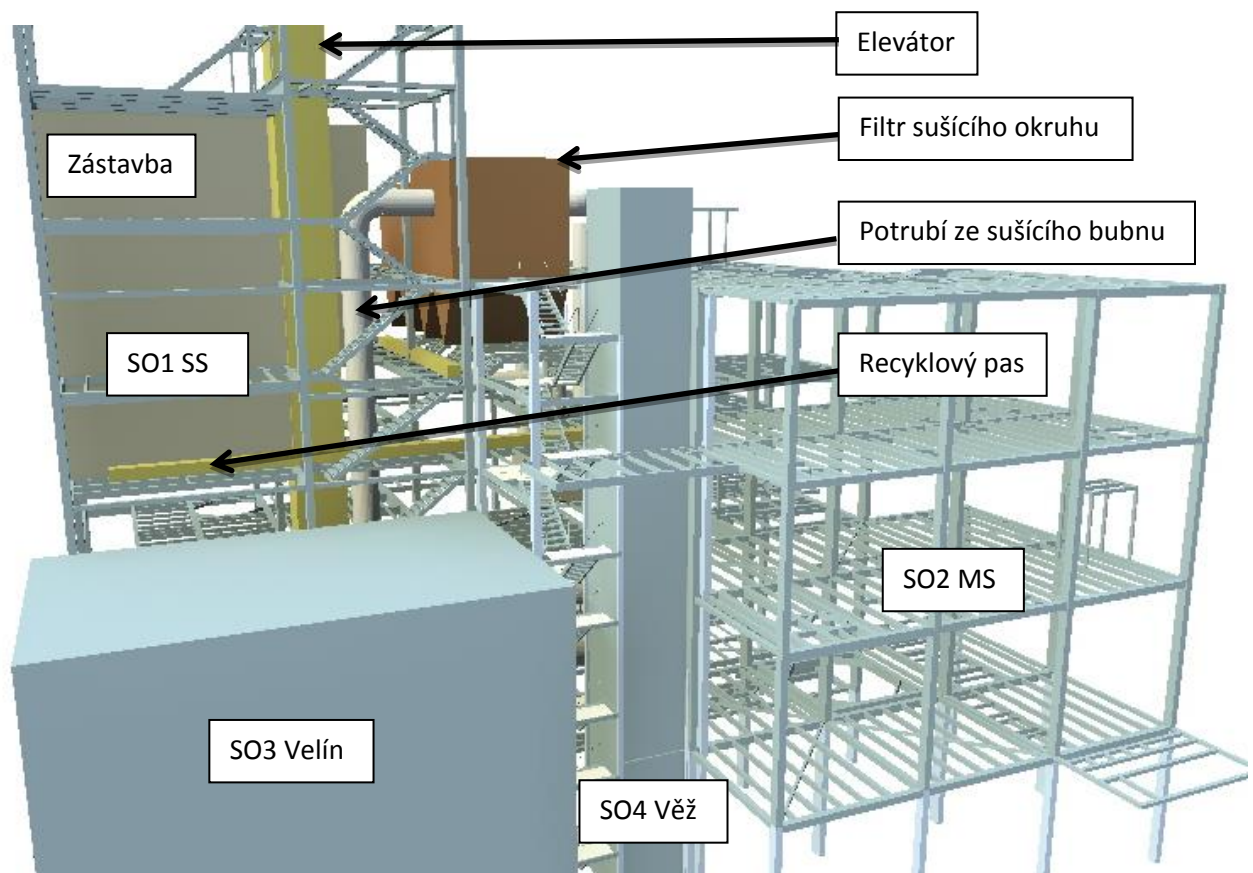
Obr. 81 Fotka haly LAVIII z levého boku

7.3 3D model haly s hlavní zástavbou

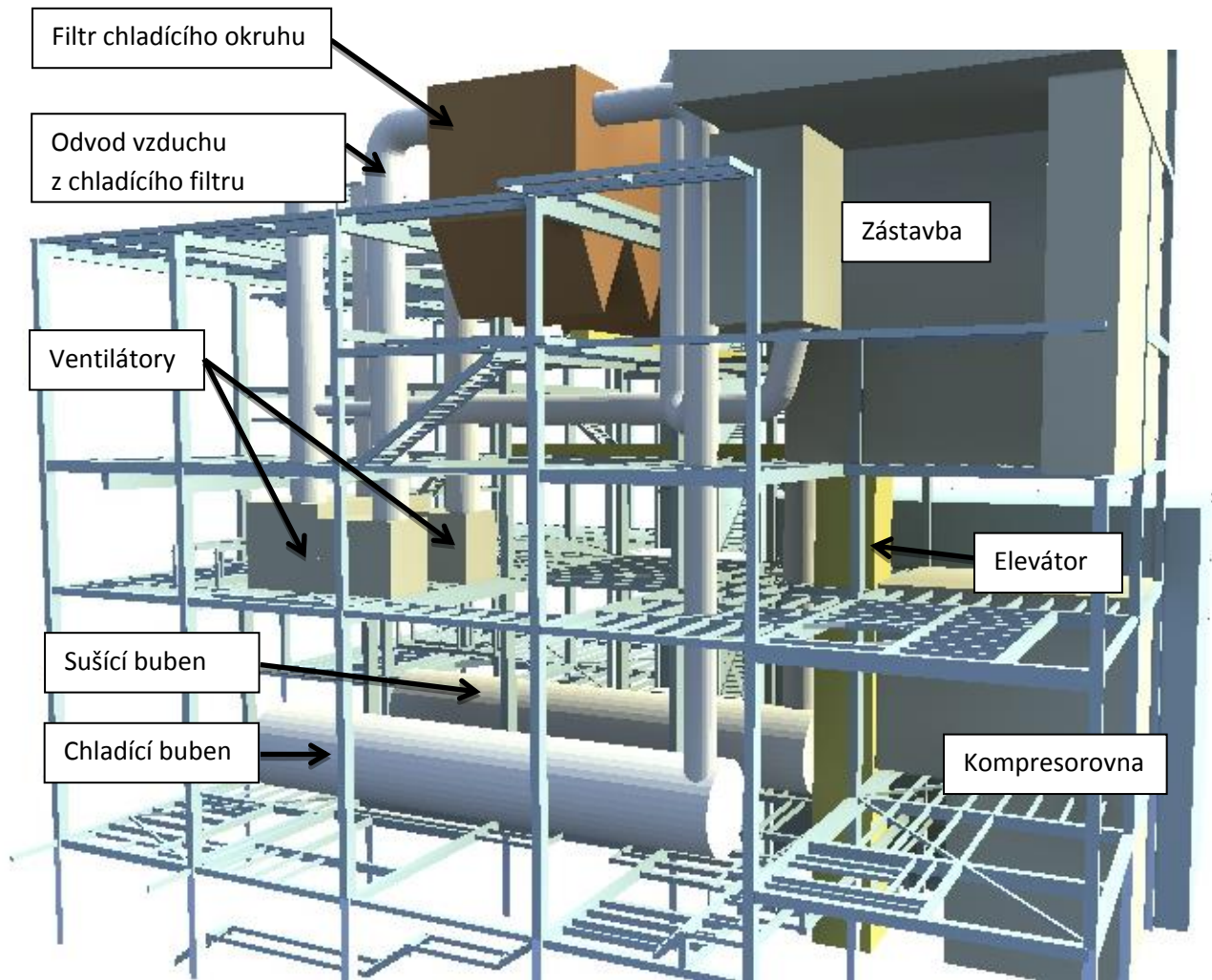
Hala byla osazena hrubými modely důležitých prvků pro řešení této DP:

- Velín
- Kompresorovna
- Elevátor
- Chladicí a sušící buben
- Potrubí odvádějící znečištěný vzduch z bubnů do filtrů
- Filtry
- Výstupní potrubí z filtrů do ventilátorů
- Ventilátory
- Výstupní potrubí z ventilátorů
- Ostatní zástavba v blízkosti filtrů

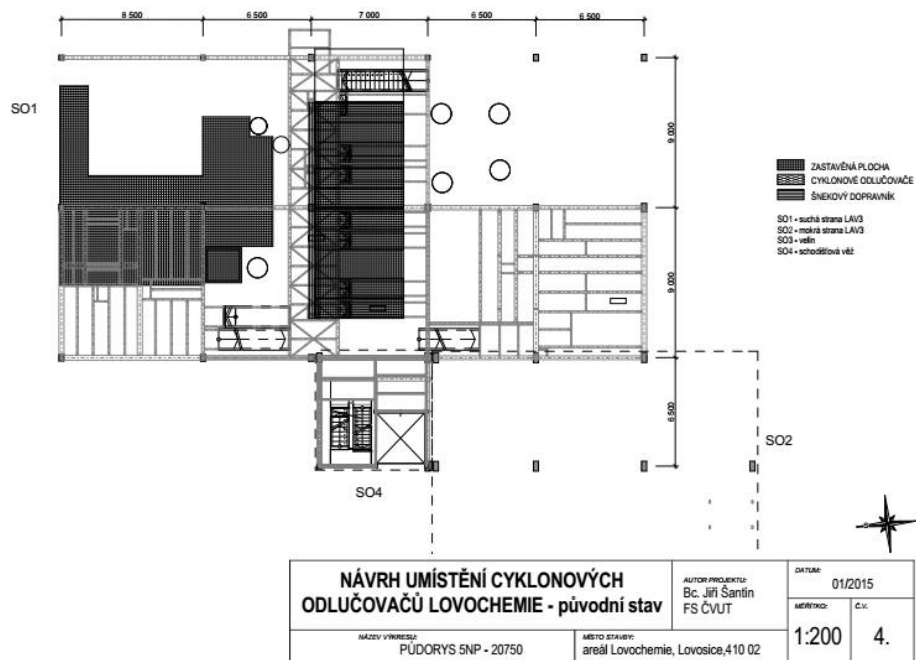
Výsledný 3D model se stávající zástavbou je vidět na *obr. 82* a *83*. Půdorys na patře obsahující spodek filtrů na *obr. 84*.



Obr. 82 Stávající zástavba LAVIII (z levého boku)



Obr. 83 Stávající zástavba LAVIII (z pravého boku)



Obr. 84 Půdorys 5 NP (výškově 20,75 m)

Zbylé vizualizace a půdorysy jsou obsaženy v příloze 7.

7.4 Určení přibližného místa umístění cyklonových odlučovačů

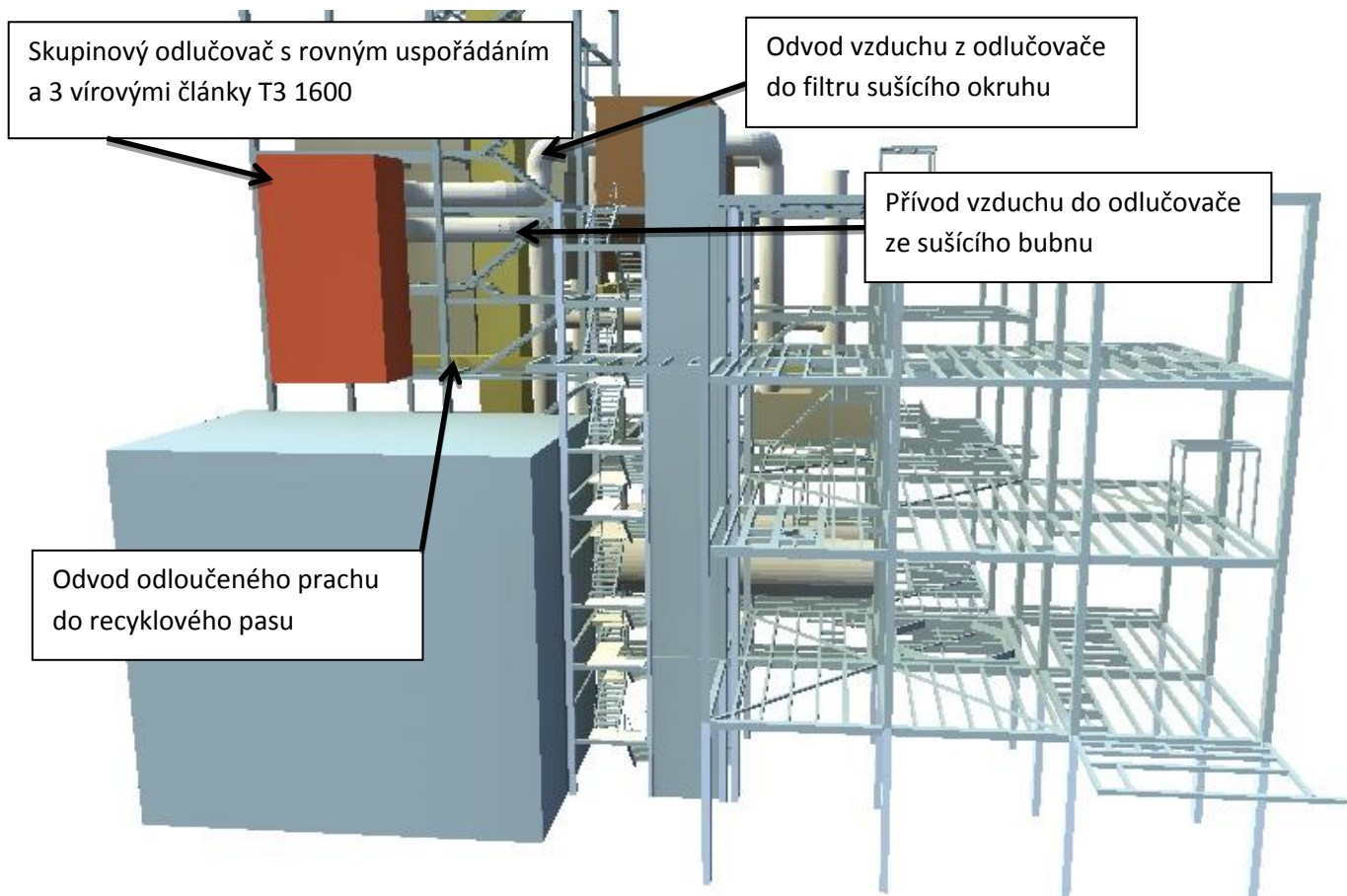
Z *obr. 82* vyplývá, že jedno z nejvhodnějších míst pro umístění skupinového odlučovače s rovným uspořádáním pro sušící okruh je na venkovní straně SO3 nad velínem. Výhodami tohoto umístění je blízkost k recyklovému pasu, kam by se mohl svádět odloučený prach. Krátká vzdálenost k potrubí, které by dopravovalo znečištěný vzduch do odlučovače. S výhodou by se pak také mohlo využít střechy velína pro vytvoření základny opěrné a nosné konstrukce odlučovače. Zároveň by byl zajištěn pohodlný přístup k odlučovači. Další důvod proč umístit odlučovač zde je snadná montáž, kde nic nepřekáží. Nevýhodou je nutná izolace všech částí, které budou mimo budovu SO3. Doporučuji místo izolace navařit kolem skupinového odlučovače a jeho potrubí konstrukci, která by se dala zaplechovat a zaizolovat. Usnadní se tím izolování poměrně složitých tvarů a hlavně se zjednoduší a zbezpečí přístup k odlučovači, a to i za nevhodných klimatických podmínek.

Z *obr. 83* vyplývá, že jedno z nejvhodnějších umístění skupinového odlučovače pro chladící okruh je v rámci SO3, a to zasazením do stávající zástavby, kde bok skupinového odlučovače bude těsně vedle vnitřní stěny SO3. Výhodou tohoto umístění je krátká vzdálenost k přívodnímu potrubí s nečistotami. Odloučený prach lze odvést v rámci tohoto umístění na dvě místa. Buď ideálně pomocí skluzu k šneku u chladícího bubnu. Nebo k nefunkčnímu filtru, kde by se dalo napojit na jeho odvod odloučených částic. Nevýhodou této druhé varianty je, že odvod od odlučovače k tomuto svodu by musel překonávat velký výškový rozdíl.

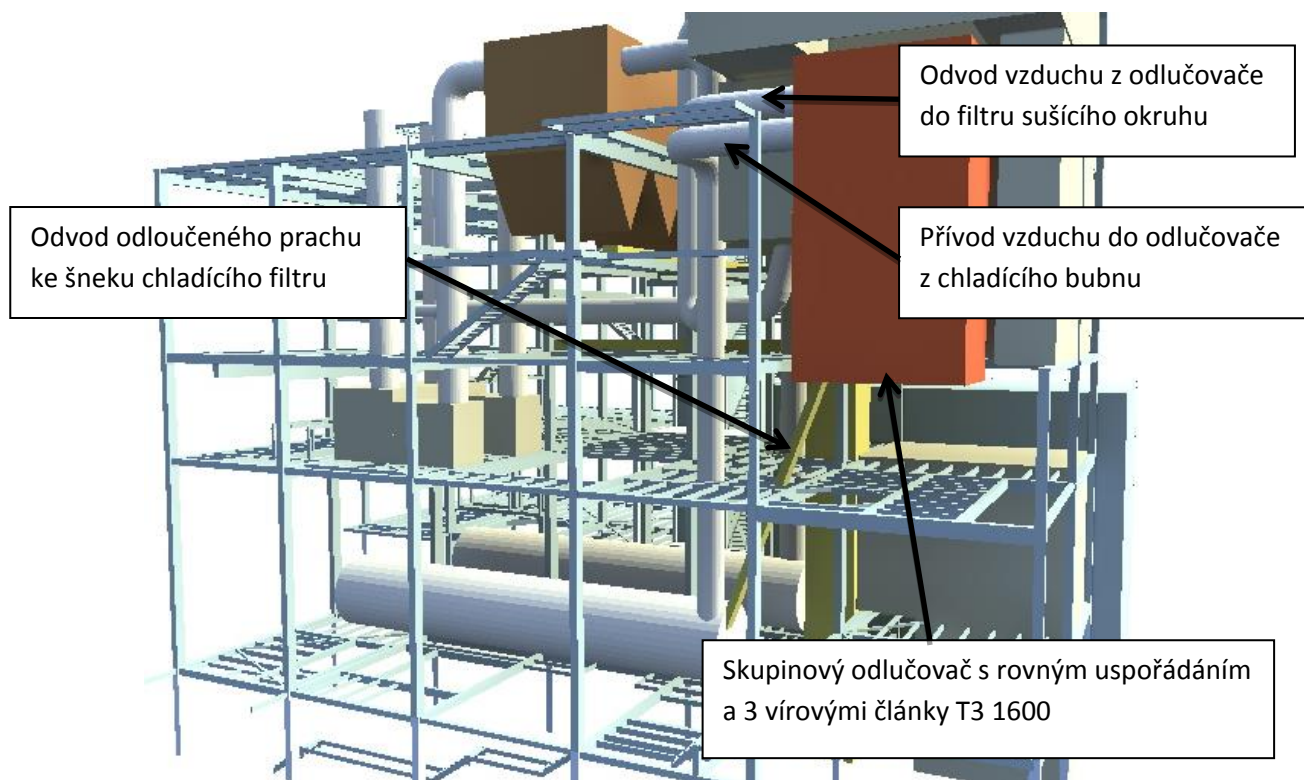
7.5 3D model umístění skupinových odlučovačů s rovným uspořádáním v provozu LAV III

Podle *kap. 7.4* bylo provedeno umístění odlučovačů. Výsledné umístění je patrné z *obr. 85* a *86*. Půdorys je na *obr. 87*.

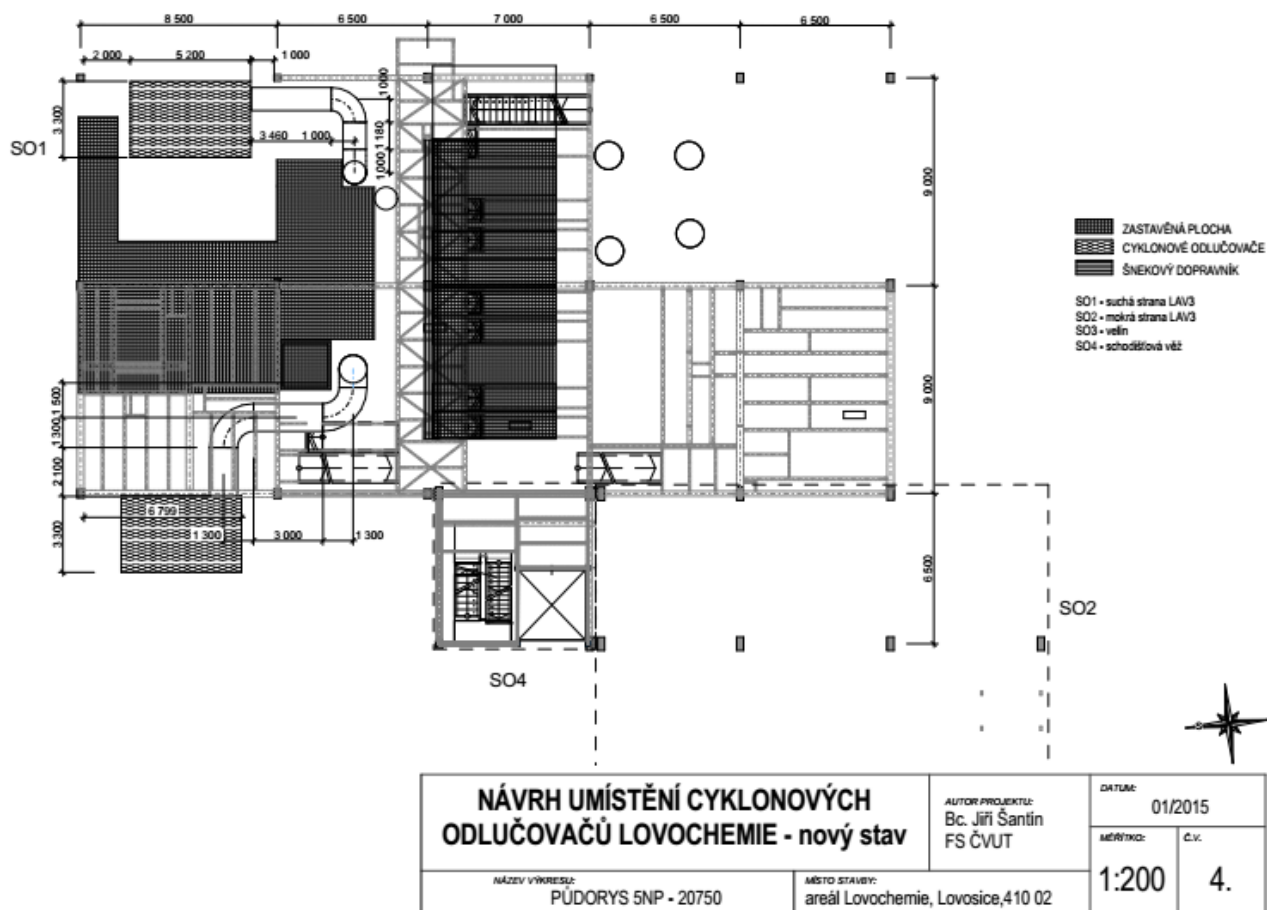
Obr. 82 s *85*, *83* s *86*, *84* s *87* lze mezi sebou srovnat. Jsou to stejné pohledy a půdorysy před a po umístění skupinových odlučovačů.



Obr. 85 Umístění skupinového odlučovače s rovným uspořádáním v rámci sušícího okruhu



Obr. 86 Umístění skupinového odlučovače s rovným uspořádáním v rámci chladícího okruhu



Obr. 87 Půdorys 5 NP (výškově 20,75 m)

7.6 Závěr kapitoly

V této kapitole bylo popsáno vytvoření:

- 3D modelu haly LAVIII
- 3D modelu stávajícího stavu
- 3D modelu nového stavu se skupinovými odlučovači

Na základě těchto modelů byla vytvořena výkresová dokumentace obsahující půdorysy jednotlivých pater. Výkresová dokumentace je obsažena v příloze 7.

Výsledkem této kapitoly pak je, že umístění skupinových odlučovačů na provoz LAVIII je reálné.

8. KONTROLA TLAKOVÉ ZTRÁTY PRO NOVÝ PROVOZNÍ STAV

Tato kapitola je důležitou částí DP, kde se bude prověřovat, zda navrhované změny v soustavě rozvodu znečištěného vzduchu z chladicího a sušicího bubnu do hadicových tkaninových filtrů splňují požadavky na maximální tlakovou ztrátu, kterou jsou schopny pokrýt ventilátory na provozu LAVIII.

8.1 Parametry ventilátorů

Vychází se z *kap. 3.5* a z technické dokumentace dodavatele ventilátorů. [13]

- Ventilátory
 - Maximální výkon $91\,500 \frac{Nm^3}{h}$ [12]
 - Otáčky 1190 min^{-1} [12]
 - Maximální přípustná tlaková ztráta do 2,5 kPa [13]
- Motor ventilátorů
 - Maximální výkon 132 kW [13]
 - Maximální otáčky 1480 min^{-1} [12]

8.2 Tlaková ztráta skupinových odlučovačů s rovným uspořádáním

Tlaková ztráta se bude počítat pouze pro tři stavy. Tlaková ztráta pro skupinový odlučovač na sušicím okruhu. Tlaková ztráta na chladicím okruhu při letním a zimní provozu. Výpočet nebude třeba dělit ještě podle výrob jednotlivých produktů (LAV/LAD), protože budou uvažovány nejhorší možné podmínky (nejmenší možná teplota na daném provozu a největší možný průtok) na sušicím a chladicím okruhu dle *kap. 3.4*.

Tlaková ztráta pro skupinový odlučovač bude počítána jako tlaková ztráta jednoho vírového článku T3 1600, protože zapojení článků je paralelně.

- Tlaková ztráta pro skupinového odlučovače

$$\Delta p_{zs} = \xi \cdot \frac{v_{2s}^2}{2} \cdot \rho_{vz} \quad (8.2-1)$$

Kde, ξ = ztrátový součinitel vírového článku T3 1600

v_{2s} = fiktivní rychlost ve vírovém článku T3 1600

ρ_{vz} = hustota vzduchu při dané teplotě a tlaku

Výpočet bude realizován v *tab. 14*.

Tab. 14 Výpočet tlakové ztráty skupinového odlučovače

| Tlaková ztráta skupinového odlučovače | T | V | p | w | Dc | μ | ρ_{vz} | ξ | Δp_{zs} |
|---------------------------------------|------|---------------------|-------|-------|-----|----------|----------------------|-------|-----------------|
| | [°C] | [m ³ /s] | [Pa] | [m/s] | [m] | [Pa . s] | [kg/m ³] | [-] | [Pa] |
| Sušící okruh před filtry | 80 | 5,6 | 98825 | 2,79 | 1,6 | 2,10E-05 | 0,99 | 150 | 574 |
| Chladicí okruh před filtry (L) | 75 | 6,8 | 98825 | 3,38 | 1,6 | 2,08E-05 | 1 | 150 | 858 |
| Chladicí okruh před filtry (Z) | 75 | 3,7 | 98825 | 1,84 | 1,6 | 2,08E-05 | 1 | 150 | 254 |

8.3 Tlaková ztráta soustavy, která vznikla změnou stávajícího provozu

Bude se zde počítat tlaková ztráta vzniklá vlivem přidaného potrubí a kolen. Tlaková ztráta starých rozvodů, které by se měli v této části odečíst, protože už tam byly, se odečítat nebudou. Vznikne tak malá rezerva na straně bezpečnosti.

Z přílohy 7 byla odečtena přidaná délka potrubí a počet kolen na chladicím a sušicím okruhu. Oproti tlakové ztrátě skupinového odlučovače by tlakové ztráty třením a místní ztrátou koleny měly být zanedbatelné. Výpočet je obsažen v *tab. 15* a *16*.

Tab. 15 Výpočet tlakové ztráty přidaného potrubí

| | v | V | μ | ρ_{vz} | L | D | Re | kstř | k* | λ | Δp_z |
|---|-------|---------------------|----------|----------------------|-------|------|--------|----------|----------|-----------|--------------|
| | [m/s] | [m ³ /s] | [Pa.s] | [kg/m ³] | [m] | [m] | [-] | [m] | [-] | [-] | [Pa] |
| 1 | 7,13 | 5,60 | 2,10E-05 | 0,99 | 20,60 | 1,00 | 334274 | 1,00E-04 | 1,00E-04 | 1,52E-02 | 7,86 |
| 2 | 5,54 | 6,80 | 2,08E-05 | 1,00 | 19,50 | 1,25 | 332681 | 1,00E-04 | 8,00E-05 | 1,50E-02 | 3,60 |
| 3 | 3,02 | 3,70 | 2,08E-05 | 1,00 | 19,50 | 1,25 | 181018 | 1,00E-04 | 8,00E-05 | 1,65E-02 | 1,17 |

* 1 = přidané potrubí na sušicím okruhu

* 2 = přidané potrubí na chladicím okruhu (letní provoz)

* 3 = přidané potrubí na chladicím okruhu (zimní provoz)

Nejprve byla určena rychlost v potrubí či kolenu na základě znalosti průtoku a průřezu

$$v = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d^2} \quad (8.3-1)$$

Poté bylo vypočítáno Reynoldsovo číslo (8.3-2), na kterém závisel výběr vhodného empirického vztahu pro výpočet součinitele třecích ztrát.

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho_{vz}}{\mu} \quad (8.3-2)$$

Dle *tab. 15* vyšlo Reynoldsovo číslo pro všechny tři varianty větší než 10^5 , takže pro výpočet součinitele třecích ztrát byl použit vztah:

$$\lambda = \left\{ 2 \cdot \log \left[0,27 \cdot k^* + \left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} \quad (8.3-3)$$

Tab. 16 Výpočet tlakové ztráty přidaných kolen

| | n | ξ | ρ_{vz} | v | Δp_{zko} |
|---------------------------|-----|-------|----------------------|-------|------------------|
| | [-] | [-] | [kg/m ³] | [m/s] | [Pa] |
| Kolena sušící okruh | 8 | 0,3 | 0,98658 | 7,13 | 60,19 |
| Kolena chladící okruh (L) | 5 | 0,3 | 1 | 5,54 | 23,03 |
| Kolena chladící okruh (Z) | 5 | 0,3 | 1 | 3,02 | 6,82 |

Ztrátový součinitel skládaných kolen byl dán výrobcem. [11] Výpočet byl proveden dle vztahu $\Delta p_{zko} = \xi \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho_{vz}$

(8.3-4)

8.4 Celková tlaková ztráta

Celková tlaková ztráta je dána součtem tlakové ztráty skupinového odlučovače, přidaného potrubí a přidaných kolen.

Výsledná tlaková ztráta je vidět v *tab. 17*.

Tab. 17 Výpočet celkové tlakové ztráty

| | | Δp_{zcelk} |
|--------------------------------|--------|--------------------|
| | | [Pa] |
| Celková přidaná tlaková ztráta | S | 642,05 |
| | CH (L) | 884,49 |
| | CH (L) | 261,97 |

8.5 Kontrola ventilátorů

Maximální tlaková ztráta, kterou jsou schopny ventilátory pokrýt je 2,5 kPa. Z *přílohy 3* vyplývá, že maximální tlaková ztráta, při které byl sušící a chladící okruh provozován byla 1,8 kPa. Po začlenění skupinových odlučovačů do systému vyplývá:

- Maximální tlaková ztráta sušícího okruhu = $1,8 + 0,642 = 2,442$ kPa

- Maximální tlaková ztráta chladicího okruhu (L)= $1,8 + 0,885 = 2,685 \text{ kPa}$
- Maximální tlaková ztráta chladicího okruhu (Z)= $1,8 + 0,262 = 2,062 \text{ kPa}$

8.6 Závěr kapitoly

Pro maximální průtok sušícího okruhu zvládnou ventilátory v nejnepříznivějších podmínkách pokrýt tlakovou ztrátu. Budou ale provozovány skoro na maximální výkon.

Pro maximální průtok chladicího okruhu za letního provozu ventilátory nezvládnou pokrýt tlakovou ztrátu. Musí se zdůraznit, že výpočet byl proveden s velkou bezpečností a za předpokladu, že tlaková ztráta na filtrech bude hnána do extrémních hodnot. Pokud by se ventilátor odstavil při tlakové ztrátě, která se standartně uvažuje 1,2 kPa, tak bohatě stačí pokrýt tlakovou ztrátu.

Pro maximální průtok chladicího okruhu za letního provozu zvládnout ventilátory s velkým předimenzováním pokrýt tlakovou ztrátu. Navržené odlučovače by měly snížit zanášení filtrů a tím i snížit jejich tlakovou ztrátu.

9. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V rámci této kapitoly bude řešena návratnost investice. Ekonomické zhodnocení bude provedeno pouze rámcově.

9.1 Stanovení základních parametrů zhodnocení

- Průměrná doba odepisování majetku: 6 let [12]
- Diskontní sazba: 10 % [12]

9.2 Úspora nového navrhovaného provozního řešení oproti původnímu

Novým provozním stavem je snaha docílit snížení počtu odstávek za rok, nutných pro provozování filtrů na sušicím a chladicím okruhu provozu LAVIII.

Stávajících odstávek bude uvažováno 5 za rok - viz obr. 26. [11] V rámci návrhu úspor bude vytvořeno 5 variant, kdy se bude uvažovat, že se optimalizací provozu dosáhlo odstranění ročně 1, 2, 3, 4 a v poslední variantě 5 odstávek.

• Nacenění odstávky

Odstávka v sobě zahrnuje kromě ztráty na hnojivu další náklady spojené s výměnou hadic a údržbou. Nacenění odstávky proto bude provedeno podle reálných údajů poskytnutých společností Lovochemie. Ztráta způsobená odstávkou je popsána krycím příspěvkem, který je vztažen na tunu hnojiva a zahrnuje v sobě veškeré náklady spojené s odstávkou.

- Krycí příspěvek: $1500 \frac{\text{Kč}}{\text{t}}$

Z poskytnutých dat jsem vybral nejmenší krycí příspěvek. Obecně se tento příspěvek pohybuje mezi 1500 – 1800 Kč za tunu ztraceného hnojiva.

- Časový fond na odstávku: 30 h
- Produkce hnojiva: $57 \frac{\text{t}}{\text{h}}$

Na základě výše uvedených informací jsou náklady na jednu odstávku ve výši **2 565 000 Kč**.

9.3 Nacenění investice

Bude provedeno pouze rámcově. Zahrnovat bude nacenění 2 skupinových odlučovačů, 2 turniketů, 2 dopravníků a stavebních prací, montáží a izolace. V rámci hrubého nacenění bude veškeré řešení MaR (měření a regulace) a elektroinstalací obsaženo v nacenění daných komponent.

- **Nacenění skupinových odlučovačů s rovným přívodem**

Nacenění bude provedeno zjednodušenou formou. Zvolí se materiál, získá se hmotnost sestavy skupinových odlučovačů a přes hustotu zvoleného materiálu a jeho kilogramovou cenu se zjistí materiálová cena skupinových odlučovačů. Pro výslednou cenu zahrnující vše od marketingu, zpracování projektu až po prodej, MaR apod. bude uvažována marže 500% materiálové ceny.

Materiál byl zvolen **17 022 (AK 2S)**. Jedná se o korozivzdornou chromovou ocel, která je vhodná pro plechy, broušené a leštěné výkovky, loupané tyče. V zušlechtěném stavu tato ocel odolává rezivění, zředěné kyselině dusičné a v pasivním stavu za studena i některým slabším organickým kyselinám. Důležité je zmínit to, že tato ocel je dobře tvárná za tepla, dobře obrobitelná s dobrou svařitelností (ta se pak mění v závislosti na obsahu C). Tato ocel se doporučuje na výrobu zařízení, které pracují se vzduchem, parou a vodou. [19]

Cena této oceli je kolem $55 \frac{\text{Kč}}{\text{kg}}$. Hmotnost skupinového odlučovače včetně potrubí a výsyvky odpovídá 9 t. Materiálová cena za dva skupinové odlučovače je 660 000 Kč. Celková cena je pak součinem materiálové ceny s marží, a tedy odpovídá **4 950 000 Kč**.

- **Nacenění zbylých položek**

- 2x turniket **300 000 Kč**
- 2x dopravník **600 000 Kč**
- Izolace, montážní práce, stavební práce, pomocné konstrukce včetně materiálu, vypracování projektu **1 900 000 Kč**.

9.4 Ekonomické zhodnocení investice

Sledovat se bude IRR (vnitřní výnosové procento), PDN (prostá doba návratnosti), RDN (reálná doba návratnosti) a NPV (čistá současná hodnota) všech 5 variant. Bude se uvažovat,

že celý projekt zaplatí společnost Lovochemie z vlastních zdrojů. Takže cizí kapitálové zdroje budou rovny 0 (úvěr na fixní kapitál, kontokorentní atp.).

Výpočty jsou obsaženy v elektronických přílohách. Výsledky ekonomické bilance jsou vidět v *tab. 18*.

Tab. 18 Výsledky ekonomické bilance

| Varianta 1. | | | Varianta 2. | | | Varianta 3. | | | Varianta 4. | | | Varianta 5. | | |
|-------------|------|------|-------------|-------|------|-------------|-------|------|-------------|-------|------|-------------|-------|------|
| IRR | 24 | % | IRR | 59 | % | IRR | 91 | % | IRR | 122 | % | IRR | 153 | % |
| PDN | 3,53 | roky | PDN | 1,55 | roky | PDN | 1,01 | roky | PDN | 0,75 | roky | PDN | 0,59 | roky |
| RDN | 3,59 | roky | RDN | 1,65 | roky | RDN | 1,09 | roky | RDN | 0,81 | roky | RDN | 0,65 | roky |
| NPV | 6,93 | mil | NPV | 24,62 | mil | NPV | 41,95 | mil | NPV | 59,29 | mil | NPV | 76,63 | mil |

9.5 Závěr kapitoly

Jak vyplývá z *tab. 18*, tak je tato optimalizace poměrně zajímavá od 2. varianty, kdy se odstraní minimálně 2 odstávky a RDN by bylo 1,65 roku.

10. ZÁVĚR

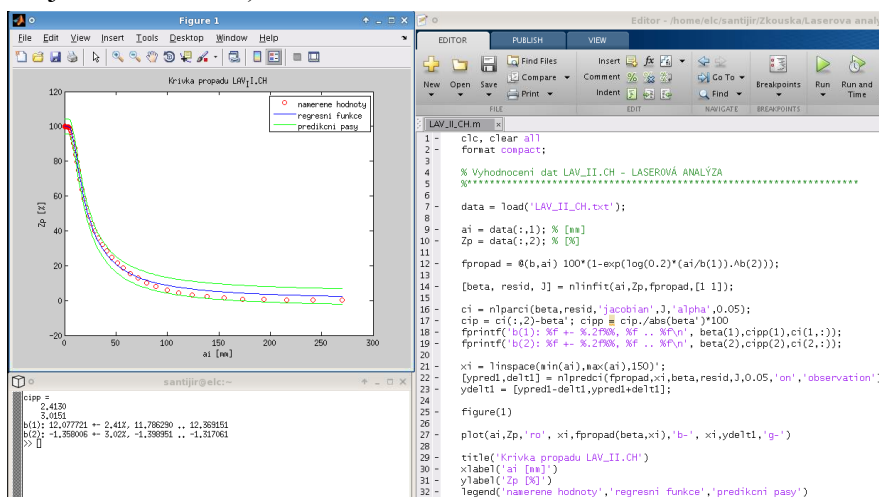
Cílem této diplomové práce bylo navrhnout cyklonové odlučovače pro odlučování prachu z procesního vzduchu na provozu LAVIII v Lovochemii. Určit umístění navržených odlučovačů a v návaznosti na umístění zkontrolovat, zda lze v rámci provozních možností ventilátorů pokrýt nově vzniklou vyšší tlakovou ztrátu oproti původní v systému rozvodu vzduchu. Rámcově ekonomicky vyhodnotit návratnost této investice.

V rámci seznámení s provozem technologie výroby NH_4NO_3 s příměsemi jsem provedl rešerši této problematiky. V návaznosti na rešerši jsem vypracoval popis stávajícího stavu provozu LAVIII již se zaměřením na problémy ohledně filtrace procesního vzduchu. Stanovil jsem problémová místa technologie a navrhl řešení, které bylo ve shodě s prováděnou analýzou provozu v Lovochemii.

- Zaměřit se na montáž hadic dle pokynů dodavatele
- Předřadit před hadicové tkaninové filtry další odlučovací stupeň

Na základě závěrů z popisu stávajícího stavu byla vypracována rešerše problematiky odlučování tuhých částic, která vedla k výběru nejvhodnějšího odlučovače prachových částic pro dané parametry provozu. Jako nejvhodnější odlučovače byly určeny suché mechanické odlučovače a vybrány byly cyklonové (vírové) odlučovače. Výsledek této rešerše se opět shodoval se studií provedenou v Lovochemii.

Pro návrh cyklonového odlučovače jsem provedl odběry vzorků na provozu a zpracoval jejich vyhodnocení. Zároveň jsem určil křivku propadu s nejnepříznivějším složením částic (největší koncentrace nejmenších částic).



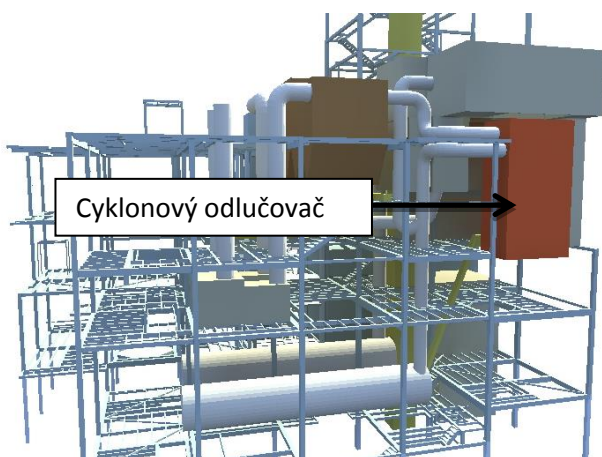
Obr. 88 Vzorek LAV_II z chladícího okruhu

Navrhl jsem skupinový odlučovač s rovným uspořádáním, který se skládal z 3 vírových článků T3 1600, a pro dva druhy provozu s nejhoršími možnými podmínkami stanovil jeho celkovou odlučivost.

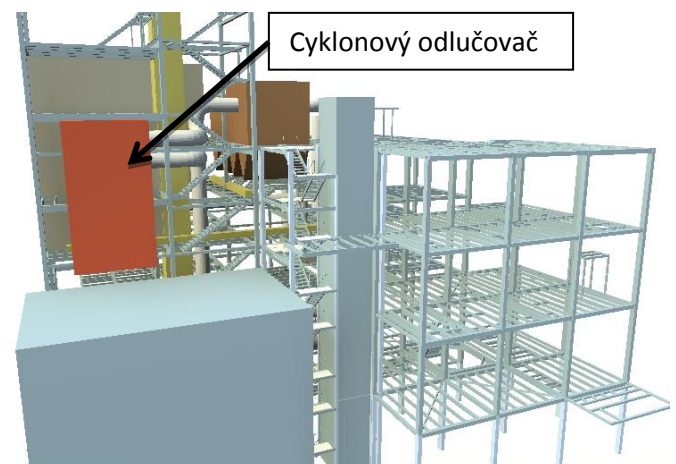
- Pro letní provoz chladicího okruhu je odlučivost skupinového odlučovače **Oc = 82,6 %**
- Pro zimní provoz chladicího okruhu je odlučivost skupinového odlučovače **Oc = 75,9 %**

Vytvořil jsem 3D model skupinového odlučovače s rovným uspořádáním a získal tak zástavbové rozměry důležité pro umístění.

Z 2D výkresů v AutoCADu, které jsem obdržel od společnosti Lovochemie, jsem vytvořil pomocí softwaru ArchiCAD 3D model provozu včetně nejdůležitějších prvků zástavby pro řešenou optimalizaci. Určil jsem nejvhodnější místa umístění odlučovačů v provozu a po umístění jsem vypracoval výkresovou dokumentaci včetně 3D modelu umístění.



Obr. 89 Skupinový odlučovač na chladícím okruhu



Obr. 90 Skupinový odlučovač na sušícím okruhu

Pro nejméně příznivé varianty provozu (tedy ty, kdy vzniká v soustavě rozvodu vzduchu největší tlaková ztráta) jsem spočítal tlakovou ztrátu (s velkou váhou na straně bezpečnosti).

- Maximální tlaková ztráta sušícího okruhu = **2,442 kPa**
- Maximální tlaková ztráta chladicího okruhu (L) = **2,685 kPa**
- Maximální tlaková ztráta chladicího okruhu (Z) = **2,062 kPa**

Pro maximální průtok chladicího okruhu za letního provozu ventilátory nezvládnou pokrýt tlakovou ztrátu. Musí se zdůraznit, že výpočet byl proveden s velkou bezpečností a za předpokladu, že tlaková ztráta na filtrech bude hnána do extrémních hodnot. Pokud by se ventilátor odstavil při tlakové ztrátě, která se standardně uvažuje 1,2 kPa, tak stačí pokrýt tlakovou ztrátu.

Pro maximální průtok chladicího okruhu za letního provozu zvládnou ventilátory s velkým předimenzováním pokrýt tlakovou ztrátu. Navržené odlučovače by měly snížit zanášení filtrů a tím i snížit jejich tlakovou ztrátu.

Z ekonomického posouzení této optimalizace vyplývá, že je velmi výhodné zvážit aplikaci těchto odlučovačů do provozu. I za předpokladu, že by docházelo k zalepování filtrů jako se tomu děje při současném stavu, tak stále je odloučeno kolem 76 – 83% prachových částic a o to bude prodloužena doba zanášení filtrů. Což by mělo v nejnepříznivějších podmínkách odpovídat 1. Variantě. NPV byla posuzována v rámci 10 let.

Tab. 19 Výsledky ekonomického rozboru

| Varianta 1. | | | Varianta 2. | | | Varianta 3. | | | Varianta 4. | | | Varianta 5. | | |
|-------------|------|------|-------------|-------|------|-------------|-------|------|-------------|-------|------|-------------|-------|------|
| IRR | 24 | % | IRR | 59 | % | IRR | 91 | % | IRR | 122 | % | IRR | 153 | % |
| PDN | 3,53 | roky | PDN | 1,55 | roky | PDN | 1,01 | roky | PDN | 0,75 | roky | PDN | 0,59 | roky |
| RDN | 3,59 | roky | RDN | 1,65 | roky | RDN | 1,09 | roky | RDN | 0,81 | roky | RDN | 0,65 | roky |
| NPV | 6,93 | mil | NPV | 24,62 | mil | NPV | 41,95 | mil | NPV | 59,29 | mil | NPV | 76,63 | mil |

11. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] World population clock [online]. [cit. 2015-02-8]. Dostupné na internetu <http://www.census.gov/popclock/>.
- [2] Lovochemik. Lovosice, 1. 4. 2010., číslo 4/12 (v uvedeném roce).
- [3] VOSOLSOBĚ, J.: Výroba průmyslových hnojiv. 3. vydání. Praha: SNTL 1980. 168 stran. Číslo publikace 440-33998
- [4] Dusitany [online]. [cit. 2014-06-20]. Dostupné na internetu www.toxicology.cz/soubory/prezentace/dusitany.pps.
- [5] MERVART, M. – ŠOB, J.: Chemické tabulky – vlastnosti prvků, anorganických a organických sloučenin. 1. vydání. Praha: SNTL 1955. 1040 stran.
- [6] NÝVLT, J. – SÖHNER, O. – BROUC, M.: Solubility in inorganic two-component systems. 2. vydání. Praha: ACADEMIA, nakladatelství Československé akademie věd 1981. 576 stran.
- [7] JIROUT, T.: Charakteristický rozměr částic. ČVUT, fakulta strojní, ústav procesní a zpracovatelské techniky. Formát „pdf“. 7 stran.
- [8] HEMERKA, J.: Odlučování tuhých částic. 2. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT 2000. 138 stran. ISBN 80-01-02270-6.
- [9] BRETSCHNEIDER, B. – KURFÜRST, J.: Technika ochrany ovzduší. 1. vydání. Praha: SNTL 1978. 260 stran.
- [10] JIROUT, T. – RIEGER, F. – NOVÁK, V.: Hydromechanické procesy II. 1. vydání. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT 2007. 167 stran. ISBN 978-80-01-03302-9.
- [11] TOPOL, R. Soukromé sdělení. Zaměstnanec Lovochemie a.s. (2014-12)
- [12] BAJI, M. Soukromé sdělení. Zaměstnanec Lovochemie a.s. (2014-09)
- [13] Technická dokumentace dodavatele ventilátorů

- [14] Podnikové normy, autor neuveden: Výrobky pro vzduchotechnická zařízení TK2 – odlučovače, filtry. Normalizační středisko ZVVZ Praha 1958.
- [15] HAVELKA, P.: Diplomová práce – Optimalizace výrobního procesu výroby potravinářských doplňků a návrh nové linky. Praha 2007. 122 stran.
- [16] JIROUT, T. – RIEGER, F. – NOVÁK, V.: Hydromechanické procesy I. 1. vydání. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT 2007. 209 stran. ISBN 978-80-01-03286-2.
- [17] HOFFMAN, P.: Základy stavby procesních zařízení – Cvičení 8. Tlakové ztráty v potrubním systému. Dostupné na internetu http://moodle.fs.cvut.cz/pluginfile.php/2795/mod_label/intro/cv%209a-ZSPZ-tlakov%C3%A9%20ztr%C3%A1ty%20v%20potrubn%C3%ADm%20syst%C3%A9mu.pdf
- [18] ČNB – měnová politika [online]. [cit. 2015-02-8]. Dostupné na internetu https://www.cnb.cz/cs/menova_politika/prognoza/
- [19] Korozivzdorné a žárupevné oceli třídy 17 [online]. [cit. 2015-02-8]. Dostupné na internetu <http://www.tumlikovo.cz/korozivzdorne-a-zarupevne-oceli-tridy-17jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>

12. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ
A ZKRATEK

13. SEZNAM PŘÍLOH

- [1] Chemické vlastnosti anorganických látek
- [2] Technologické schéma suché strany provozu LAVIII
- [3] Tlakové trendy za rok 2014
- [4] Odvození obecné pohybové rovnice částice
- [5] Vypracování síťové analýzy
- [6] Vypracování laserové analýzy
- [7] Vizualizace a půdorysy