

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ODPRÁŠENÍ CHLADÍCIHO PÁSU NA AGLOMERACI (VÝKON PÁSU 130T/H)

DEDUSTING OF COOLING CONVEYOR FOR AGGLOMERATION (CONVEYOR OUTPUT
130T/H)

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VÁCLAV HANZLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK SKÁLA, CSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Václav Hanzlík

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Energetické inženýrství (2301T035)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Odprášení chladícího pásu na aglomeraci (výkon pásu 130t/h)

v anglickém jazyce:

Dedusting of cooling conveyor for agglomeration (Conveyor output 130t/h)

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte způsob odprášení chladícího pásu maximálního výkonu 130 t/h na aglomeraci pro hutní průmysl.

Parametry: délka pásu 57 221 mm, šířka 1800 mm, sypná hmotnost aglomerátu $1,3 \text{ t/m}^3$, vrstva výšky 300 mm, rychlost pásu 1,44 - 3,6 m/min, teplota aglomerátu na vstupu/výstup 850/100°C.

Cíle diplomové práce:

Navrhněte vhodná zařízení a stanovte jejich velikost.

Seznam odborné literatury:

Dvorský E., Hejtmánková P.: Kombinovaná výroba elektrické energie a tepelné energie, BEN- technická literatura

Fiedle J., Krbek J., Polesný B.: Strojní zařízení elektráren, skriptum PC-DIR Brno

Kiely G.: Environmental Engineering, Mc Graw Hill, 1999

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakult

Abstrakt

Hlavním cílem práce je navrhnout vhodnou technologii odprášení chladícího pásu na aglomeraci Jih v Ostravě. V první části práce se zabývám výrobou aglomerátu a vlivem výroby na ovzduší. Dále jsou zde popsány nejpoužívanější odlučovací zařízení na aglomeracích. Ve druhé části se věnuji řešení návrhu potrubní trasy pro odsávání vzdušiny, je zde popsána volba odlučovacího zařízení a příslušných zařízení. Práce obsahuje výkresovou dokumentaci navrhovaného řešení.

Klíčová slova

chladící pás, aglomerát, prachová částice, látkový filtr, potrubí

Abstract

The main aim of this thesis is to propose a suitable dusting cooling conveyor technology for agglomeration South in Ostrava. The first part deals with the actual sinter production and its influence on air. It further describes the most commonly used separation device in agglomerations. In the second part of this thesis there is designed a scheme of piping line for suction air and there is also described the choice of abatement equipment and associated equipment. The work includes also drawing plans of the proposed solution

Key words

cooling conveyor, agglomerate, dust elements, fabric filter, pipeline

Bibliografická citace

HANZLÍK, V. *Odprášení chladícího pásu na aglomeraci (výkon 130t/h)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 65 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci na téma „Odprášení chladícího pásu na aglomeraci (výkon 130t/h)“ vypracoval samostatně, s využitím odborné literatury a pramenů uvedených v příloženém seznamu.

V Brně dne 22. května 2013

.....
Václav Hanzlík

Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Skálovi, CSc. za odborné vedení a cenné rady při tvorbě diplomové práce. Mé poděkování patří také pánům Ing. Václavu Kozákovi a Ing. Petru Schneiderovi ze společnosti Vítkovice Power Engineering a.s. za vstřícný přístup a užitečné informace týkající se aglomerace a chladicího pásu. Dále děkuji panu Ing. Ladislavu Pekárkovi, zaměstnanci firmy ZVVZ Enven Engineering a.s., za odborné informace týkající se odlučovacích procesů ve výrobních provozech. Největší poděkování patří mé rodině, která mě po celou dobu studia podporovala a vytvořila mi nadstandardní zázemí.

Děkuji.

Obsah

Úvod.....	15
1 Teoretická část.....	17
1.1 Aglomerace jako zdroj znečištění ovzduší.....	17
1.1.1 Čištění spalin z aglomeračního pásu.....	18
1.2 Technologie výroby aglomerátu.....	19
1.3 Znečištění ovzduší prašnými částicemi (polétavý prach).....	22
1.4 Odlučovací zařízení.....	25
1.4.1 Elektrické odlučovače (EO).....	25
1.4.2 Látkové filtry.....	29
2 Experimentální část.....	33
2.1 Výpočet tepelného výkonu chladícího pásu.....	34
2.2 Výpočet odsávací teploty vzdušiny.....	36
2.3 Potrubní trasa.....	38
2.3.1 Volba materiálu.....	39
2.3.2 Provozní potrubí.....	40
2.4 Aerodynamický výpočet potrubní trasy.....	43
2.4.1 Odpor třením.....	43
2.4.2 Místní odpory.....	44
2.5 Kompresorová stanice.....	46
2.6 Odlučovací stanice.....	47
2.6.1 Základní parametry odlučovací stanice.....	51
2.7 Dispozice hlavních navržených zařízení.....	54
Závěr.....	56
Seznam použitých zdrojů.....	58
Seznam použitých zkratek a symbolů.....	60

Seznam obrázků	62
Seznam tabulek.....	63
Seznam grafů	64
Seznam příloh	65

Úvod

Ovzduší, jakožto významnou složku životního prostředí, většina lidí vnímá prostřednictvím jeho čistoty či znečištění. Vzduch je tvořen ze 78 % dusíkem, z 21 % kyslíkem a v pouhém 1 % objemu jsou obsaženy vzácné plyny, vodní páry a další příměsi, o kterých je vedena hlavní diskuse ve vztahu k možnému vlivu na zdraví člověka, a proto jsou předmětem výzkumu a monitorování. V Moravskoslezském kraji představují prachové částice největší podíl na znečištění ovzduší. Prachové částice v závislosti na své velikosti, tvaru a složení působí negativně na zdraví obyvatel buď svými vlastnostmi, nebo přispívají ke zvýšení zdravotních rizik tím, že slouží jako nosiče dalších nebezpečných látek.

Průmysl na území Moravskoslezského kraje má dlouhou tradici. Počátky hornictví se na tomto území datují od roku 1763, v roce 1828 byla založena první huť v Ostravě. Na přelomu 19. a 20. století se město Ostrava stává průmyslovým centrem Rakousko – Uherské monarchie, což vede k nárůstu populace, zejména díky migraci obyvatel z Moravy, Maďarska a Polska. Dalším velkým rozvojem průmyslu prochází oblast severní Moravy a Slezska po roce 1945, v regionu se usazují dělníci z celého Československa. Po roce 1989 dochází k restrukturalizaci a revitalizaci průmyslu, uzavírání dolů, přílivu domácích i zahraničních investic a díky mnoha ekologickým zásahům v podnicích a firmách ke zlepšení životního prostředí. Vedení města Ostravy si je vědomo špatné kvality životního prostředí ve svém regionu a chce rovněž přispět k nápravě situace a apelovat na instituce, které mohou zamezit alarmujícímu překračování limitů polévatého prachu.

Předmětem této diplomové práce je navrhnout odprášení stávajícího chladícího pásu na aglomeraci Jih v Ostravě. Aglomerát slouží jako vsázka do vysoké pece pro výrobu surového železa. Aglomerát pro vysoké pece se vyrábí spékáním vstupní vsázky na aglomeračním páse. Vstupním materiálem jsou prachové železné rudy dovážené zejména z Ruska a Ukrajiny, dále dolomit, vápenec, prachový koks a odpady vznikající v procesu výroby oceli. Obsah železa v aglomerátu pro vysoké pece je 53 – 54 % a pro ocelárny 8 – 12 %. Aglomerační spékací pás je vybaven elektrickými odlučovači prachu, které splňují emisní limity tuhých znečišťujících látek. Ze spékacího pásu padá horký aglomerát přes drtič a třídič horkého aglomerátu na chladicí pás. Chladicí pás má za úkol snížit teplotu aglomerátu přibližně z 850 °C na teplotu kolem 100 °C, tak aby mohl být aglomerát dopravován k dalšímu zpracování. Vlastní chlazení se provádí profukováním vrstvy aglomerátu chladícím vzduchem, což je příčinou zvýšené prašnosti na chladicím páse a v jeho okolí, když je chladicími ventilátory prach z uložené vrstvy rozvířen. Úkolem práce je zvolit nejvhodnější technologii odprášení stávajícího chladícího pásu, navrhnout odsávací místa a vyřešit dopravu horké vzdušiny k odlučovacímu zařízení. Odlučovací zařízení musí splňovat limity pro tuhé znečišťující látky v rámci České republiky, ale i v rámci Evropské unie.

Hlavním cílem předkládaného návrhu je zlepšit kvalitu ovzduší v provozu aglomerace, což přispěje k celkovému zlepšení kvality ovzduší na území města Ostravy a v bezprostředním okolí. Realizaci navrhovaného projektu dojde k podstatnému snížení prašnosti, tj. ke snížení emisí tuhých znečišťujících látek na aglomeraci Jih. V důsledku odprášení se výraznělepší především pracovní prostředí aglomerace.

1 Teoretická část

1.1 Aglomerace jako zdroj znečištění ovzduší

Agglomerace (spékání železné rudy) je jedním ze způsobů tepelné úpravy jemně zrnitých až práškových železných rud a kovonosných materiálů na větší a mechanicky dostatečně pevné kusy ušlechtilého kovonosného materiálu – aglomerátu. Takto spečený aglomerát má dostatečnou prodyšnost, čímž umožňuje ekonomické zpracování a vysokou intenzitu tavení ve vysoké peci. [16]

K výrobě aglomerátu se používá jemně zrnitých až prachovitých železných rud, vysokopecního prachu (výhozu), kyzových výpalků, koncentrátů z mokrých úpraven rud apod. Tyto homogenizované materiály se smíchají ve vhodném poměru s vápencem, dolomitem a koksem jako palivem. Suroviny se před ukládáním na pás vlhčí a následně se podávají ve vrstvě na posuvný aglomerační pás, na kterém dochází k zapálení vrstvy plynovými hořáky a díky prosávání vzduchu ke spékání práškových rud při teplotě 1150 – 1250 °C. Vlivem prosávání vzduchu vsázkou na roštu vznikají vlhké spaliny unášející prachové částice. Vzniklé spaliny jsou odsávány kolektorovým potrubím opatřeným výsypkami. Prachové částice obsažené ve spalinách se musí před vypuštěním komínem do ovzduší separovat v odlučovačích. Důvodem separace prachových částic je ochrana ovzduší před nadměrnými emisemi tuhých znečišťujících látek a taky ochrana lopatek ventilátoru před abrazí a nadměrnému opotřebení, čímž se zvýší životnost lopatek. V takto uvedené koncepci aglomerace dochází vlivem zpracování surovin a přísad ke vzniku pouze prachových částic ve spalinách, nikoliv ke tvorbě kapiček, např. dehtu. [16]

Horký aglomerát o vysoké teplotě padá z výpadového konce aglomeračního pásu přes drtič a třídič horkého aglomerátu na chladicí pás. Z chladicího pásu se vychlazený a vytříděný aglomerát dopravuje pásy a dopravníky do zásobníku aglomerátu. Výpadový konec aglomeračního pásu, stejně jako drtič, třídič horkého aglomerátu, násypy na chladicí pás a jeho výpad, všechny přesypy a dopravníky jsou k zamezení zvýšené prašnosti a znečišťování vnitřního prostředí aglomerace opatřeny vhodnými zákryty s odsáváním vzduchu. Veškerý odsávaný vzduch z těchto horkých a studených míst, kterých je většinou 40 – 120 v závislosti na velikosti aglomerace, se dopravuje potrubním systémem do směšovací komory, kde se mísí k zajištění rovnoměrné, co nejnižší teploty odsávaného vzduchu před vstupem do odlučovače. Technologie elektrického odlučovače se volí nejen pro aglomerační pásy, ale i k čištění spalin vzduchu odsávaného od různých zákrytů. Teplota je důležitým faktorem pro volbu samotného odlučovacího zařízení. Nejvíce náchylné na teplotu odsávaného média jsou látkové filtry. Vyčištěný vzduch se po průchodu odlučovačem vypouští přes komín nebo často jen komínovými nástavci do ovzduší. [16]



Obr. 1 Aglomerát na neodprášeném chladícím páse – vlastní foto

1.1.1 Čištění spalin z aglomeračního pásu

Jako nejvýhodnější způsob odlučování tuhých látek ze spalin aglomeračního spékacího pásu se jeví technologie elektrického odlučování. Výhradně se používají suché horizontální elektrické odlučovače se 3 až 4 sekcemi zapojenými za sebou, které zvyšují účinnost odlučovacího procesu. S ohledem na vysoký podtlak ventilátoru musí být skříň elektrického odlučovače (EO) navržena v zesíleném provedení. Běžně používané aglomerační pásy mají činnou sací plochu obvykle 75 – 400 m², vertikální rychlost posuvu 0,03 – 0,11 m/s. Výška spékané vrstvy na aglomeračním páse dosahuje až 400 mm. Hmotnost vsázky na 1 tunu vyrobeného aglomerátu bývá 1250 – 1300 kg. Z toho činí palivo (koks) 6 – 8%, vápenec 20 – 26 % a vlhkost vsázky je 6 – 8 %. Objemový průtok spalin závisí na provedení aglomeračního pásu, metalurgických podmínkách železné rudy, činné prosávané ploše pásu a přísávaném objemu falešného vzduchu netěsnostmi stroje. Podtlak spalin před vstupem do EO závisí na výšce a prodyšnosti vrstvy vsázky na aglomeračním páse. [16]

1.2 Technologie výroby aglomerátu

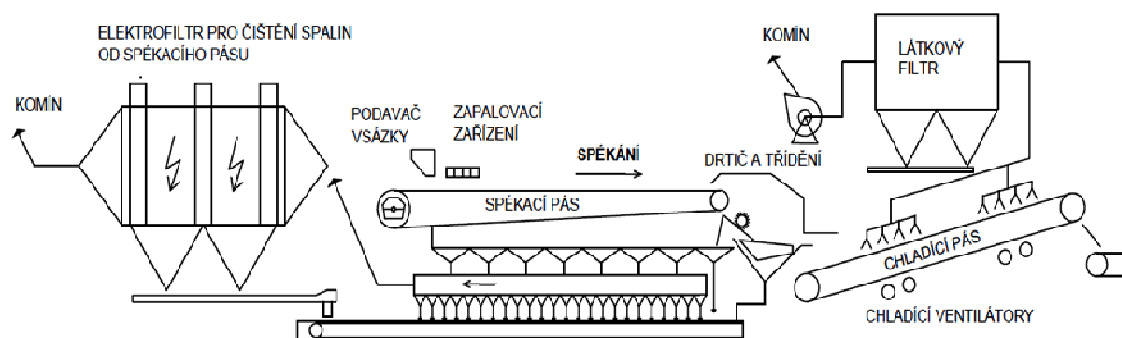
Aglomerací vsázku tvoří prachové železné rudy a koncentráty, tuhé palivo, přísady kovových odpadů a vratný aglomerát. Vlastní proces aglomerování probíhá v heterogenní soustavě v plynné, kapalně i tuhé fázi. V plynné fázi probíhají hlavní děje (hoření paliva, přenos tepla, redukčně oxidační procesy). Pro vznik kapalně fáze je důležitý dostatečný obsah tuhé paliva ve spékací směsi a její optimální zapálení z vnějšího zdroje pomocí směsného nebo koksárenského plynu. Zapálením paliva dochází k roztavení prachových částic a natavení částic větších rozměrů. Následným ochlazením a zatuhnutím spečené směsi vzniká soudržný produkt nazývaný aglomerát. Aglomerace je kontinuální proces přeměny vstupní suroviny zrnitosti 0 - 10 mm na výsledný zkusový produkt. Podíl drobnozrnného tuhé paliva ve vstupní vsázce je nízký (< 5 %). Na spékání aglomerací směsi má nejdůležitější vliv *vertikální rychlost spékání* udávaná v [mm/min]. Tuto rychlost ovlivňuje zejména rychlost hoření paliva ve vrstvě. Aglomerací směs se před spékáním zvlhčuje ve sbalovacím bubnu a zároveň se předpeletizuje, směs obsahuje kromě zrn aglomerací rud i mikropelety (3 - 8 mm), které tvoří jemnozrnné koncentráty a další prachové podíly vsázky. Po uložení aglomerací směsi na roštový spékací horizontální pás následuje zapálení plynovým zařízením, pásmo hoření tuhé paliva postupuje ve směru přísávaného vzduchu. Spaliny předávají část svého tepla do nižších vrstev směsi, čímž dochází k jejich předehřívání, vysoušení a vytváří se pásma kondenzace vodní páry a převlhčení. Proces spékání končí, když dojde k vyhoření tuhé paliva až do spodní vrstvy, tedy k roštu pásu. Takto vyrobený aglomerát se dále granulometricky upravuje, chladí a dopravuje do zásobníků. Asi 30 % vyrobeného aglomerátu se zrnitostí pod 5 mm je nevhodný pro vysokou pec. Po třídění se tento vratný aglomerát vrací zpět do aglomerací vsázky. [5]

Tab. 1.1 Vlastnosti aglomerátu [5]

Mittal Steel Ostrava a.s. - aglomerace Jih			
Chemické složení [%]		Granulometrie [%]	
Fe	54 - 55	< 5 mm	7
FeO	8,5	> 10 mm	40
CaO	pod 9	> 50 mm	15
MgO	pod 3,6	Střední zrno [mm]	
SiO ₂	pod 8		
Al ₂ O ₃	1,2	D _z	23

V předních aglomeracích světa tvoří nejvyšší podíl rudné vsázky prachové částice rudy s nízkým obsahem SiO₂ (< 6 %) a s vysokým obsahem Fe (> 60 %). Maximální teplota dosahovaná při spékání závisí na množství, rozdělení směsi a spalných vlastnostech tuhé paliva. Při dosažení teploty ve vrstvě do 1300 °C vzniká

aglomerát převážně s heterogenní texturou, téměř beze změny od původních zrn. Při překročení této teploty vzniká aglomerát s homogenní strukturou, kde se vytvářejí velké homogenní krystaly. [5]



Obr. 2 Schéma spékací a chladicí části aglomeračního provozu

Technologie aglomerace železorudnatých materiálů se skládá obvykle ze dvou stupňů provozních úseků, které jsou propojeny. Aglomerační provoz každého vysokopečního závodu tvoří tzv. studený úsek a tzv. teplý úsek. Studený úsek se skládá z výklopníků vagónových substrátů, drtičů, mlýnic, skládek a homogenizačních skládek. Tento úsek zabezpečuje dopravu surovin a úpravu zrnitosti. Ve druhém úseku, nazývaném teplý, dochází k vlastnímu pásovému procesu spékání homogenizované vsázky. Dalšími činnostmi teplého úseku je dávkování surovin, odsávání a čištění spalin, drcení, ale také třídění a chlazení vyrobeného aglomerátu. [5]



Obr. 3 Spékací pás aglomerace [19]

V České republice je výroba aglomerátu soustředěna v hutních závodech Mittal Steel Ostrava a.s. a Třinecké železářny a.s.. Průmyslová výroba aglomerátu je velice náročná z energetického hlediska, také je hlavním zdrojem znečišťování životního prostředí v okolí hutních závodů. Studený úsek provozu má podíl pouze na lokálním znečištění prostředí, kde se jedná především o tuhé prachové emise. Teplý úsek emituje kromě prachových částic i spaliny o různém chemickém složení, čímž se podílí výrazněji na znečišťování ovzduší. Množství tuhých znečišťujících látek vypouštěných do ovzduší ovlivňuje technologie spékání a způsob jejich odlučování. V minulosti se používaly především mechanické odlučovače (multicyklóny), které byly schopny odstranit prach ve spalinách z počáteční hodnoty $1 - 3 \text{ g/m}^3$ na hodnotu do 300 mg/m^3 . V současnosti se používají elektrostatické odlučovače prachu s vysokou účinností, které plní požadované emisní limity pro tuhé znečišťující látky ve spalinách. Trendem posledních několika let je doplnit stávající elektrické odlučovače látkovým filtrem, což ještě zefektivní proces čištění spalin. Příkladem je odprášení aglomerace Sever v Ostravě, kde největší výrobce oceli v České republice společnost ArcelorMittal Ostrava a.s. spustil 21. října 2011 nové odprašovací zařízení, kterým je látkový filtr. Zařízení dokáže pohltit o 70 % více prachu, čímž sníží roční hodnotu emisí prachu z provozu aglomerace o 270 tun za rok. Celé zařízení je tvořeno 12 komorami filtru, rozkládá se na půdoryse $60 \times 60 \text{ m}$ a je vysoké 22 m. Tento projekt získal řadu ocenění, jakožto příspěvek k ochraně životního prostředí. Celková investice přes 1 mld. Kč bude přínosem pro obyvatele Ostravska mnoho desítek let.[5]



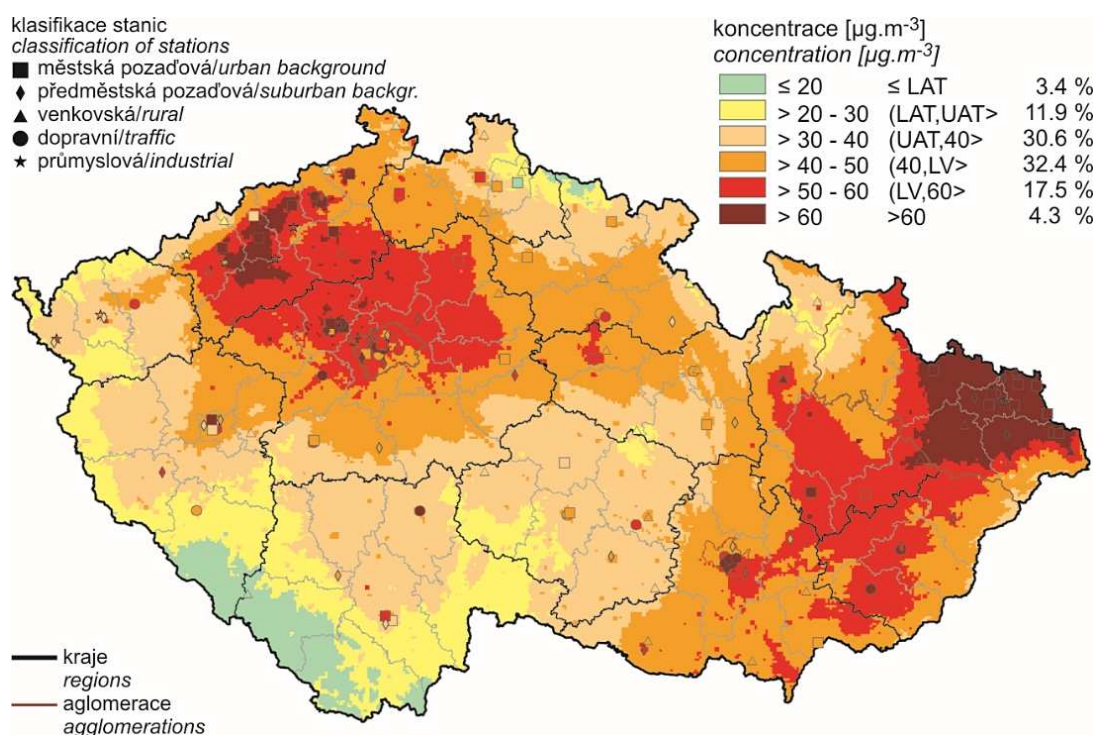
Obr. 4 Pojízdný rošt spékacího pásu [19]



Obr. 5 Zapalovací plynový hořák [19]

1.3 Znečištění ovzduší prašnými částicemi (polétavý prach)

Znečištění ovzduší prašnými částicemi řadíme mezi hlavní problémy udržení kvality životního prostředí u nás. Moravskoslezský kraj a zejména Ostravsko patří k oblastem s nejvíce znečištěným ovzduším v České republice a v rámci Evropy se řadí k nadprůměrně zatíženým oblastem. Na Ostravsku je vedle velké hustoty osídlení také vysoká koncentrace průmyslu, což se negativně projevuje na kvalitě ovzduší. K imisnímu zatížení přispívá kromě dopravy a lokálních topenišť rovněž regionální přenos ze silně industrializované oblasti Hornoslezské pánve v Polsku. Dalším negativním vlivem jsou geomorfologické podmínky této oblasti, neboť při špatných rozptylových podmínkách zejména v zimních měsících se zde znečištění koncentruje. [10], [14]



Obr. 6 Nejvyšší 24 hod. koncentrace PM10 v roce 2011 [11]

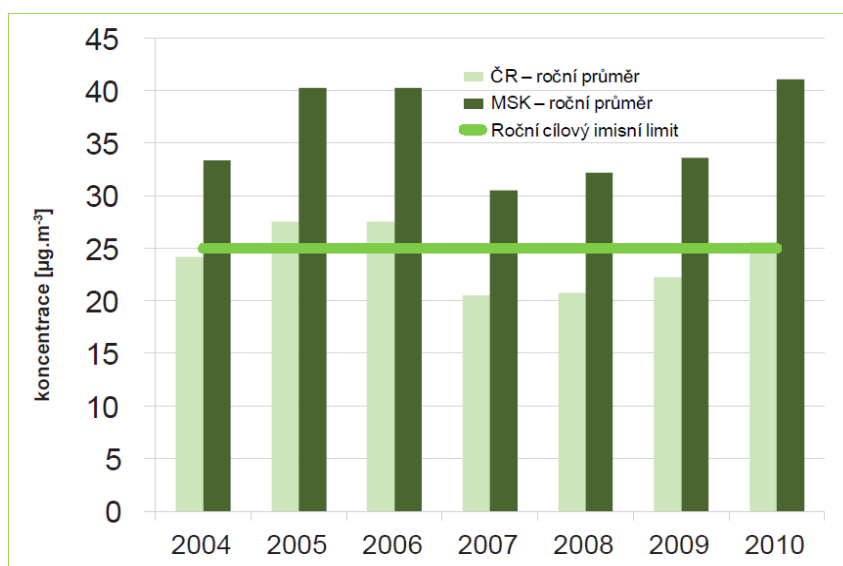
Polétavý prach, který je označován zkratkou PM z anglického názvu "particulate matter", je pojem pro velmi malé částice o velikosti několika mikrometrů. Mikročástice mají své specifické označení podle velikosti (PM10 označuje polétavý prach o velikosti 10 μm). Inhalace prachových částic dráždí sliznice dýchacího ústrojí, zvyšuje riziko infekcí a při dlouhodobém působení má negativní vliv na dýchací a kardiovaskulární systém. Mikročástice obsažené v ovzduší se usazují v dýchacích cestách, místo zachytu závisí na velikosti mikročástic. Větší mikročástice nejsou pro lidský organismus až tak nebezpečné, neboť se zachycují na chloupkách v nose a nepronikají dále do dýchacích cest. Mikročástice pod 10 μm (PM10) jsou pro organismus nebezpečnější, protože se můžou usazovat v průduškách a způsobovat zdravotní problémy. Mikročástice pod 1 μm mohou vstupovat přímo do plicních sklípků. Na mikročástice poletavého prachu se vážou

těkavé látky, které posléze působí v organismu toxicky. Poléťavý prach vzniká výhradně jako produkt lidské činnosti, nejčastěji při spalovacích procesech, tavení rud, výrobu vápna a cementu, těžbě surovin, nedokonalém spalování nafty (dieselové motory) nebo odnosem částic větrem ze stavebních ploch a ploch zbavených vegetace. [11]

Tab. 1.2 Imisní limity a povolený počet jejich překročení [12]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
Částice PM ₁₀	24 hodin	50 µg/m ³	35
Částice PM ₁₀	1 kalendářní rok	40 µg/m ³	0
Částice PM _{2,5}	1 kalendářní rok	25 µg/m ³	0

V ČR určuje limit pro znečištění ovzduší Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší ze dne 2. května 2012 uveřejněn v Sbírce zákonů na straně 2786 č. 69/2012. Účinnost tohoto zákona nabyla platnosti dne 1. 9. 2012. Denní imisní limit je stanoven na 50 µg/m³. Překročení tohoto limitu je tolerováno max. 35 dní v roce. Na některých místech ČR, například právě na Ostravsku je limit překračován i přes 100 dní v roce. [11], [12]



Graf 1.1 Roční imisní charakteristiky částic PM_{2,5} [13]

Základní pojmy z legislativy o ochraně ovzduší:

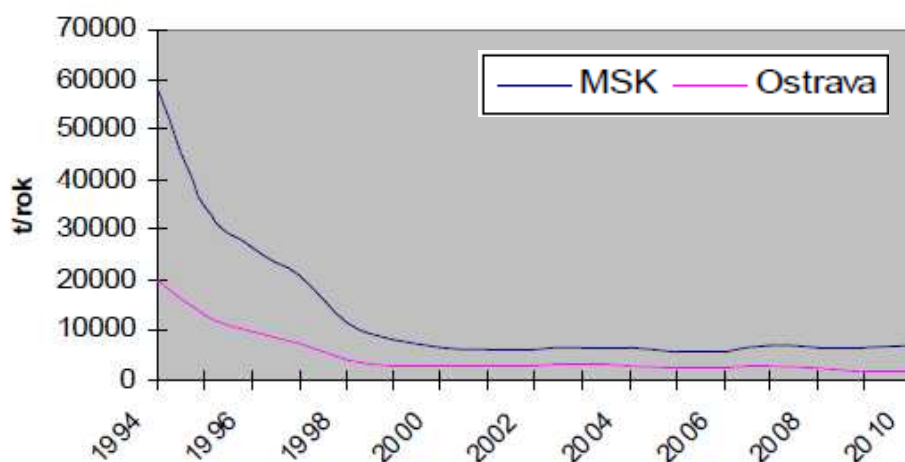
- **znečišťující látka** – jakákoliv látka vnesená do vnějšího ovzduší nebo v něm druhotně vznikající, která má přímo škodlivý vliv, anebo může mít po fyzikální nebo chemické přeměně nebo po spolupůsobení s jinou látkou škodlivý vliv na

život a zdraví lidí a zvířat, na životní prostředí, na klimatický systém Země či na hmotný majetek

- **imisní limit** – hodnota nejvýše přípustné úrovně znečištění ovzduší vyjádřená v jednotkách hmotnosti na jednotku objemu při normální teplotě a tlaku
- **cílový imisní limit** – koncentrace znečišťující látky ve vnějším ovzduší, stanovená za účelem odstranění, zabránění nebo omezení škodlivých účinků na lidské zdraví a na životní prostředí celkově, které je třeba dosáhnout, pokud je to možné ve stanovené době
- **mez tolerance** – procento imisního limitu nebo část jeho absolutní hodnoty, o které může být imisní limit překročen

Imisní limity pro polévatý prach, a to už s nulovou mezí tolerance, vstoupily v platnost dne 1. 1. 2005. Limity v některých městech jsou stále překračovány, čímž vzniká významný problém se všemi právními důsledky k české, ale i evropské legislativě. Řešení nadměrné koncentrace polévatého prachu v ovzduší je třeba řešit jak kooperací v rámci Evropy, tak na místní či regionální úrovni, zejména opatřeními zaměřenými na lokální způsob vytápění a snižování emisí spojených s dopravou. [14]

Provozovatelům velkých a středních stacionárních zdrojů znečištění ukládá legislativa řadu povinností. Provozovatel těchto zařízení musí uvádět do provozu a provozovat stacionární zdroje v souladu s podmínkami ochrany ovzduší, které jsou uvedeny ve stanoviscích a povoleních provozovatele. Zavazují se k dodržování imisních limitů včetně stanovených lhůt k jejich plnění. Při vážném nebo bezprostředním ohrožení zdraví z důvodu nadměrné koncentrace znečišťujících látek jsou nuceni bezodkladně zastavit nebo omezit provoz stacionárního zdroje, který je příčinou ohrožení nebo snížení kvality ovzduší, a neprodleně informovat inspekci a správní orgány. Provozovatelé velkých a středních stacionárních zdrojů znečištění platí stanovené částky za znečišťování ovzduší, o jejich výši rozhoduje příslušný krajský nebo obecní úřad. Poplatkovým obdobím podle tohoto zákona je kalendářní rok, v němž je stacionární zdroj provozován. [12]



Graf 1.2 Vývoj emisí tuhých znečišťujících látek v MS kraji a Ostravě [15]

1.4 Odlučovací zařízení

Úkolem každého odlučovače nebo odlučovacího systému je odloučení tuhých příměsí z proudu plynu minimálně na hodnotu emisního limitu. Odlučovací proces lze rozdělit do tří fází. Nejprve nastává transport částic a jejich koncentrace u odlučovacích ploch, následně jsou částice odváděny z odlučovacích ploch a shromažďovány. V poslední fázi dochází k vynášení částic z vlastního odlučovacího zařízení. [3], [4]

Nejdůležitější vlastností souboru tuhých částic z hlediska jejich odlučování je informace o tvaru a zrnitosti částice (granulometrické složení) a také o hustotě částic rozptýlených v nosném médiu. Tvar částic závisí na způsobu jejich vzniku, těmito vlastnostmi se zabývá obor zvaný morfologie částic. Ideální tvar pro odlučovací zařízení je koule, takové částice vznikají kondenzací a tuhnutím par látek. Naopak částice vznikající při mechanických operacích (drcení, mletí) mají složité tvary. [3], [4]

Základní hlediska, podle kterých se hodnotí funkce odlučovacích zařízení, patří:

- dosažená celková odlučivost (koncentrace částic na výstupu ze zařízení),
- spotřeba energie pro odlučování (ovlivněna tlakovou ztrátou odlučovače),
- investiční a provozní náklady.

Jestliže připadá v úvahu použít více druhů odlučovacích zařízení, nutno vycházet při volbě odlučovače z celkového hodnocení odlučovače na základě zvážení různých ukazatelů. Základním předpokladem pro správnou volbu je při jmenovitém provozním stavu splnění zákonného emisního limitu pro tuhé znečišťující látky. [3], [4]

1.4.1 Elektrické odlučovače (EO)

Elektrické odlučování je proces, při kterém jsou tuhé či kapalné částice oddělovány z nosného plynu na základě působení elektrických sil. Aktivní prostor elektrického odlučovače tvoří soustava vysokonapětových (srčících, ionizačních) a usazovacích (sběrných) elektrod vzájemně geometricky uspořádaných v daných roztečích. Na vysokonapětové elektrody se přivádí velmi vysoké stejnosměrné záporné napětí 30-100 kV, usazovací elektrody jsou uzemněny. Přivedením velmi vysokého napětí na vysokonapětové elektrody vzniká mezi vysokonapětovými elektrodami a usazovacími elektrodami silné elektrické pole, a v jeho důsledku v okolí vysokonapětových elektrod tzv. korónový výboj (velké množství záporných iontů). Částice prachu, obsažené v plynu procházejícím aktivním prostorem mezi usazovacími elektrodami a vysokonapětovými elektrodami, jsou nabíjeny (bombardovány) těmito zápornými ionty, čímž získávají výrazný záporný náboj. Takto nabitě částice jsou vlivem působících sil elektrického pole přitahovány k povrchu usazovacích elektrod, kde se usazují. Mechanickým oklepáváním se usazený prach z usazovacích elektrod uvolňuje a sklouzává po jejich povrchu do výsypek elektrického odlučovače, odkud je kontinuálně odváděn k dalšímu využití nebo uložení. [8]

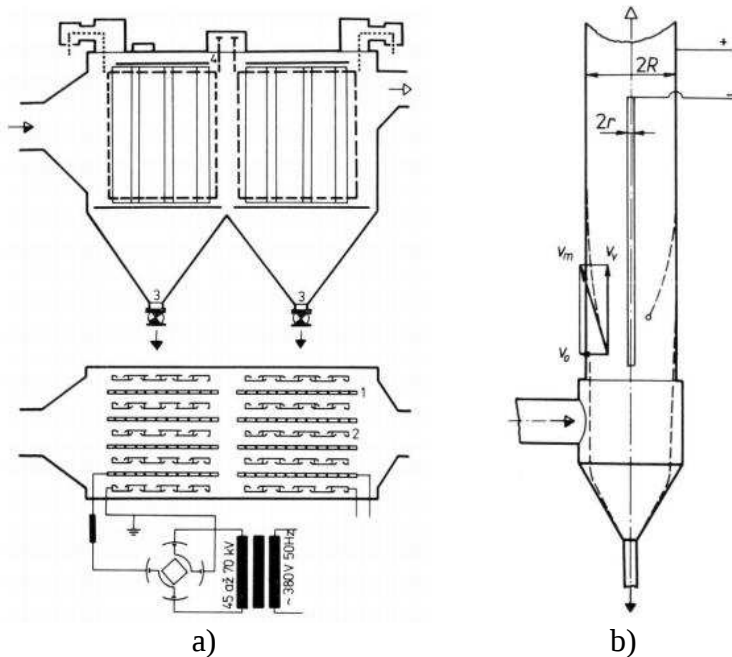
U EO sehrává tvar a intenzita elektrického pole velmi významnou roli. Na průběh odlučovacího proces působí elektrické pole bezprostředně tím, že vyvolává silové

působení na částice, nebo zprostředkovaně, že za určitých podmínek způsobí nárazovou ionizaci plynu (korónu) a částice jsou vzniklými ionty plynu nabíjeny. Oba procesy na sebe navazují, ale zároveň se i ovlivňují. [3], [4]

EO můžeme rozdělit podle směru proudění nosného média na vertikální (zpravidla trubkové) a horizontální (většina komorových). Podle uspořádání soustavy elektrod se EO dělí na trubkové a komorové. Komorový odlučovač se skládá z více paralelně řazených komor (sekcí). Trubkové odlučovače se skládají z odlučovacích prvků, z nichž každý je tvořen osově symetrickou válcovou usazovací elektrodou, v jejíž ose je umístěna jedna vysokonapěťová elektroda. Dalším kritériem pro rozdělení EO je způsob odvádění prachu z povrchu usazovacích elektrod, podle kterého dělíme EO na suché a mokré (usazovací plochy jsou smáčeny vodou). K čištění spalin z aglomeračních pasů i vzduchu odsávaného od různých zákrytů se používají výlučně suché horizontální elektrické odlučovače. [3], [4]

Typické vlastnosti EO:

- vyšší odlučovací schopnosť (až 99,9 %),
- nízka tlaková ztráta (do 200 Pa),
- vhodné pre veľké objemové prútoky,
- možnosť použitia i pre vysoké teploty plynu (až 450 °C),
- menšia citlivosť na abrazívne častice,
- vysoká funkčná a provozní spoľahlivosť,
- minimálne nároky na obsluhu a údržbu,
- vysoké investičné náklady,
- vysoké nároky na zastavený priestor.

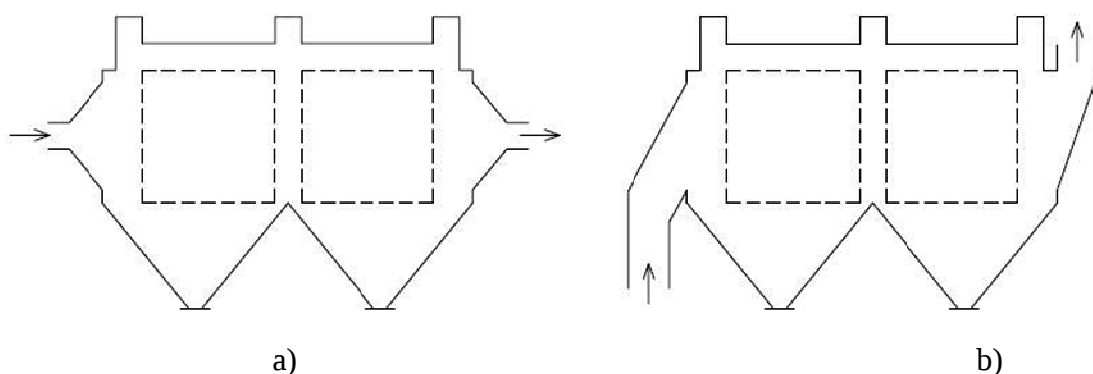


Obr. 7 EO - a) horizontální, b) trubkový [2]

Konstrukční části EO

Konstrukční části EO tvoří skříň EO, usazovací elektrody, vysokonapěťové elektrody, zavěšení usazovacích elektrod, zavěšení vysokonapěťových elektrod, oklepávání usazovacích elektrod, oklepávání vysokonapěťových elektrod.

Skříň horizontálního EO je v podstatě zvětšené horizontální potrubí. Zvětšení průřezu potrubí je nutné proto, aby došlo k poklesu rychlosti v aktivní části odlučovače. Zaústění potrubí do skříně je buď kolmo ve směru osy, nebo skloněno pod určitým úhlem. Kromě snížení rychlosti proudění musí skříň vyhovět i požadavku na rovnoměrné rozdělení rychlosti i koncentrace v celém prostoru skříně. Toto se dosáhne různými vestavbami uvnitř skříně (např. vodícími lopatkami). Ve spodní části je skříň vybavena výsypkami pro odvod odloučeného prachu. Další požadavek kladený na skříň je její mechanická pevnost a tuhost. Skříň musí nést oba systémy elektrod, kde zejména usazovací elektrody mají značnou hmotnost. Skříň je uložena na valivých ložiskách, která umožňují pohyb (dilataci) skříně všemi směry při změně teploty. Dalším důležitým požadavkem je těsnost skříně, aby dovnitř nevnikala vlhkost, která nepříznivě ovlivňuje stabilitu chodu EO. [1]



Obr. 8 Napojení na EO – a) přímé, b) s ohybem [1]

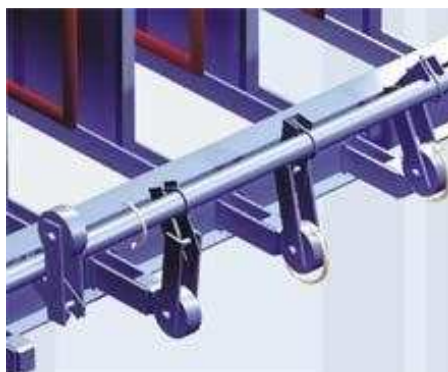
Usazovací elektrody jsou důležitou aktivní součástí EO. Konstrukčně jsou zásadně rozdílné elektrody u trubkového odlučovače a komorového odlučovače. Usazovací elektrody komorových EO jsou tvořeny jednotlivými pásy, které jsou zavěšeny v řadě tak, že tvoří rovinnou elektrodu. Hlavní požadavky kladené na usazovací elektrody jsou: tvar z hlediska elektrických vlastností, mechanické vlastnosti a tuhost (minimalizovat chvění), nízká hmotnost (zatížení skříně), aerodynamické vlastnosti (odlučování a odvod prachu z elektrod). Vyrábí se válcováním za studena z hlubokotažného plechu tloušťky 1,2 až 1,5 mm.[1], [8]

Vysokonapěťové elektrody jsou další aktivní části EO. Vysokonapěťové elektrody komorových horizontálních EO tvoří soustava svislých rovnoběžných drátových nebo hrotových elektrod umístěných v osové rovině mezi usazovacími elektrodami. Rozteč elektrod ve směru proudění plynů má vliv na celkový proud protékající komorou EO, zmenšuje-li se rozteč elektrod, roste celková délka vysokonapěťových elektrod, a tím by

měl růst i celkový proud procházející komorou EO. Vysokonapěťové elektrody mají různé tvary (kruhový drát, spirálový drát, hrotová elektroda, jehlová elektroda atd.). Na tvaru závisí počáteční kritické napětí, voltampérová charakteristika a přeskokové napětí. [1]

Zavěšení usazovacích elektrod u horizontálních komorových odlučovačů, je řešeno otočným uložením pásu elektrod v závěsných trámcích. Umístění čepu je provedeno tak, aby v rovnovážné poloze byly elektrody mírně vychýleny. Ve spodní části jsou vzájemně spojeny v oklepávacích trámcích předepjatými nýtovými spoji. Spodní pevné uchycení a horní volné zavěšení zaručuje dokonalý přenos energie od oklepávacích kladiv do celé řady usazovacích elektrod. Hlavní zásadou u zavěšení usazovacích elektrod je, aby byla dodržena rozteč elektrod a aby nevznikaly deformace na elektrodách vlivem tepelné roztažnosti a namáháním.

Oklepávání usazovacích elektrod je prováděno programově v pravidelných intervalech a zajišťuje odvod usazeného prachu do výsypek. Oklepávání se provádí kladivy a je velmi důležitou činností a má velký vliv na celkovou odlučivost EO. [1], [8]



Obr. 9 Upevnění usazovacích elektrod na čepch [8]

Zavěšení vysokonapěťových elektrod je řešeno upevněním v trubkových rámech pomocí svorníků. Celý systém vysokonapěťových elektrod každé sekce je elektricky oddělen od uzemněných částí skříně porcelánovými kónickými izolátory. Rámy a vlastní elektrody jsou čištěny mechanickým oklepem, který je prováděn kladivy uchycenými na hřídeli. Oklepávání je řízeno programově v pravidelných časových intervalech. [8]



Obr. 10 Zavěšení vysokonapěťových elektrod [8]

1.4.2 Látkové filtry

Látkové filtry řadíme mezi odprašovací zařízení, která suchou cestou odlučují tuhé částice ze znečištěného vzduchu nebo plynu. Tyto filtry se uplatňují ve všech oblastech průmyslové výroby, protože rozsah možností tohoto způsobu zachycování nečistot v sobě zahrnuje téměř celou oblast odlučování. Neustálý vývoj v oblasti umělých vláken umožňuje stále zdokonalovat filtrační látky, jak po stránce odlučivosti, tak i po stránce trvanlivosti. Nové druhy syntetických látek snášejí vyšší teploty, čímž se vytváří prostor pro rozšíření pracovních oblastí látkových filtrů sloužící k čištění plynů za vysokých teplot. [1], [9]

Filtrační látky

Vlastnosti filtračních látek se zásadně podílejí na celkové odlučivosti filtru a ovlivňují ekonomii filtrace. Mezi nejdůležitější vlastnosti filtračních látek patří jejich odlučovací schopnost, provozní tlaková ztráta a odolnost proti opotřebení.

Účinky, které ovlivňují zachycování částic na filtračních látkách, jsou:

- a) Impakční účinek – zachyt částice po nárazu na překážku (vlákno),
- b) Difúzní účinek – usazení malých částic na překážkách (vláknech),
- c) Sedimentační účinek – usazování částic ve filtrační vrstvě,
- d) Síťový účinek – přímé zachycení částic, větší než rozměry pórů sítě,
- e) Elektrostatické účinky – působení elektrostatických sil mezi částicemi a filtrační látkou.

Stanovení filtrační látky pro daný provoz je velmi důležité. Pro správný výběr filtrační látky je třeba se zaměřit na:

1. Fyzikální a chemické vlastnosti plynu, který se má filtrovat
 - minimální a maximální teplota plynu v průběhu filtrace
 - výskyt agresivních plynů pro filtrační látku
 - vlhkost plynu a teplota rosného bodu
 - přítomnost kyselin, alkálií a rozpouštědel
2. Fyzikální a chemické vlastnosti částic rozptýlených v proudu plynu
 - velikost a koncentrace částic
 - lepivost částic
 - abrazivní schopnost částic
 - chemické působení částic

Na základě takto získaných poznatků z provozu vybereme po zhodnocení nejvhodnější druh filtrační látky. Vzhledem ke skutečnosti, že informace o provozních podmínkách bývají často omezené, je ve většině případů třeba se řídit zkušenostmi z obdobných provozů. [1]

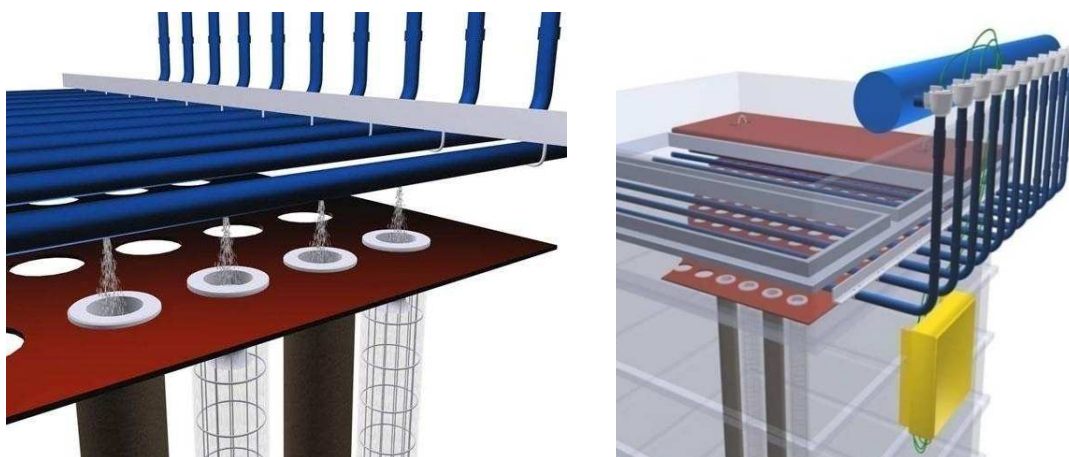
Tab. 1.3 Vlastnosti filtračních textilií [9]

	Polypropylen	Polyester	Polyacrylnitril homopolymer	m-Aramid	Polytetrafluorethylen	Polyphenylen-sulfid	Polyimid	Tkané sklo
Provozní teplota [°C]	90	140	125	200	250	190	240	250
Maximální teplota [°C]	95	150	140	220	280	200	260	270

Dělení filtrů podle tvaru filtrační látky:

- hadicové filtry – filtrační látka upravena do tvaru hadic různé délky a průměrů,
- ploché filtry – uspořádání filtrační látky do plochých obdélníkových, klínových či kapsových tvarů,
- pásový filtr – filtrační rohož napnutá mezi dvěma válci, které se při zanesení otáčejí,
- patrona – filtrační látka naskládána do mezikruží dvou krycích víček.

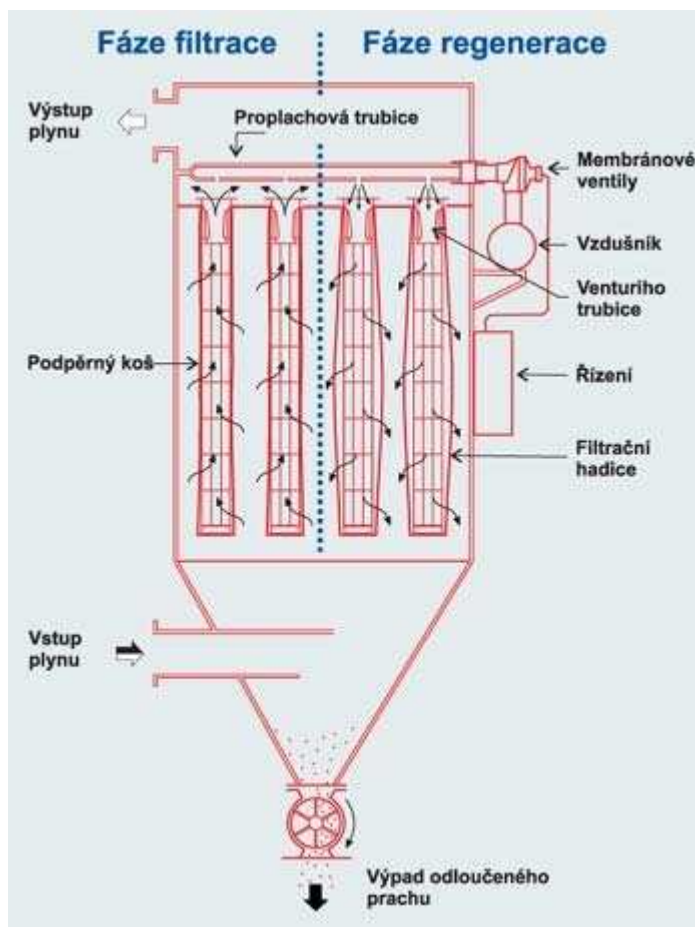
Pro odstranění usazené vrstvy z filtračního povrchu (regenerace filtru) se používá několik metod. U hadicového provedení filtru se používá mechanický oklep, kdy se uvádí do pohybu rám, ve kterém jsou hadice upevněny. Další možností regenerace filtru je zpětné profukování čistého plynu filtrační látkou (zpětný proplach). Účinným mechanismem pro čištění filtru je pulsační účinek stlačeného vzduchu vháněného do hadice nebo filtrační kapsy. Pulsační systém regenerace tvoří vzdušník a soustava membránových ventilů, které navazují na proplachovací trubky a jsou elektricky napojeny na řídicí systém filtru. Výhodou pulsní regenerace je, že všechny funkční prvky systému se nacházejí mimo aktivní prostor filtru, tím pádem montáž a demontáž proplachovacích trubek v případě oprav je snadná. Pro zaručení kvalitní regenerace filtru je vhodné metody kombinovat. [1], [2], [9]



Obr. 11 Systém regenerace hadic – pulsní proplach [9]

Popis funkce látkového filtru

Znečištěný plyn, který obsahuje pevné částice, je zaveden do spodní části výsypky nebo boční části skříně látkového filtru, kde dochází vlivem snížení rychlosti proudícího plynu k prvnímu odloučení hrubých částic prachu. Znečištěný plyn dále putuje vzhůru k svisle zavěšeným filtračním hadicím, kterými následně prochází do komory čistého plynu a opouští látkový filtr. Prachové částice zůstávají zachyceny na vnějším povrchu filtračních hadic a vytvářejí souvislou vrstvu prachu, která se v pravidelných intervalech odstraňuje pulsní regenerací. Vlastní regenerace se provádí krátkými pulsy stlačeného vzduchu, který je vháněn do vnitřní části hadice z otvorů poplachové trubky. Pulsy stlačeného vzduchu způsobí na vnitřní straně hadice odtržení usazené vrstvy prachu od vnějšího povrchu hadice. Prach padá do výsypky, kde je vzduchotěsným uzávěrem odváděn mimo pracovní prostor látkového filtru. Frekvenci a délku pulsů stlačeného vzduchu zajišťují membránové ventily, které jsou ovládány řídicí jednotkou. Na základě tlakové ztráty látkového filtru nebo pevného časového režimu se řídí regenerační proces, aby zbytečně nenarůstala tlaková ztráta a aby neustále byla na filtračních hadicích usazena stálá vrstva prachu, tzv. “filtrační koláč“, který zvyšuje filtrační účinek látkového filtru. [9]



Obr. 12 Schéma látkového filtru [9]

Řízení látkového filtru se navrhuje v souladu s požadavky technologie provozu a s cílem dosáhnout optimálního ekonomického provozování a plné automatizace provozu filtru. Řídící jednotky umožňují bezproblémovou komunikaci s možným nadřazeným řídicím systémem. Nejčastěji se používají dva typy zařízení:

Mikroprocesorové řízení (MCS) umožňuje nastavení trvání pulsu, intervaly mezi pulsy a intervaly mezi jednotlivými regeneračními cykly. Regeneraci hadic řídí časový spínač v pevném časovém režimu nebo podle tlakové ztráty filtračních hadic. Tento typ řízení se využívá pro filtry on-line.

Řízení programovatelným automatem (PLC) umožňuje volné řízení všech modulů filtru. Vlastní řízení regenerace hadic se nejčastěji navrhuje v režimu s proměnou dobou mezi pulsy nebo s režimem nastavitelným pásmem tlakové ztráty. Tento typ řízení je využíván pro filtry off-line typu EFP větších velikostí. [9]

2 Experimentální část

Přítomnost prachu v aglomerátu ukládaném na chladicí pás a jeho chlazení je příčinou zvýšené prašnosti na chladicím páse a v jeho okolí, když je chladicími ventilátory prach z uložené vrstvy rozvířen. Odloučením nejjemnějších podílů aglomerátu (0 – 5 mm) před jeho uložením na chladicí pás a realizaci odprášení prostoru nad chladicím pásem novou jednotkou látkových filtrů, dojde ke značnému snížení prašnosti emitované z chladicího pásu.

Z důvodu zlepšení prostupu chladicího vzduchu vrstvou chlazeného aglomerátu a za účelem zvýšení účinnosti a rychlosti samotného procesu chlazení, je před chladicím pásem umístěn horký třídič aglomerátu, který vytrídí velmi jemné prachové podíly, které jsou nejnáchylnější k úletu. V navrhovaném řešení bude vynášena vzdušina z procesu chlazení aglomerátu, která obsahuje jemné podíly horkého prachu, zachycována a vyčištěna v nové jednotce látkových filtrů.



Obr. 13 Detail chladících ventilátorů – vlastní foto

Tab. 2.1 Charakteristické veličiny chladícího pásu

Délka pásu	l	57,221 m
Vstupní teplota	T_0	850 °C
Výstupní teplota	T	100 °C
Teplota chl. vzduchu	T_{vz}	25 °C
Výkon	P	130 t/h
Spotřeba chl. vzduchu	m_{vz}	5000 m ³ /t
Šířka vrstvy aglomerátu	B	1,8 m
Výška vrstvy aglomerátu	D	0,3 m
Rychlost posuvu pásu	V	3 m/min
Doba přejezdu pásu	t_p	1144,5 s
Hmotnost aglom. na páse	M_a	41,326 t

2.1 Výpočet tepelného výkonu chladícího pásu

Pro stanovení hledaného průběhu teplot po průchodu chladícího vzduchu vrstvou aglomerátu se využije nestacionární vedení tepla. Stanoví se celkové odváděné teplo z pásu do okolního prostředí pomocí kapacitní metody.

$$\frac{T - T_{vz}}{T_0 - T_{vz}} = e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2.1)$$

Ze vztahu (2.1) lze spočítat teplotu tělesa (aglomerátu) v libovolném bodě $t \geq 0$. Ze vztahu je patrné, že teplota v tělese se mění exponenciálně s časem a to tím rychleji, čím je *časová konstanta* τ menší. Časová konstanta popisuje, jak rychle se bude měnit teplota tělesa. Důležitou otázkou je, jak určit množství tepla, které se mezi tělesem a jeho okolím vymění za určitou dobu t . *Tepelný výkon* Q přenášený mezi tělesem a okolím musí s časem klesat, protože se teplota tělesa blíží teplotě okolí.

$$Q = \rho c V (T_0 - T_{vz}) (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2.2)$$

Součin $\rho c V$ ze vztahu (2.2) popisuje těleso o tepelné kapacitě, v našem případě se tedy jedná o hmotnostní tok aglomerátu, který je ochlazován proudícím vzduchem. Po úpravě a vyjádření ze vztahu (2.1) dostaneme vzorec pro výpočet časové konstanty τ .

$$\tau = -\frac{t}{\ln \frac{T - T_{vz}}{T_0 - T_{vz}}} \quad (2.3)$$

$$\tau = -\frac{1144,5}{\ln \frac{100 - 25}{850 - 25}} = 477,29$$

Dosazením do vztahu (2.2) získáme celkové uvolněné teplo do okolí pásu pro množství aglomerátu, nacházející se na chladicím páse.

$$Q = M_a(T_0 - T_{VZ}) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = 41326 \cdot (850 - 25) \cdot \left(1 - e^{-\frac{1144,5}{477,29}}\right)$$
$$Q = 30994500 \text{ W}$$

Celý pás se rozdělí na 10 myšlených úseků (sekcí), aby bylo možné početně vyjádřit ochlazování aglomerátu v závislosti na jeho pohybu po chladicím páse. Úseky budou rozděleny po 6 m, to znamená, že při rychlosti pásu 3 m/min bude t v jednotlivém úseku 120 s. V každém úseku se stanoví tepelný výkon, který by měl postupně klesat, protože teplota aglomerátu se bude blížit teplotě okolí. Tepelný výkon pro jednotlivé úseky vypočteme podle vztahu (2.2), jen za dobu t se dosazuje příslušný časový úsek. Uvolněné teplo se v daném úseku stanoví z celkového tepelného výkonu po daný úsek, od kterého se odečte uvolněné teplo po předchozí úsek. Ukázka stanovení uvolněného tepla v úseku II (2.4). Výsledky jsou přehledně zobrazeny v Tab. 2.2.

$$Q_{uII} = Q_{II} - Q_I \tag{2.4}$$

$$Q_{uII} = 13473469,8 - 7579168,8 = 5894301 \text{ W}$$

Využitím *kalorimetrické rovnice* (2.5) si zjistíme průběh teploty aglomerátu, která klesá v závislosti na vzdálenosti od počátku chladicího pásu.

$$Q = mc_p \Delta T \tag{2.5}$$

Hledanou teplotu aglomerátu v daném úseku si vyjádříme ze vztahu (2.5), ukázkový výpočet provedeme pro úsek II. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 2.2.

$$T_{agII} = T_{agI} - \frac{Q_{uII}}{Mc_{pII}} \tag{2.6}$$

$$T_{agII} = 685,5 - \frac{5894301}{41326 \cdot 1,019} = 545,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tab. 2.2 Uvolněné teplo a teplota aglomerátu

Sekce	Vzdálenost od počátku l [m]	dobu t [s]	Celkové uvolněné teplo Q [W]	Uvolněné teplo za daný úsek Q _u [W]	c _p aglomerátu [kJ/kgK]	Teplota aglomerátu [°C]
-	0	0	0,0	0,0	-	850,0
I	6	120	7579168,8	7579169	1,115	685,5
II	12	240	13473469,8	5894301	1,019	545,5
III	18	360	18057453,2	4583983,4	0,977	432
IV	24	480	21622405,8	3564952,6	0,949	341,1
V	30	600	24394860,7	2772454,9	0,912	267,6
VI	36	720	26550992,1	2156131,4	0,908	210,1
VII	42	840	28227810,1	1676818,1	0,987	169
VIII	48	960	29531867,4	1304057,3	0,975	136,6
IX	54	1080	30546029,6	1014162,2	0,968	111,3
X	57,221	1145	30994500	448470,4	0,964	100

2.2 Výpočet odsávací teploty vzdušiny

V předchozí kapitole jsme stanovili uvolněné teplo v jednotlivých myšlených sekcích, které potřebujeme pro vyjádření teploty vzduchu po průchodu vrstvou aglomerátu (odsávací teplota). Nejprve musíme stanovit celkový objem chladícího vzduchu, spotřeba chladícího vzduchu je 5 000 m³ na tunu aglomerátu.

$$V_{CH} = (Mm_{vz})\rho_{25} \quad (2.7)$$

$$V_{CH} = (41,326 \cdot 5000)1,186=245063,2 \text{ kg}$$

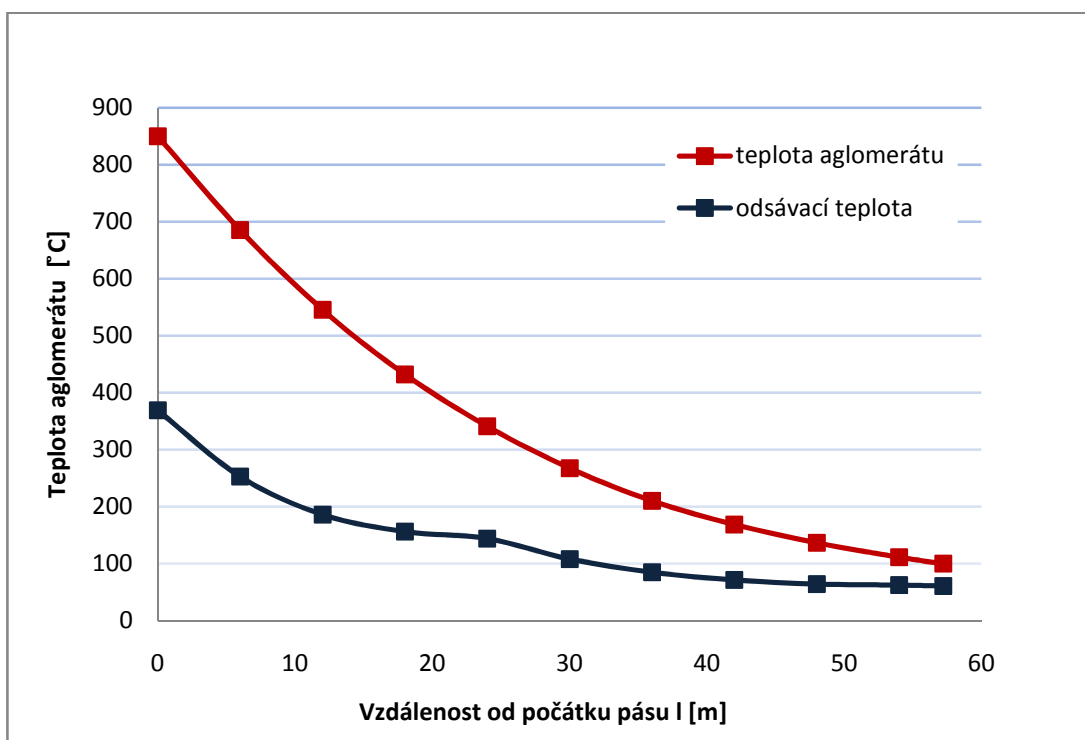
Z celkového množství spotřebovaného chladícího vzduchu už snadno stanovíme množství vzduchu v jednotlivých sekcích. Chladící vzduch je distribuován pomocí čtyřech ventilátorů, tudíž rozložení tlaku nebude pod celým pásem konstantní. Největší ztráty budou na nejvzdálenějších místech od ventilátoru. Největší podíl chladícího vzduchu bude v bezprostřední blízkosti ventilátorů. Tento faktor nám zohlední *ztrátový součinitel* ξ_p . Koeficientem ξ_p vynásobíme množství vzduchu v jednotlivých sekcích a dostaneme skutečné množství vzduchu. Nyní už vyjádřením z kalorimetrické rovnice (2.5) vypočteme odsávací teploty vzdušiny v jednotlivých sekcích. Výsledky jsou zobrazeny v Tab. 2.3.

$$T_{ODII} = T_{VZ} + \frac{Q_{uII}}{m_{vzII}c_{p25}} \quad (2.8)$$

$$T_{ODII} = 25 + \frac{5894301}{25758,9 \cdot 1,005} = 252,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Tab. 2.3 Odsávací teploty vzdušiny

Úsek	Množství vzduchu v sekci [kg]	Ztrátový součinitel ζ_p [-]	Skutečné množství vzduch v sekci [kg]	Odsávací teplota vzdušiny [°C]
I	25758,9	0,850	21895,0	369,4
II	25758,9	1,000	25758,9	252,7
III	25758,9	1,100	28334,8	186,0
IV	25758,9	1,050	27046,8	156,2
V	25758,9	0,900	23183,0	144,0
VI	25758,9	1,000	25758,9	108,3
VII	25758,9	1,075	27690,8	85,3
VIII	25758,9	1,075	27690,8	71,9
IX	25758,9	1,000	25758,9	64,2
X	13233,4	0,900	11910,1	62,5



Graf 2.1 Průběh teploty aglomerátu a odsávací teploty vzdušiny

Hlavním zdrojem prachu a jeho následného šíření do okolí chladícího pásu je přesyp ze spékacího pásu do drtiče, horký třídič aglomerátu a první polovina chladícího pásu. V horní části pásu už není prašnost tak velká, neboť nejjemnější prachové podíly už byly vzneseny proudem chladícího vzduchu v první části chladícího pásu a teplota

aglomerátu je podstatně nižší. Prouděním chladícího vzduchu přes vrstvu aglomerátu dochází k jeho ohřevu a znečištění prachem. Jelikož vzduch, vystupující z vrstvy aglomerátu, bude mít vyšší teplotu než je teplota okolí, bude docházet k intenzivnímu výnosu prašnosti do okolí. Šíření znečištěného vzduchu do okolí bude zabraňovat částečné zakrytování pásu. Aby nedošlo k snížení účinnosti chlazení, je nezbytné ze zákrytu znečištěný vzduch odsávat. Z tohoto důvodu je navrženo společné odsávací a odprašovací zařízení (viz. Příloha číslo 1 – Schéma odprášení chladícího pásu). To bude tvořeno odsávacím potrubím, které se bude napojovat na zákryty výše uvedených zdrojů vývinu prachu na chladícím páse. Jednotlivé odsávací větve od zákrytů se sjednotí do společného potrubí, kterým se znečištěná vzdušina odsaje do látkového filtru. Ve filtru dochází k zachycení pevných částic z proudu zplodin a vyčištěné zplodiny jsou odsávány z výstupní strany ventilátory. Zachycené pevné prachové částice jsou periodicky z povrchu filtrační tkaniny odstraňovány při regeneračním cyklu profukem tlakového vzduchu. Odloučený prach padá do výsypek a mezizásobníků, odkud je dopravován zpět do výrobního procesu.

Odsávání aglomerace a činnost zařízení filtru bude pracovat v automatickém režimu s možností manuálního ovládání jednotlivých pohonů.

2.3 Potrubní trasa

Potrubní trasu tvoří síť potrubí, která se rozprostírá v bezprostřední blízkosti chladícího pásu a umožňuje z něj odsávat vzdušinu se zvrženým prachem na daných místech (viz. Příloha číslo 2 – Potrubní trasa). Potrubní síť je tvořena z jednotlivých úseků, tzv. větvích, které jsou spojeny v uzlech. Základním požadavkem na potrubní síť je zajistit odběr požadovaného množství vzdušiny. Potrubní síť je dimenzována tak, aby vyhověla pevnostně jak při ustáleném provozu, tak i při nestacionárních stavech (vyšší teplota, větší odebírané množství vzdušiny).

Při návrhu potrubní trasy se nejprve určí parametry jednotlivých částí systému (pracovní teplota, odsávané množství vzdušiny). V dalším kroku se navrhne vhodné materiály, které jsou výhodné pro dané prostředí a teploty. Při volbě materiálu se musí zvolit takový materiál, který vyhoví, ale zároveň celou potrubní trasu výrazně neprodraží. Potrubní trasa musí být správně a účelně navržena, což znamená, že potrubí má být co nejkratší a co nejjednodušší z hlediska místních odporů při proudění dopravovaného média a musí být navrženo tak, aby v něm nedocházelo k náhlým změnám směru a rychlosti proudění.

Části potrubní trasy, které mají být obsluhované a kontrolovány, musí být přístupné kontrole, aby údržba a obsluha celého systému byla rychlá a bezpečná.

Parametry odsávacích míst chladícího pásu:

1. Odsávané místo – přesyp ze spékacího pásu do drtiče a třídiče:
 - odsávané množství 20 000 m³/h, teplota zplodin ~ 450 °C

2. Odsávané místo – přesyp z drtiče a třídiče na chladicí pás:
 - odsávané množství 40 000 m³/h, teplota zplodin ~ 370 °C
3. Odsávané místo – násypná část chladicího pásu:
 - odsávané množství 20 000 m³/h, teplota zplodin ~ 290 °C
4. Odsávané místo – první polovina chladicího pásu:
 - odsávané množství 20 000 m³/h, teplota zplodin ~ 250 °C
5. - 7. Odsávané místo – první polovina chladicího pásu:
 - odsávané množství 20 000 m³/h, teplota zplodin ~ 190 °C
8. - 10. Odsávané místo – druhá polovina chladicího pásu:
 - odsávané množství 20 000 m³/h, teplota zplodin ~ 110 °C
11. - 13. Odsávané místo – druhá polovina chladicího pásu:
 - odsávané množství 20 000 m³/h, teplota zplodin ~ 90 °C
14. Odsávané místo – výsyпка chladicího pásu:
 - odsávané množství 20 000 m³/h, teplota zplodin ~ 75 °C

Celkové odsávané množství z pásu 300 000 m³/h, teplota zplodin ~200 °C

2.3.1 Volba materiálu

Materiály, které jsou použité na výrobu potrubní, musí vykazovat vhodné vlastnosti pro toto použití po celou dobu plánované životnosti, pokud se nepředpokládá jejich výměna. Zvolený materiál musí být dostatečně tažný a houževnatý, čímž se předchází vzniku křehkého lomu. Dalším požadavkem na materiál je, aby byl dostatečně chemický odolný vůči dopravovanému prachu. Materiál by neměl být významně ovlivněn stárnutím. Materiál se volí s ohledem na vzájemné spojování různých materiálů, aby se zabránilo významným nežádoucím účinkům.

Materiál:	S235JR - 1.0038 (označení podle ČSN 11 375)
Druh oceli:	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel
Svařitelnost:	Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a s rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti svaru.
Tváření za studena:	Jsou-li dodávány výrobky dále tvářeny za tepla, splňují uvedené mechanické vlastnosti pouze po následném normalizačním žíhání.

2.3.2 Provozní potrubí

Provozní potrubí tvoří potrubní síť pro odsávání zplodin chladícího pásu, která propojuje jednotlivá odsávaná místa s odlučovací stanicí. Návrh odsávaného množství a počet odsávacích míst vychází ze stávajících poznatků provozovatele a praktických zkušeností s aplikací na podobných zařízeních. Výpočet odsávaného množství zplodin je proveden podle velikosti odsávaného zákrytu, jeho dispozičního umístění vzhledem ke zdroji prachu a stanovené teploty v odsávaném místě. Na délce chladícího pásu je navrženo několik odsávacích míst. Odsáté množství zplodin bude svedeno do společného potrubí a přivedeno k odlučovací stanici.

Je nezbytné zajistit ochranu filtračních hadic před vysokou teplotou odsávané vzdušiny. Před vstupní přírubou odlučovací stanice bude na přívodním potrubí, které přivádí horkou vzdušinu z chladícího pásu, umístěna klapka se servopohonem, která může krátkodobě (havarijně) přisávat venkovní vzduch a ochránit tak drahé filtrační hadice před vysokými teplotami. Klapka musí být umístěna v dostatečné vzdálenosti od filtru, aby mohlo dojít k optimálnímu promíchání horkých plynů a studeného venkovního vzduchu.

Díly použité pro výrobu kruhového potrubí skupiny III se rozumí trouby, oblouky s troubou, přechody a rozbočky. Užívají se jako samostatné montážní díly vzduchotechnického zařízení. Jsou vhodné pro dopravu vzdušiny s obsahem abrazivních prachů o teplotě do 350 °C. Maximální dovolený statický přetlak nebo podtlak je 6000 Pa. Díly mají jmenovité rozměry v geometrické řadě a vyrábí se od $D = 125$ do 200 mm a od $D = 1250$ do 2500. Díly od $D = 225$ do 1120 se vyrábí podle normy KM 12 0319. [18]

Tab. 2.4 Odsávací místa

Odsávané místo	Q [m ³ /h]	ΦD [mm]	S [m ²]	w [m/s]
č.1	20000	630	0,312	17,8
č.2	40000	900	0,636	17,5
č.3 - č.14	20000	630	0,312	17,8

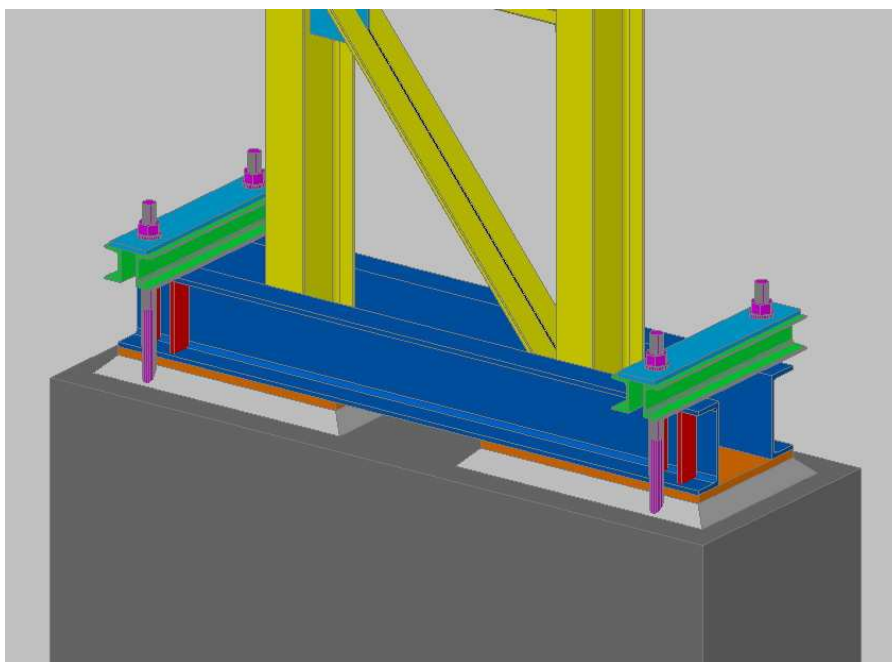
Rychlost proudění vzdušiny v potrubí (2.9) se stanoví s ohledem na minimální abrazi materiálu potrubní sítě, zároveň musí být rychlost proudění dostatečně velká, aby nedocházelo na rovnějších úsecích k sedimentaci odloučených prachových částic. Z těchto důvodů se potrubní síť dimenzuje na rychlost proudění vzdušiny v potrubí v rozmezí 17 – 19 m/s. Toto číslo je dáno provozními zkušenostmi z obdobných provozů.

Rychlost proudění vzdušiny v potrubí pro odsávací místo číslo 1 vypočteme dosazením do vzorce (2.9). Přehled všech odsávacích míst je zobrazen v Tab. 2.4.

$$w = \frac{Q}{S \cdot t} \quad (2.9)$$

$$w = \frac{20000}{0,312 \cdot 3600} = 17,8 \text{ m/s}$$

Z navržených 14 odsávacích míst jsou zplodiny odsávány přes odsávací potrubí (viz. Tab. 2.4). Toto potrubí se dále napojuje do sběrného potrubí, kde se zplodiny různých teplot mísí. Sběrné potrubí je navrženo samostatně pro spodní část chladicího pásu, druhou větev tvoří horní část chladicího pásu. Do sběrného potrubí spodní části se napojují odsávací potrubí č. 1 až č. 7. Horní část sběrného potrubí pojme zplodiny z odsávacích míst č. 8 až č. 14. Sběrné potrubí bude vedeno v bezprostřední blízkosti chladicího pásu a umístěno na speciální příhradové konstrukci. Podpěry z příhradové konstrukce budou umístěny v intervalu cca 3000 až 5000 mm podle reálných možností. Uložení potrubí bude mít pevné body a kluzná uložení, která umožňují dilataci potrubí. Tomuto řešení jsem dal přednost před vedením sběrného potrubí přímo nad chladícím pásem, jenž by výrazně komplikovalo přístup ke chladicímu pásu v případě sebemenších oprav či revize.



Obr. 14 Vetknutá patka příhradového sloupku [17]

Vetknutá patka příhradového sloupu se skládá z dvojice patních plechů, které jsou vzájemně propojeny z obou stran sloupu dvojicí U profilů. U profily se vyztužují v místě uložení příčníků pomocí čtveřice svislých výztuh. Příčníky tvoří dvojice U profilů. Samotné kotvení je provedeno pomocí 4 kotevních šroubů. [17]

Tab. 2.5 Sběrné potrubí

	Sběrné potrubí	Q [m ³ /h]	ΦD [mm]	S [m ²]	w [m/s]
Spodní větev	č.1 - 2	60000	1120	0,985	16,9
	č.1 - 3	80000	1250	1,227	18,1
	č.1 - 4	100000	1400	1,539	18,0
	č.1 - 5	120000	1600	2,011	16,6
	č.1 - 6	140000	1600	2,011	19,3
	č.1 - 7	160000	1800	2,545	17,5
Horní větev	č.14 - 13	40000	900	0,636	17,5
	č.14 - 12	60000	1120	0,985	16,9
	č.14 - 11	80000	1250	1,227	18,1
	č.14 - 10	100000	1400	1,539	18,0
	č. 14 - 9	120000	1600	2,011	16,6
	č. 14 - 8	140000	1600	2,011	19,3

Obě větve sběrného potrubí se sloučí v jedinou trubku, tzv. přívodní potrubí. Přívodní potrubí odvádí veškeré zplodiny k vstupní přírubě odlučovací stanice, tedy látkového filtru. Z důvodu ochrany filtračních hadic bude na přiváděcím potrubí před vstupní přírubou klapa, která může přisát venkovní vzduch a snížit tak teplotu zplodin přiváděných k filtračním hadicím.

Výpočet vnitřního průměru potrubí a rychlosti proudění zplodin dostaneme dosazením do vztahu (2.9). Průměr přívodního potrubí Φ 2500 mm.

$$w = \frac{Q}{S \cdot t} = \frac{300000}{4,909 \cdot 3600} = 17,0 \text{ m/s}$$

2.4 Aerodynamický výpočet potrubní trasy

Aerodynamický výpočet rozvodů vzduchu je založen na poznatcích o proudění tekutiny potrubím. Veličiny jako tlak, teplota, hustota a rychlost proudění určují stav proudícího média. Platí jednoduchá *stavová rovnice* (2.10), kde R [J/kg.K] je plynová konstanta. Při aerodynamickém výpočtu předpokládáme podmínku *kontinuity proudu*, kde pro ustálené proudění platí vztah (2.11), kde M [kg/s] je hmotnostní průtok média.

$$p = \rho R T \quad (2.10)$$

$$M = \rho w S \quad (2.11)$$

Aerodynamický výpočet potrubní trasy slouží k určení tlakových ztrát (odporů) při proudění odsávané vzdušiny navrženým systémem. Celková tlaková ztráta se skládá z odporů při proudění vzdušiny a místními odpory. Ze stanovené celkové tlakové ztráty systému se navrhne sací ventilátor.

2.4.1 Odpor třením

Odpor vzniklý třením při neizotermickém proudění závisí na délce kanálu L [m], ekvivalentním průměru kanálu d_e [m], rychlosti proudění média w [m/s], dále na hustotě proudícího média ρ [kg/m³], střední teplotě proudícího média T a teplotě stěny T_{st} [K] dle vztahu (2.12).

$$\Delta p_t = \lambda \frac{L}{d_e} \frac{w^2}{2} \rho \left(\frac{T}{T_{st}} \right)^{0,583} \quad (2.12)$$

Pro izotermické proudění je výraz $(T/T_{st})^{0,583} = 1$. Součinitel tření λ závisí na drsnosti kanálu a druhu proudění, které je charakterizováno Reynoldsovým číslem Re , kde ν je kinematická viskozita [m²/s]. Početní stanovení součinitele tření λ se určí dle vztahu (2.14) nebo jej lze odečíst i z grafu. [7]

$$Re = \frac{w d_e}{\nu} \quad (2.13)$$

$$\lambda = \frac{0,857}{(\log Re)^{2,4}} \quad (2.14)$$

Odpor vlivem tření proudícího média v potrubí o průměru 630 mm vypočteme dosazením do vzorce (2.12), respektive (2.13) a (2.14). Přehled všech ztrát třením je zobrazen v Tab. 2.6.

$$Re = \frac{w d_e}{\nu} = \frac{17,8 \cdot 0,63}{0,00004061} = 276139 [-]$$

$$\lambda = \frac{0,857}{(\log Re)^{2,4}} = \frac{0,857}{(\log (276139))^{2,4}} = 0,0147 [-]$$

$$\Delta p_t = \lambda \frac{L}{d_e} \frac{w^2}{2} \rho \left(\frac{T}{T_{st}} \right)^{0,583} = 0,0147 \cdot \frac{73}{0,63} \cdot \frac{17,8^2}{2} \cdot 0,746 = 201 \text{ Pa}$$

Tab. 2.6 Odpory v potrubní trase vlivem tření

ΦD [mm]	Délka L [m]	Re [-]	λ [-]	Δp _t [Pa]
630	73	276139	0,0147	201
900	7,5	387836	0,013786	13
1120	6,5	466092	0,013325	8
1250	6	557129	0,012898	8
1400	6	620537	0,012649	7
1600	12,5	709185	0,01235	12
1800	8	775671	0,012155	6
2500	13	1046540	0,011534	6
SUMA	132,5			261

2.4.2 Místní odpory

Součinitel místních odporů při izotermickém proudění závisí na geometrickém tvaru kanálu, uspořádání trubkových svazků a *Re*. Místní odpory při izotermickém proudění se určí dle vztahu (2.15), kde $\xi [-]$ je ztrátový součinitel. [7]

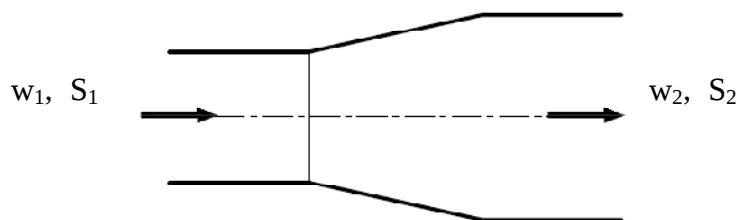
$$\Delta p_m = \xi \frac{w^2}{2} \rho \quad (2.15)$$

Určování součinitelů místních odporů:

a) Tlaková ztráta změnou průřezu.

Součinitel ξ pro difuzor se určí dle vztahu (2.16), kde $S_1 [m^2]$ je vstupní průřez difuzoru a $S_2 [m^2]$ je výstupní průřez za difuzoru. K_1 , K_2 jsou hodnoty odečtené z grafu.

$$\xi = K_1 K_2 \left(1 - \frac{S_1}{S_2} \right)^2 \quad (2.16)$$



Obr. 15 Difuzor [7]

Výpočet ztráty místními odpory pro změnu průměru potrubí z $d_1 = 630$ mm na průměr $d_2 = 900$ mm se vypočítá podle vztahu (2.15) a výpočet ztrátového součinitele pro změnu průřezu se stanoví podle vztahu (2.16).

$$\xi = K_1 K_2 \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 = 0,96 \cdot 1,79 \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot d_1^2}{\pi \cdot d_2^2}\right)^2 = 0,45[-]$$

$$\Delta p_m = \xi \frac{w^2}{2} \rho = 0,45 \cdot \frac{17,8^2}{2} \cdot 0,985 = 71 \text{ Pa}$$

b) Tlaková ztráta změnou směru.

Součinitel místního odporu pro oblouková kolena stejného kruhového či hranatého průřezu se určí dle vztahu (2.17). Součinitel ξ_0 , platný pro úhel kolena $\alpha = 90^\circ$ a $Re = 5 \cdot 10^3$. Opravné součinitele x_1, x_2, x_3 respektují jiné hodnoty Re a jinou velikost úhlu kolena α .

$$\xi = \xi_0 x_1 x_2 x_3 \quad (2.17)$$

Výpočet ztrátového součinitele vlivem změny směru proudu (koleno $\alpha = 45^\circ$ a $Re = 276139$) podle vztahu (2.17) a výpočet ztráty místními odpory dle vztahu (2.15).

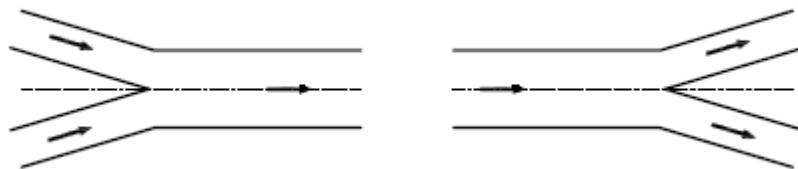
$$\xi = \xi_0 x_1 x_2 x_3 = 0,31 \cdot 1,3 \cdot 0,75 \cdot 1 = 0,3[-]$$

$$\Delta p_m = \xi \frac{w^2}{2} \rho = 0,3 \cdot \frac{17,8^2}{2} \cdot 0,985 = 47 \text{ Pa}$$

c) Tlaková ztráta při dělení proudu.

Rozbočky se dělí na souměrné a nesouměrné, nebo také na rozdělovací a spojující. Při výpočtu odporu souměrných rozboček se uvažuje, že je rozbočka rozdělena podélnou osou na dvě souměrná ostrá kolena, u kterých se pak aerodynamický odpor počítá pro každé koleno zvlášť. Pro nesouměrné rozbočky se součinitel odporu určí dle vstupujících průřezů

potrubí s průměrem d_1 , d_2 a s úhlem rozdělení nebo spojení proudů 90° , 60° a 45° dle grafů.



Obr. 16 Souměrné rozbočky proudu – spojující, rozdělující [7]

d) Tlaková ztráta látkového filtru.

Tlaková ztráta filtru je závislá na stáří filtračních látek a samotném procesu regenerace. S rostoucím počtem provozních hodin tlaková ztráta narůstá. Pro výpočet celkové ztráty potrubní trasy je ztráta látkového filtru naddimenzována z důvodu možnosti výpadku tlakového vzduchu či jiných nepředvídatelných stavů. U nových látkových filtrů udává výrobce tlakovou ztrátu od 1200 až 1600 Pa. Pro výpočet se uvažuje tlaková ztráta filtru 2400 Pa.

Tab. 2.7 Ztráta potrubního systému

Typ ztráty:	Vypočtená hodnota [Pa]	Vypočtená hodnota + rezerva [Pa]
Odpor vlivem tření	261	300
Místní odpory	1155	1300
Odpor látkového filtru	1400 - 1800	2700
Suma:	-	4300

2.5 Kompresorová stanice

Tlakového vzduchu je využíváno v mnoha výrobních procesech jako nepostradatelného provozního média. Stejně je tomu i při odprašovacích procesech pomocí látkového filtru. Odlučovací stanice bude mít vlastní kompresorovou stanici, která bude umístěna v bezprostřední blízkosti látkového filtru, v samostatné nuceně větrané místnosti. Kompresorová stanice musí být navržena na parametry spotřeby tlakového vzduchu pro regeneraci látkového filtru a pro potřebu tlakového vzduchu pro čerání výsypek provozních mezizásobníků. Pro regeneraci látkového filtru je požadován tlakový vzduch o minimálním tlaku 0,5 MPa a maximálním tlaku 0,76 MPa. Uspořádání kompresorů je vhodné volit s podmínkou 100% zálohy.

2.6 Odlučovací stanice

Odlučovací stanice je provozním souborem, který řeší odprášení chladícího pásu aglomerace Jih. Odlučovací stanice je soubor strojního zařízení, který je tvořen látkovými filtry s pulsní regenerací, tahovými ventilátory, tlumiči hluku, zařízením pro krátkodobé skladování a odsun zachyceného prachu, propojovacím vzduchotechnickým potrubím a komínem.

Tab. 2.8 Vstupní parametry (maximální) vzdušiny před vstupem do filtrační stanice a ventilátoru

Parametry odsávané vzdušiny:	Průtok média [m ³ _{ef} /h]	Průtok média [m ³ _{ef} /s]	Teplota [°C]
u zdroje znečištění	300000,0	83,33	250
na vstupu do látkového filtru	294265,0	81,74	max. 240
na vstupu do ventilátoru	288530,5	80,15	230

Pozn. "ef" - efektivní stav, stav plynu při provozní teplotě a vlhkosti (obvyklé provozní podmínky)

Látkový filtr EFP používá k čištění hadic stlačený vzduch, tzv. pulsní regenerace. Uplatňuje se v širokém spektru průmyslových aplikací od malých velikostí pro odprašování (např. sil), až po velká zařízení na odprašování velkých technologických zdrojů prašnosti (kotle, vysoké pece, aglomerace atd.). Látkový filtr je konstrukčně řešen jako soustava modulů vzájemně propojených vstupním a výstupním kanálem. Každý modul tvoří samostatnou filtrační jednotku a je vybaven pneumaticky ovládaným talířovým ventilem na výstupu a ručně ovládanou klapou na vstupu. Toto provedení umožňuje provoz filtru ve dvou režimech regenerace, a to systém on-line (regenerace filtračních hadic bez odstavení modulu z provozu) a systém off-line (regenerace filtračních hadic při odstaveném modulu z provozu). Výše uvedené provedení látkového filtru zároveň umožňuje provádět revizi, případně servis, jednoho z modulů bez potřeby odstavit z provozu celý filtr, čímž je eliminováno nebezpečí odstavení celého chladícího pásu z provozu v případě poruchy látkového filtru. Filtrační elementy tvoří hadice, které jsou nataženy na nosné koše. Vzniklá vrstva prachu se pravidelně odstraňuje z povrchu filtračních hadic pulsní regenerací. Regenerace se provádí krátkými pulsy stlačeného vzduchu, čímž dochází k utržení vnější usazené vrstvy prachu. Proces regenerace probíhá při provozu postupně po jednotlivých řadách hadic, tzv. systém on-line. Regenerace je řízena vlastním automatem podle nárůstu tlakové ztráty filtru (viz. Příloha číslo 4 – Filter EFP – 4 – 5,5 – 384 – D6). [9]



Obr. 17 Látkový filtr EFP [9]

Ventilátor je navržen pro potřebu odsávacího množství vzdušiny a pro překonání všech odporů v navrhované potrubní trase včetně vlastní tlakové ztráty látkového filtru. Ventilátor bude přes spojku poháněn elektromotorem s regulací otáček pomocí frekvenčního měniče. Hluk produkovaný ventilátorem a elektromotorem bude jednak eliminován vestavbou tlumičů hluku do výfukového potrubí, dále bude ventilátor izolován zvukopohltivým materiálem tak, aby hladiny akustického tlaku v chráněných zónách v souladu s nařízením vlády č. 272/2011 Sb., ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Tab. 2.9 Parametry pro návrh ventilátoru

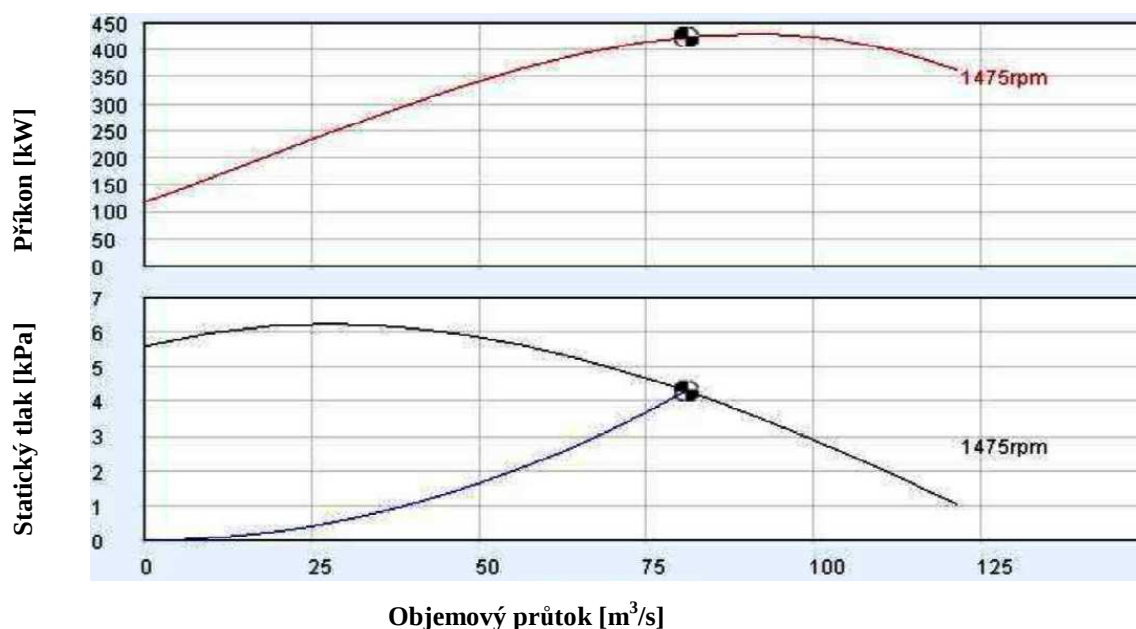
Průtok média	80,15	[m ³ _{et} /s]
Teplota	230	[°C]
Statický tlak	4300	[Pa]
Napětí motoru	500	[V]
Umístění ventilátoru	venkovní prostředí	

Typ ventilátoru: **BCS – 2 1674**

- radiální ventilátor, oboustranně sací se sacími komorami
- kotvení na betonový základ
- hmotnost včetně motoru 9000 kg

Tab. 2.10 Specifikace ventilátoru

Radiální ventilátor BCS - 2 1674		
Průměr kola	1674	[mm]
Příkon	424	[kW]
Rychlost	1475	[1/min]
Teplota média	230	[°C]
Objemový průtok	83,3	[m ³ /s]
Tlak na vstupu	4000	[Pa]
Statický tlak	4300	[Pa]
Účinnost	82	[%]
Hlučnost	99	[dB]



Graf 2.2 Pracovní bod ventilátoru

Ventilátor BCS (Backward Curved High Volume) se používá pro dopravu relativně čistého vzduchu ve vysokotlakových aplikacích. Používá se pro dopravu vzduchu

při spalovacích procesech, při chlazení produktů, pro fluidní kotle s nuceným odtahem a také jako sací ventilátor za filtrem při čištění vzduchu. Kolo ventilátoru tvoří robustní ocelová konstrukce, která se zejména využívá tam, kde se vyžadují velké objemy vzduchu na střední až vysoké tlaky.



Obr. 18 Oboustranně sací ventilátor, výrobce Klima Prachatice - vlastní foto

Podavače a šnekové dopravníky jsou určeny k plynulé dopravě odprašků. Na výpadech z výsypek látkového filtru jsou jako tlakové uzávěry instalovány motoricky ovládané dvojklapky, které zajišťují vynikající odolnost vůči extrémním abrazivním vlastnostem dopravovaného materiálu. Pod dvojklapkami je pro dopravu odloučeného materiálu instalován systém šnekových dopravníků. Pohon dopravníku zajišťuje čelní převodový motor v patkovém provedení, který je spojen se šnekovnicí spojkou. Dopravník bude vybaven snímačem rotačního pohybu.

Mezizásobníky prachu budou umístěny pod výsypkami filtru chladícího pásu, do kterých bude kontinuálně odváděn zachycený prach z výsypek látkového filtru. Z mezizásobníků bude prach distribuován pneumatickou dopravou zpět na začátek výroby aglomerátu. Výsypky provozních zásobníků budou vybaveny čeřícím zařízením.

2.6.1 Základní parametry odlučovací stanice

Specifikace	Jednotka
-------------	----------

Parametry odsávané vzdušiny

- průtok	300000	[m ³ /h]
- plyn	vzduch	
- teplota plynu	200	[°C]
- rosný bod plynu	neuveden	[°C]
- vstupní koncentrace prachu	>2	[g/m ³]
- prach	aglomerát	

Konstrukční podmínky

- dodávka podle norem – platnost	EU	
- konstrukční tlak	-5,0	[kPa]
- konstrukční teplota	250	[°C]

Technické parametry filtru

- typ	EFP-4-5,5-384-D6	
- počet	1	[ks]
- hmotnost	129000	[kg]
- výkres č.	2N-04543-002	
- filtrační plocha	4163	[m ²]

Rozsah dodávky zařízení

Komora čistého plynu

s trubkovnicí

- provedení komory	s víky a izolačními panely	
- stěny – tl. plechu / materiál	4 / S235JR	[mm]

Skříň

- stěny – tl. plechu / materiál	4 / S235JR	[mm]
---------------------------------	------------	------

Kanál vstup-výstup

- stěny – tl. plechu / materiál	4 / S235JR	[mm]
- vstupní klapka	2500 x 2240, rozdělená na 4 části, ručně ovládaná	[mm]

- výstupní ventily	4 x Ø1400, pneumaticky ovládaný	[mm]
- obtokové ventily	-	[mm]

Výsypka

- stěny – tl. plechu / materiál	5 / S235JR	[mm]
- vytápění výsypky	4 x 3 x topné těleso	
- šoupátko	4 x SPA 250	
- tlakový uzávěr	4 x KUA 250	

Filtrační hadice

- jmenovitý průměr / délka	152 / 5500	[mm]
- systém uchycení	snapring	

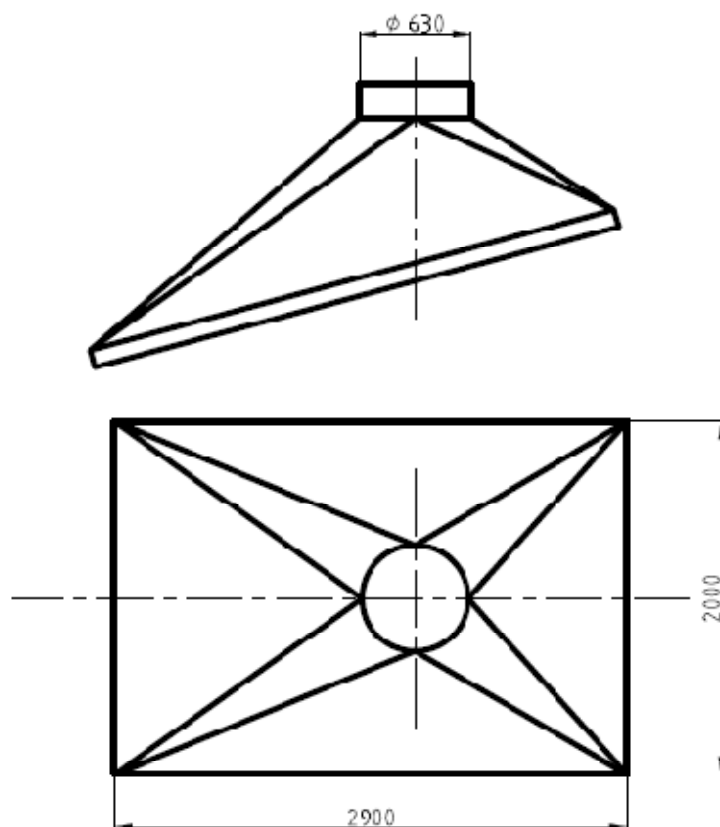
Specifikace		Jednotka
- textilie	PI/PTFE	
- úprava povrchu	termofixace, zahřazení, impregnace	
	PTFE	
- plošná hmotnost	520	[g/m ²]
- teplotní odolnost – prov. / 240 / 260		[°C]
špičková		
Podpěrné koše		
- provedení	drátěné, nahoře lem, dole dno	
- materiál / úprava povrchu	S235JR / epoxy-silikonový nátěr	
- počet drátů	20	[ks]
- počet dělení	1	[ks]
Venturky		
- provedení / úprava povrchu	DC01 / -	
Regenerace		
- vzdušník – materiál	S235JR	
- membránové ventily	ASCO	
Řízení		
- typ	PLC	
- řízení regenerace	časově nebo dle tlakové ztráty	
Podpěrná konstrukce		
- materiál	profily z oceli S235JR	
Plošiny, schodiště (na komoru čistého plynu)		
- materiál konstrukcí	profily z oceli S235JR	
- podlahy	pozinkované pororošty	
Přístřešek		
- materiál konstrukce	profily z oceli S235JR	
- opláštění	pozinkovaný trapézový plech	
- kladkostroj	1 x ruční	
- větrací ventilátor	1	[ks]
Ventilátor		
- typ	BCS – 2 1674	
- hmotnost	9000	[kg]
- počet	1	[ks]
- průtok provozní	83,3	[m ³ /s]
- statický tlak	4300	[Pa]
- teplota plynu provozní	230	[°C]
- otáčky	1475	[min ⁻¹]
- monitor provozu	2 x snímač vibrací, 2 x teploměr	
- uložení	pružné na izolátorech chvění	
- pohon	na spojku	
- regulační ústrojí	frekvenční měnič	

Specifikace		Jednotka
- kompenzátory	pružné vložky na vstupu a výstupu	
- motor	Siemens 1LA8 403-6PB	
Tlumič hluku		
- rozměr	3000x3000/L=2200	
- hmotnost	2900	[kg]
- počet	1	[ks]
- tlaková ztráta	200 (při 250 °C)	[Pa]
- ak. tlak 1m od výtlaku potrubí	83±2	[dB(A)]
Spotřeba energií		
Elektrická energie		
- řízení filtru, 230V/50Hz	1,5	[kW]
- větrací ventilátor, 230V/50Hz	1,0	[kW]
- vytápění výsypky, 400V/50Hz	4 x 3 x 0,5	[kW]
- tlakový uzávěr, 400V/50Hz	4 x 0,12	[kW]
- ventilátor, 400V/50Hz	450	[kW]
Tlakový vzduch		
- filtr	190	[Nm ³ /h]
- tlak vzduchu - max. / min.	0,76 / 0,5	[MPa]
- požadovaný rosný bod	-40	[°C]
- požadovaná kvalita	bez oleje a nečistot	
Hranice dodávky		
<i>Strojní část</i>		
- kotvení filtru	patky podpěrné konstrukce filtru	
- vstup do filtru	vstupní příruba filtru	
- výstup z filtru	výstupní příruba filtru	
- výpad z filtru	výpadové příruby dvojklapek	
- tlakový vzduch	přípojka na vzdušníku regenerace	
- kotvení ventilátoru	pružné uložení ventilátoru	
- vstup do ventilátoru	vstupní příruba ventilátoru	
- výstup z ventilátoru	výstupní příruba ventilátoru	
<i>Elektro část</i>		
- řízení filtru	svorkovnice časovače	
- větrací ventilátor	svorkovnice elektromotoru	
- vytápění výsypky	přívodní kabely topných těles	
- tlakový uzávěr	svorkovnice elektromotoru	
- ventilátor	svorkovnice elektromotoru	

2.7 Dispozice hlavních navržených zařízení

Celé předkládané řešení odprášení chladícího pásu je navrženo se snahou vhodného umístění daných strojních zařízení. Při návrhu potrubní trasy je brán ohled na přístup k důležitým místům chladícího pásu v případě poruchy, oprav či naplánované revize. Druhým hlediskem je finanční stránka, bylo snahou navrhnout potrubní trasu co nejúčelněji a nejekonomičtěji. Látkový filtr je navrhnout pro dané prostředí aglomerace a dimenzován na objemový průtok a teplotu odsávané vzdušiny. Umístění je voleno co možná nejbližší chladícího pásu z důvodů ekonomického napojení na potrubní trasu. To samé platí i pro návrh ventilátoru.

Potrubní trasa má délku 132,5 m k odlučovací stanici a 33 m od odlučovací stanice přes ventilátor až do komína. Celková délka potrubní trasy je 165,5 m. Průměry trubek jsou od 630 mm až 2500 mm. Potrubní trasu tvoří 14 odsávacích míst, které jsou osazeny odsávacími zákryty (Obr. 18).



Obr. 19 Návrh odsávacího zákrytu

Odlučovací stanice, tedy látkový filtr EFP – 4 – 5,5 - 384 – D6, se skládá ze 4 filtračních komor (modulů), kde každá komora obsahuje 384 filtračních hadic délky 5500 mm. Filtrační plocha látkového filtru je 4163 m². Textilie filtračních hadic je vyrobena z polyimidu. Vnější rozměry filtrační stanice jsou 10970 x 10320 x 18700 (délka x šířka x výška v [mm]). Hmotnost celého zařízení je 129000 kg.

Radiální ventilátor BCS 2 1674 je umístěn bezprostředně vedle odlučovací stanice a je propojen příslušným potrubím (viz. Příloha číslo 3 – Dispozice odprašovacího zařízení). Hmotnost ventilátoru je 9000 kg. Ventilátor je opatřen tlumičem hluku pro snížení hlučnosti celého zařízení. Potrubí na sací i výtláčné straně ventilátoru je opatřeno vestavbou pro potlačení vibrací, které by se negativně projevovaly v celém potrubním systému. Spirální skříň ventilátoru bude ještě navíc opatřena tepelnou a protihlukovou izolací, která bude opláštěná pozinkovaným plechem a zabezpečena proti zatékání. Ventilátor je spolu s elektromotorem uložen na společném ocelovém rámu, který bude kotven přes izolátory chvění do betonového základu.

Ventilátor s filtrem propojuje kruhovým potrubím. V potrubí je umístěna ruční klapka, dvě měřicí příruby a zařízení na měření emisí prachu Bassig 2. Zařízení Bassig 2 měří transmissi infračerveného světelného paprsku procházejícího přes sledované prostředí. Paprsek prochází přes prostředí jedním směrem, na jedné straně je umístěna hlavice optického vysílače a na druhé straně hlavice optického přijímače. Naměřené hodnoty se přenáší po komunikační lince přenášeny do PC. Počítač je vybaven monitorovacím programem, kompletním zařízením umožňujícím měření okamžitých (špičkových) průměrných emisních hodnot pro tuhé znečišťující látky s následným grafickým vyhodnocením naměřených hodnot.



Obr. 20 Indikátor prachových částic Bassig 2 [20]

Závěr

Cílem práce bylo navrhnout vhodná zařízení pro odprášení chladícího pásu na aglomeraci Jih v Ostravě. Úvod práce popisuje výrobu aglomerátu, nejčastější suroviny pro přípravu vstupní vsázky a strojní zařízení, které obsahuje provoz aglomerace. Další kapitola rozebírá vliv provozu aglomerace na kvalitu ovzduší, nejběžnější používanou technologii na čištění spalin z aglomeračního (spékacího) pásu. V první části je pozornost věnována také právní úpravě ochrany ovzduší v České republice, příslušným emisním limitům pro polévatý prach a geomorfologickým podmínkám Moravskoslezského kraje, zejména oblasti Ostravska. Další kapitola je věnována odlučovacímu zařízení, která jsou používána v aglomeračních závodech. Klasickým zařízením pro odlučování prachu je elektrický odlučovač, který je odolný vůči působení vysoké teploty, vhodný pro velké objemové průtoky plynu a má dobrou odlučovací schopnost. Moderním a v dnešní době hojně instalovaným zařízením jsou pro odlučování prachu látkové filtry, které mají velmi vysokou odlučivost a uplatňují se tak v širokém spektru průmyslových aplikací. Instalují se i jako další stupeň odlučování za stávající elektrické odlučovače za účelem dosažení nižšího obsahu tuhých znečišťujících látek vypouštěných do atmosféry. Neustálý vývoj v oblasti syntetických vláken dává možnost rozšíření pracovních oblastí látkových filtrů i pro čištění plynů za vysokých teplot.

V druhé části práce je řešen návrh a volba správné technologie odlučování. Pro správnou volbu odlučovací stanice je nutné znát rozložení teplot plynu nad chladícím pásem. Odsávací teplota je stanovena početně na základě vypočtení tepelného výkonu chladícího pásu kapacitní metodou. Následuje návrh potrubní trasy, která měla za úkol přivést znečištěný plyn k odlučovací stanici. Navrhují 14 odsávacích míst, které jsou opatřeny odsávacím zákrytem. Zákryty pásu musí umožnit přisávání venkovního (chladícího) vzduchu, a současně zabránit vystřelování drobných částecek chladnouceho aglomerátu mimo zákryt. Průměry potrubí jsou navrženy s ohledem na rychlost proudění odsávané vzdušiny, na minimální abrazi materiálu potrubní sítě, tak aby nedocházelo na rovnějších úsecích k sedimentaci odloučených prachových částic. Ochrana filtračních hadic před náhlým (havarijním) zvýšením teploty zajišťuje na přívodním potrubí klapka, která je schopna přisávat do potrubní sítě venkovní chladnější vzduch, a zajistit snížení teploty proudící vzdušiny. Jako odlučovací zařízení byl zvolen látkový filtr EFP-4-5,5-384-D6, který je instalován do provozního souboru a řeší odprášení chladícího pásu na aglomeraci. Filtry EFP-4-5,5-384-D6 jsou látkové hadicové filtry s regenerací filtračních hadic krátkodobými pulsy stlačeného vzduchu. Filtr je skříňového celosvařovaného provedení, uvnitř skříňe jsou v řadách umístěny filtrační hadice. Odsávaný znečištěný plyn je přiveden do skříňe filtru, ve které je filtrován průchodem přes filtrační hadice, načež vstupuje do komory čistého plynu. Z komory čistého plynu odchází výstupním otvorem do potrubí a ventilátoru. Na výstupním potrubí je instalován indikátor prachových částic Bassig 2 pro vyhodnocování a zaznamenávání průměrných emisních hodnot tuhých znečišťujících látek. Odlučovací zařízení je propojeno potrubím s ventilátorem. Ventilátor je navržen pro odsávání potřebného množství vzdušiny a pro překonání všech odporů potrubní trasy včetně ztráty látkového filtru. Radiální ventilátor BCS – 21674 je oboustranně sací a je poháněn přes spojku elektromotorem s regulací

otáček pomocí frekvenčního měniče. Ventilátor s elektromotorem je uložen na společném ocelovém rámu, který je kotven přes izolátory chvění na betonový základ. Na vstupním a výstupním potrubí ventilátoru jsou zařazeny tkaninové kompenzátory. Výtlak ventilátoru bude navíc osazen tlumičem hluku. Výfukové potrubí bude vyvedeno do komína.

Instalace nové odprašovací jednotky pro chladicí pás výrazně sníží emise TZL. Maximální hodnota koncentrace úletu TZL za filtrem EFP-4-5,5-384-D6 je 20 mg/m^3 . Střední denní hodnota prachových emisí je $< 10 \text{ mg/Nm}^3$. Instalací odprašovací jednotky nedojde ke zvýšení hlukové zátěže v okolí závodu. Spirální skříň ventilátoru je opatřena tepelnou a protihlukovou izolací, v potrubí na výtlaku z ventilátoru je zařazen tlumič hluku.

Seznam použitých zdrojů

- [1] ŠTORCH, Otakar a kolektiv. *Čištění průmyslových plynů a exhalací odlučovači*. Praha: SNTL, 1974. 312 s.
- [2] BRETSCHNEIDER, Boris a Jiří KUNFÜRST. *Technika ochrany ovzduší*. Praha: SNTL, 1978. 260 s.
- [3] NOVÝ, Richard a kolektiv. *Technika prostředí*. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 80-01-03492-5.
- [4] HEMERKA, Jiří. *Odlučování tuhých částic*. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 80-01-002270-6. 138 s.
- [5] HONZA, Otakar a Ján KRET. *Výroba aglomerátu s vysokým obsahem železa*. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. 70 s. ISBN 978-80-248-1281-6.
- [6] JÍCHA, Miroslav. *Přenos tepla a látky*. Brno: CERM, s.r.o., 2001. 190 s. ISBN 80-214-2029-4.
- [7] ČERNÝ, Václav a kolektiv. *Parní kotle*. Praha 1: SNTL, 1983. 864 s.
- [8] Firemní stránky ZVVZ - Enven Engineering, a.s.: Elektrické odlučovače. [online]. [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: www.zvvz.cz/zvvz-enven/produkty/elektricke-odlucovace.html
- [9] Firemní stránky ZVVZ - Enven Engineering, a.s.: Látkové filtry. [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: www.zvvz.cz/zvvz-enven/produkty/latkove-filtry.html
- [10] Vývoj imisní zátěže v Moravskoslezském kraji: ČHMU. JANA OSTATNICKÁ. [online]. [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: www.cleanborder.eu/prezentacje/malenovice/6%20%20Dlouhodob%C3%BD%20v%C3%BDvoj%20imisn%C3%AD%20z%C3%A1t%C4%9B%C5%BEE%20v%20MSK%20-%20Ostatnicka.pdf
- [11] Polétavý prach PM 10, PM 2,5, PM 1,0. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: www.cistenebe.cz/index.php/slovnicek-pojmu/13-poletavy-prach-pm10-pm25-pm10
- [12] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-201-2012-sb-o-ochrane-ovzdusi

- [13] Kvalita ovzduší v Moravskoslezském kraji. [online]. [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/vystava/CISTOTA/13.pdf>
- [14] Suspendované částice. [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty_zdravi/susp_castice.pdf
- [15] Český hydrometeorologický ústav. [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://chmu.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P1_0_Home
- [16] Odprašování aglomeračních pásů: Jaromír Kabát. [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: www.metal2013.com/files/proceedings/metal_02/papers/141.pdf
- [17] Detaily ocelových konstrukcí. [online]. [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://detailyok.webnode.cz/halovy-objekt/pricna-vazba/kotveni-sloupu/>
- [18] Díly kruhového potrubí: Katalogový list. [online]. [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.zvvz.cz/data/files/176km120319a.pdf>
- [19] Výroba železa. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/ocelove-mesto-vysoke-pece-arcelor-mittal-v-ostrave-funguji-i-jako-cisticka-vzduchu-gk7-/tec_reportaze.aspx?c=A120513_213940_tec_reportaze_rja
- [20] Indikátor prachových částic Bassig - 2. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://8388.cz.all.biz/indikator-prachovych-castic-bassig-2-g54129>

Seznam použitých zkratek a symbolů

ef.	[-]	efektivní stav
EO	[-]	elektrický odlučovač
MCS	[-]	mikroprocesorové řízení
PI	[-]	polyimid
PM	[-]	particulate matter (polétavý prach)
PLC	[-]	řízení programovatelným automatem
TZL	[-]	tuhé znečišťující látky
c_p	[kJ/kg.K]	měrná tepelná kapacita
d_1	[mm]	vstupní průměr potrubí
d_2	[mm]	výstupní průměr potrubí
d_e	[m]	ekvivalentní průměr kanálu
l	[m]	dálka chladícího pásu
m_{vz}	[kg]	spotřeba chladícího vzduchu
p	[Pa]	tlak v systému
Δp_m	[Pa]	místní odpory
Δp_t	[Pa]	odpor vlivem tření
t_p	[s]	doba přejezdu pásu
w	[m/s]	rychlost proudění vzdušiny v potrubí
w_1	[m/s]	rychlost proudění vzdušiny na vstupu
w_2	[m/s]	rychlost proudění vzdušiny na výstupu
x_1, x_2, x_3	[-]	opravní součinitele
B	[m]	šířka vrstvy aglomerátu
D	[m]	výška vrstvy aglomerátu
D_z	[mm]	střední zrno
ΦD	[mm]	průměr potrubí
K_1, K_2	[-]	hodnoty odečtené z grafu
L	[m]	délka kanálu
M	[kg/s]	hmotnostní průtok média
M_a	[t]	hmotnost aglomerátu na páse
P	[t/h]	výkon chladícího pásu
Q	[W]	tepelný výkon
Q_{vz}	[m ³ /h]	průtok vzdušiny
R	[J/kg.K]	plynová konstanta
Re	[-]	Reynoldsovo číslo

S	$[m^2]$	průřez potrubí
S_1	$[m^2]$	vstupní průřez difuzoru
S_2	$[m^2]$	výstupní průřez difuzoru
T	$[^{\circ}C]$	výstupní teplota
T_{ag}	$[^{\circ}C]$	teplota aglomerátu
T_{OD}	$[^{\circ}C]$	odsávací teplota
T_{st}	$[K]$	teplota stěny
T_{VZ}	$[^{\circ}C]$	teplota chladícího vzduchu
T_0	$[^{\circ}C]$	vstupní teplota
V	$[m/min]$	rychlost posuvu chladícího pásu
V_{CH}	$[kg]$	objem chladícího vzduchu
α	$[^{\circ}]$	úhel kolena
ϵ_0	$[-]$	součinitel pro daný úhel kolena
η	$[\%]$	účinnost
λ	$[-]$	součinitel tření
ν	$[m^2/s]$	kinematická viskozita
ξ	$[-]$	ztrátový součinitel
ξ_p	$[-]$	ztrátový součinitel
ρ	$[m^3/kg]$	hustota
τ	$[-]$	časová konstanta

Seznam obrázků

Obr. 1 Aglomerát na neodprášeném chladícím páse – vlastní foto.....	18
Obr. 2 Schéma spékací a chladicí části aglomeračního provozu	20
Obr. 3 Spékací pás aglomerace [19]	20
Obr. 4 Pojízdný rošt spékacího pásu [19]	21
Obr. 5 Zapalovací plynový hořák [19].....	21
Obr. 6 Nejvyšší 24 hod. koncentrace PM10 v roce 2011 [11].....	22
Obr. 7 EO - a) horizontální, b) trubkový [2]	26
Obr. 8 Napojení na EO – a) přímé, b) s ohybem [1].....	27
Obr. 9 Upevnění usazovacích elektrod na čepech [8].....	28
Obr. 10 Zavěšení vysokonapěťových elektrod [8].....	28
Obr. 11 Systém regenerace hadic – pulsní proplach [9]	30
Obr. 12 Schéma látkového filtru [9]	31
Obr. 13 Detail chladících ventilátorů – vlastní foto	33
Obr. 14 Vetknutá patka příhradového sloupku [17].....	41
Obr. 15 Difuzor [7]	45
Obr. 16 Souměrné rozbočky proudu – spojující, rozdělující [7].....	46
Obr. 17 Látkový filtr EFP [9].....	48
Obr. 18 Oboustranně sací ventilátor, výrobce Klima Prachatice - vlastní foto.....	50
Obr. 19 Návrh odsávacího zákrytu.....	54
Obr. 20 Indikátor prachových částic Bassig 2 [20].....	55

Seznam tabulek

Tab. 1.1 Vlastnosti aglomerátu [5]	19
Tab. 1.2 Imisní limity a povolený počet jejich překročení [12]	23
Tab. 1.3 Vlastnosti filtračních textilií [9]	30
Tab. 2.1 Charakteristické veličiny chladícího pásu	34
Tab. 2.2 Uvolněné teplo a teplota aglomerátu	36
Tab. 2.3 Odsávací teploty vzdušiny	37
Tab. 2.4 Odsávací místa	40
Tab. 2.5 Sběrné potrubí	42
Tab. 2.6 Odpory v potrubní trase vlivem tření	44
Tab. 2.7 Ztráta potrubního systému	46
Tab. 2.8 Vstupní parametry (maximální) vzdušiny před vstupem do filtrační stanice a ventilátoru	47
Tab. 2.9 Parametry pro návrh ventilátoru	48
Tab. 2.10 Specifikace ventilátoru	49

Seznam grafů

Graf 1.1 Roční imisní charakteristiky částic PM _{2,5} [13].....	23
Graf 1.2 Vývoj emisí tuhých znečišťujících látek v MS kraji a Ostravě [15].....	24
Graf 2.1 Průběh teploty aglomerátu a odsávací teploty vzdušiny.....	37
Graf 2.2 Pracovní bod ventilátoru	49

Seznam příloh

Příloha číslo 1.

Výkres číslo: 1-V15-880930-01
Název: ODPRÁŠENÍ CHLADÍČÍHO PÁSU NA AGLOMERACI
SCHÉMA ODPRÁŠENÍ CHLADÍČÍHO PÁSU

Příloha číslo 2.

Výkres číslo: 1-V15-880930-02
Název: ODPRÁŠENÍ CHLADÍČÍHO PÁSU NA AGLOMERACI
POTRUBNÍ TRASA

Příloha číslo 3.

Výkres číslo: 2-V15-880930-03
Název: ODPRÁŠENÍ CHLADÍČÍHO PÁSU NA AGLOMERACI
DISPOZICE ODPRÁŠOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Příloha číslo 4.

Výkres číslo: 2N-04543-002
Název: FILTER EFP – 4 – 5,5 – 384 – D6