



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**PNEUMATICKÝ DOPRAVNÍK PLASTOVÉHO
GRANULÁTU**

PNEUMATIC CONVEYOR OF A PLASTIC GRANULATE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Antonín Caha

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Antonín Caha**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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 bakalářské práce:

Pneumatický dopravník plastového granulátu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh konstrukce pneumatického dopravníku plastového granulátu pro lisovací pracoviště. Dopravovaný granulát je transportován od krabice po násypku nádoby. Pneumatický dopravník je součástí transportního systému ve výrobním závodě.

Technické parametry a požadavky:

Velikost zm granulátu 4 mm.

Sypná objemová hmotnost 0,6 kg/dm³.

Délka potrubního systému 30 m.

Hmotnostní průtok granulátu 15 kg/min.

Cíle bakalářské práce:

Rešeršní rozbor stavby podtlakových pneumatických dopravníků.

Koncepční návrh dopravníku.

Rozměrové a výkonové výpočty.

Návrh komponent dopravníku.

Výpočet vybraných konstrukčních uzlů.

Výkres sestavy dopravníku.

Výkres vybrané podsestavy dopravníku.

Výkresy výrobní dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLIŠKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

MILLS, David, Mark J. JONES a Vijay AGARWAL. Handbook of Pneumatic Conveying Engineering. New York, Basel: Marcel Dekker, 2004. ISBN 0824747909.

NEPRAŽ, František. Modelování systémů s hydraulickými mechanismy. Brno: Bosch Rexroth, 2002. ISBN 8021421878.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem podtlakového pneumatického dopravníku plastového granulátu dle zadaných parametrů. Práce obsahuje základní rozdělení pneumatické dopravy, rešeršní rozbor stavby podtlakových dopravníků, funkční výpočet základních parametrů, volbu a popis komponentů, pevnostní kontrolu konstrukce rámu a držáků potrubí. Součástí práce je také výkresová dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

pneumatický dopravník, podtlaková doprava, potrubní doprava, plastový granulát

ABSTRACT

The following bachelor thesis is focused on a construction plan of a vacuum pneumatic conveyor of plastic granulate according to the specified parameters. The thesis contains the basic division of pneumatic transport, research analysis of the construction of vacuum conveyors, functional calculation of basic parameters, selection and description of components, strength control of the frame structure and pipe holders. The construction drawings can be also found in the thesis.

KEYWORDS

pneumatic conveyor, vacuum transport, pipeline transport, plastic granulate

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CAHA, Antonín. *Pneumatický dopravník plastového granulátu* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124478>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 55 s. Vedoucí práce Jaroslav Kašpárek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Kašpárka, Ph.D., a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 26. června 2020

.....

Antonín Caha

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Jaroslavu Kašpárkovi, Ph.D., za cenné rady a vedení této bakalářské práce. Poděkování patří také mé rodině a přátelům za podporu v průběhu celého studia.

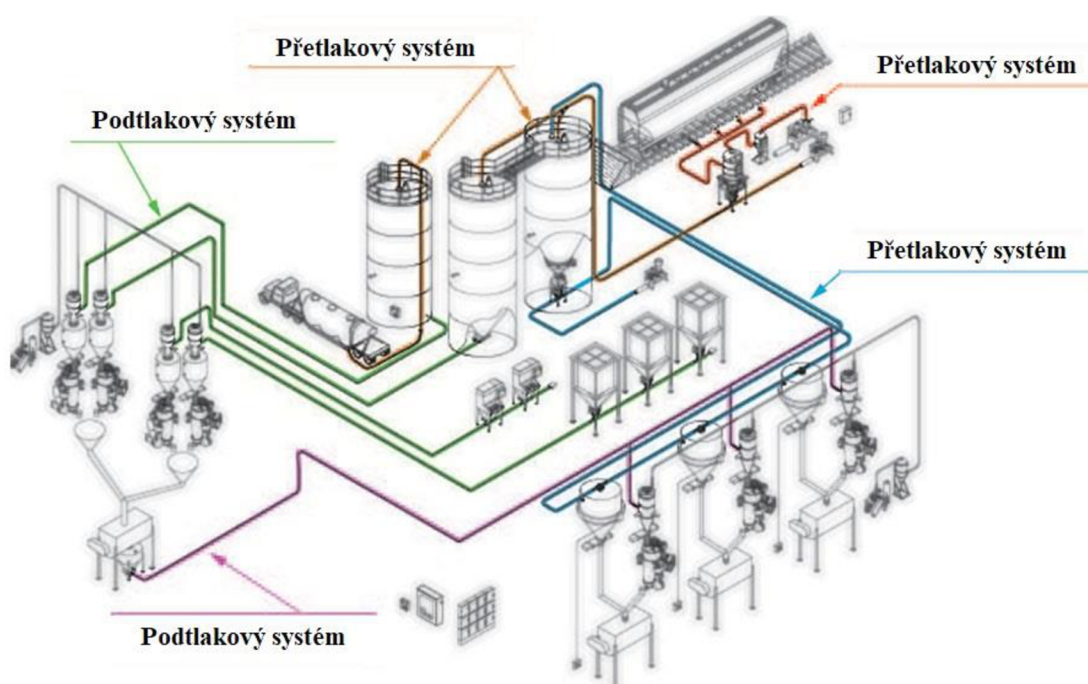
OBSAH

Úvod	11
1 Rozdělení pneumatických dopravníků	12
1.1 Rozdělení podle uspořádání	12
1.1.1 Otevřené systémy	12
1.1.2 Uzavřené systémy	12
1.2 Rozdělení podle tlaku v potrubí	13
1.2.1 Podtlakové systémy	13
1.2.2 Přetlakové systémy	14
1.2.3 Kombinované systémy	15
1.3 Rozdělení podle časového režimu	15
1.4 Rozdělení podle velikosti tlakové ztráty	15
1.4.1 Nízkotlaké systémy	16
1.4.2 Středotlaké systémy	16
1.4.3 Vysokotlaké systémy	16
2 Rešeršní rozbor stavby podtlakových pneumatických dopravníků.....	17
2.1 Směšovače a podavače materiálu	17
2.1.1 Přímá sací hubice	17
2.1.2 Sací hubice s násypkou	18
2.1.3 Injektorový směšovač	18
2.2 Potrubí	19
2.3 Oddělovač materiálu	20
2.4 Centrální filtry	21
2.4.1 Suché filtry	21
2.4.2 Mokrý filtry	22
2.5 Zdroj proudu dopravního vzduchu	23
2.5.1 Ventilátory	23
2.5.2 Dmýchadla	24
2.5.3 Vývěvy	25
3 Funkční výpočet a určení hlavních rozměrů.....	26
3.1 Ekvivalentní délka potrubí	26
3.2 Objemové dopravované množství	26
3.3 Směšovací poměr	27
3.4 Potřebné průtočné množství vzduchu	27
3.5 Vznosná rychlost	28
3.6 Rychlost vzduchu	28
3.7 Průměr potrubí	29
3.8 Tlaky v potrubí	29
3.9 Tlakové ztráty	31
4 Návrh vlastní koncepce	34
4.1 Směšovač materiálu	34
4.2 Potrubí	35
4.2.1 Přímé potrubí a ohyby	35
4.2.2 Spojky	35

4.2.3	Upevnění potrubí.....	36
4.3	Oddělovač materiálu.....	37
4.4	Centrální filtr	37
4.5	Zdroj dopravního plynu.....	38
4.6	Nosná konstrukce pod oktabínem s materiálem	38
4.7	Odhlučnění potrubí.....	39
5	Pevnostní kontrola	40
5.1	Konstrukce s násypkou.....	40
5.1.1	Vzpěr.....	40
5.1.2	Ohyb.....	43
5.2	Potrubí	44
5.2.1	Ohyb.....	44
5.2.2	Kontrola maximálního průhybu potrubí	46
5.3	Držáky vertikálního potrubí u stropu	47
	Závěr	49
	Seznam použitých zkratk a symbolů	52
	Seznam příloh.....	55

ÚVOD

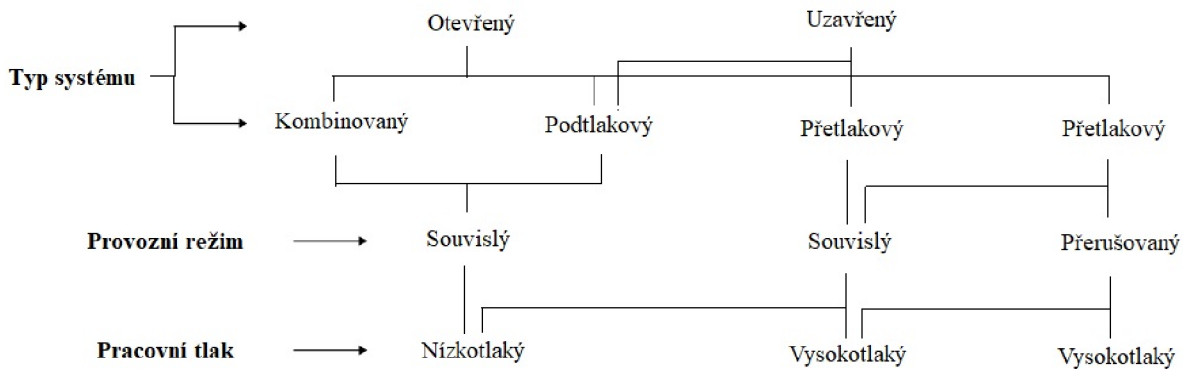
Použití pneumatických dopravníků je velmi široké, využívají se prakticky ve všech průmyslových odvětvích. Nejčastěji jsou ale využívány k dopravování suchých práškových a zrnitých materiálů o velikosti zrna až 8 mm. Tyto dopravníky lze vidět např. v zemědělství (kukuřice, pšenice, rýže), v továrnách (plastový granulát, písek, šterk), v potravinářství (sůl, cukr, mouka, káva). Může se jimi dopravovat materiál do výšek 100 m a dopravních vzdáleností až 500 m u přetlakových systémů. Pro dopravu materiálu využívají pneumatické dopravníky jako pomocného média nejčastěji vzduch, ale také jiné plyny, např. dusík. Ten pouze v případě, že dopravovaný materiál nesmí přijít do styku se vzduchem. Výhodou této dopravy je schopnost vedení dopravní trasy jak vně budovy, tak i uvnitř, kde je trasa potrubí přizpůsobena vnitřnímu uspořádání. Rychlost přenosu je pro kterýkoliv materiál rozdílný, vždy závisí na druhu a vzdálenosti přepravy. K přemístění materiálu je používáno uzavřené soustavy, nejčastěji potrubí, kde je materiál poháněn vzduchem v požadovaném směru. K přepravě je používán přetlak, podtlak nebo kombinace obou. Potrubí může být horizontální, nakloněné i svislé. [1] Na obr. 1 je znázorněna všestrannost užití kombinovaných systémů pneumatické dopravy.



Obr. 1 Ukázka všestrannosti užití kombinovaných systémů pneumatické dopravy [13]

1 ROZDĚLENÍ PNEUMATICKÝCH DOPRAVNÍKŮ

Pneumatické dopravníky se rozdělují podle různých aspektů, které závisí zejména na druhu přepravovaného materiálu, jeho množství a vzdálenosti přepravy. Nejčastěji se používají systémy otevřené a pracující za souvislého provozu na jednom místě. K přepravě je možno využívat přetlak, podtlak nebo jejich kombinaci. Na schématu obr. 2 je zobrazeno rozdělení systémů pneumatické dopravy. [2]



Obr. 2 Rozdělení systémů pneumatické dopravy [3]

1.1 ROZDĚLENÍ PODLE USPOŘÁDÁNÍ

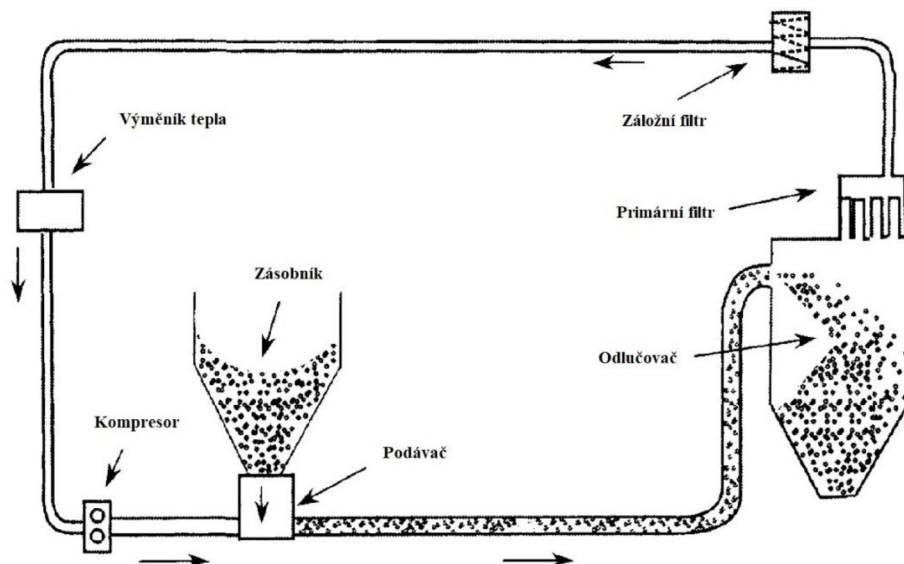
Uspořádáním je myšleno, jak je nakládáno s dopravním plynem v oběhu.

1.1.1 OTEVŘENÉ SYSTÉMY

Otevřené systémy jsou nejčastější volbou pro dopravu většiny druhů materiálu. U těchto systémů se dopravní plyn nasává z atmosféry a na konci vykonání dopravní funkce se vyfoukne zpět do atmosféry. Lze použít pouze v situaci, kdy se nepřeppravují toxické, hořlavé nebo radioaktivní materiály. [3]

1.1.2 UZAVŘENÉ SYSTÉMY

Uzavřené systémy se používají velice zřídka. Plyn zde obíhá stále dokola, čímž se sníží provozní náklady. Ovšem stavební náklady jsou větší než u otevřených systémů. Používá se v případě, kdy je materiál výbušný nebo je-li potřeba použít jiný druh plynu než vzduch. Na obr. 3 je zobrazeno schéma uzavřeného systému. [2, 3]



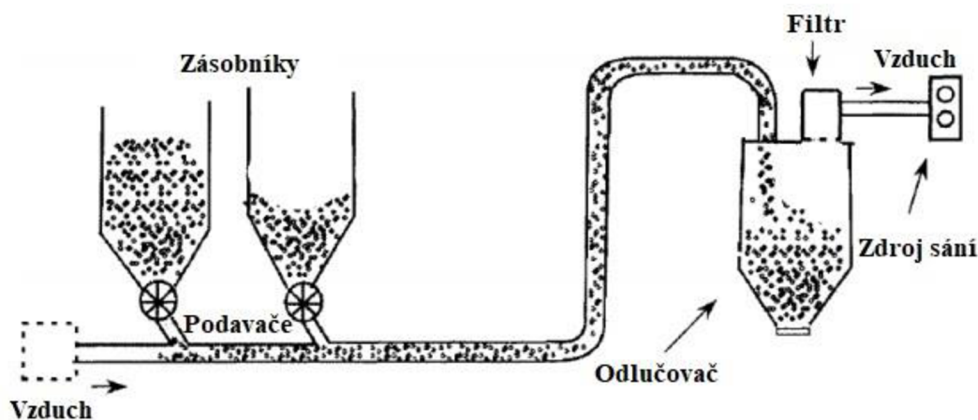
Obr. 3 Schéma uzavřeného systému [2]

1.2 ROZDĚLENÍ PODLE TLAKU V POTRUBÍ

Z hlediska tlaku v potrubí dopravní trasy vůči atmosférickému tlaku okolí rozdělujeme systémy na podtlakové, přetlakové a kombinované (smíšené).

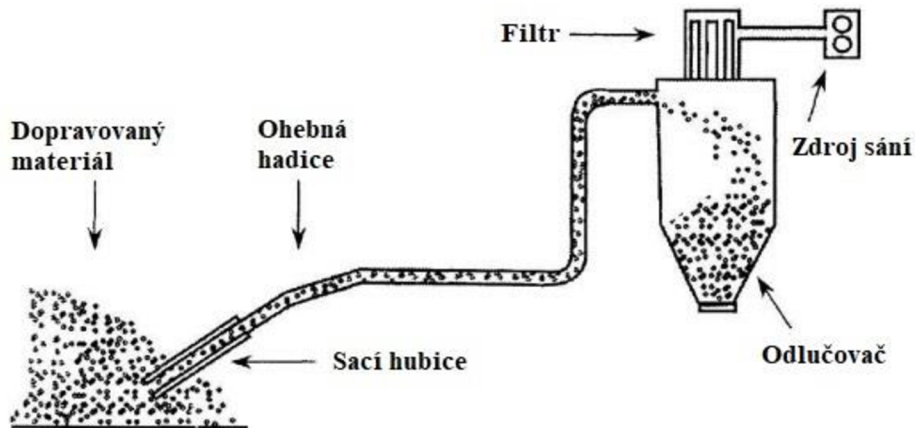
1.2.1 PODTLAKOVÉ SYSTÉMY

U podtlakových systémů je zdroj sání umístěn za odlučovačem na konci celého obvodu a po celé délce dopravní trasy je v potrubí vůči okolí podtlak. Schéma zapojení typické podtlakové dopravy je zobrazeno na obr. 4. Výhodou tohoto systému je snadné podávání materiálu do proudu vzduchu, možnost dopravy z více míst na jedno místo určení a díky podtlaku a uspořádání je vhodné především i pro dopravování škodlivých materiálů. Nevýhodou je naopak omezený dosažitelný tlakový spád na dopravu. [2]



Obr. 4 Schéma zapojení podtlakových systémů [2]

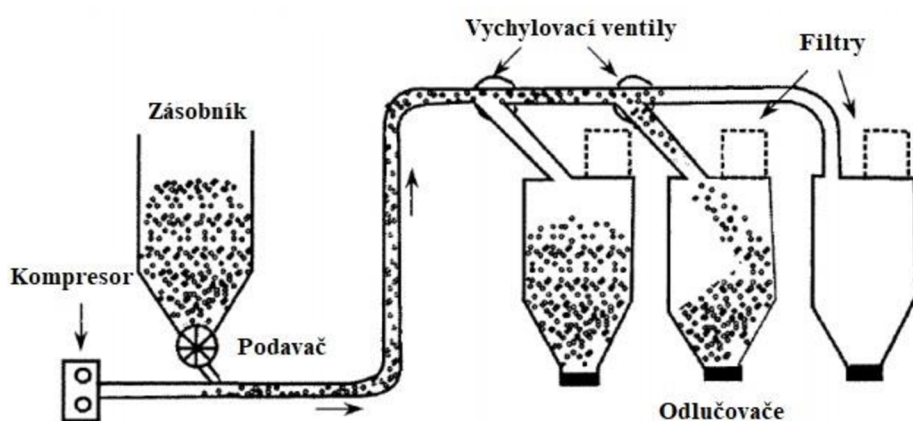
Další využití podtlakové dopravy je při odebírání materiálu z otevřeného úložiště, odkud je materiál nasáván sací hubicí a je přepraven na určené místo. Schéma tohoto uspořádání je na obr. 5.



Obr. 5 Schéma zapojení podtlakového systému s otevřeným úložištěm materiálu [2]

1.2.2 PŘETLAKOVÉ SYSTÉMY

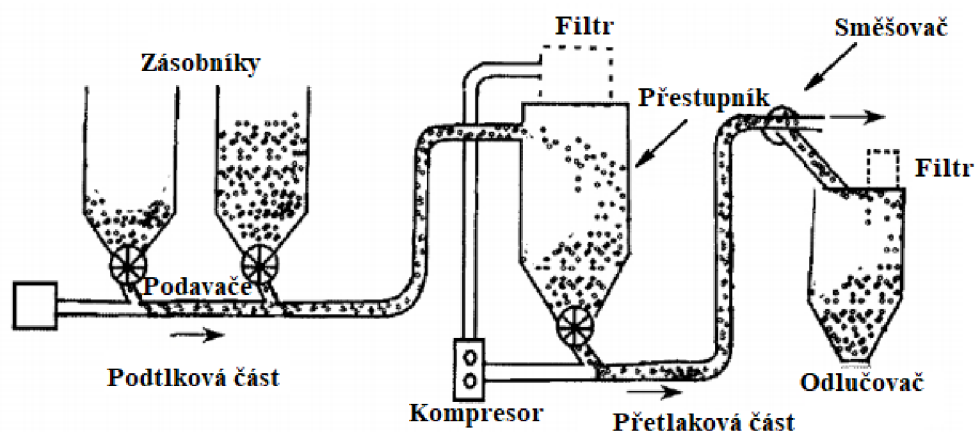
Přetlakový systém je nejběžnější systém pneumatické dopravy. Zdroj dopravního vzduchu se nachází na začátku trasy před místem podávání materiálu. Lze vidět na obr. 6. V celém dopravním potrubí je přetlak. Značnou výhodou tohoto systému je schopnost přepravovat materiál z jednoho místa na více míst. K tomu nám slouží vychylovací ventily. Naopak nevýhodou tohoto systému je komplikovanější řešení podavače materiálu. Používají se zde podavače např. šnekové, průtokové nebo komorové. [2]



Obr. 6 Schéma zapojení přetlakových systémů [2]

1.2.3 KOMBINOVANÉ SYSTÉMY

Tyto systémy jsou kombinací podtlakového a přetlakového systému. Na obr. 7 je schéma kombinovaného systému se zdrojem dopravního tlaku, který je umístěn uprostřed dopravní trasy. V tomto uspořádání se spojuje výhoda jak z podtlakového, tak přetlakového systému. Tj. schopnost dopravy materiálu z více zásobníků do více zásobníků. Přechod z podtlakové do přetlakové části je zajišťováno buď využitím dopravního ventilátoru, nebo pomocí tzv., „přestupníku“, což je odlučovač s rotačním podavačem, který slouží jako tlakový uzávěr. [5]



Obr. 7 Schéma zapojení kombinovaného systému [2]

1.3 ROZDĚLENÍ PODLE ČASOVÉHO REŽIMU

Z hlediska časového režimu jsou systémy pneumatické dopravy děleny na souvislý a přerušovaný, také nazývány jako kontinuální a diskontinuální systémy. Souvislý systém dopravuje neustále konstantní množství materiálu. Někdy je ale potřeba dopravovat materiál v určitých intervalech, k tomu slouží systémy přerušované.

1.4 ROZDĚLENÍ PODLE VELIKOSTI TLAKOVÉ ZTRÁTY

Podle velikosti tlakové ztráty v dopravované trase se pneumatické dopravní systémy dělí na nízkotlaké, středotlaké a vysokotlaké.

1.4.1 NÍZKOTLAKÉ SYSTÉMY

U nízkotlaké pneumatické dopravy dosahuje tlaková ztráta do 10 kPa. Doprava zde může být jak přetlaková, tak i podtlaková. Jako zdroj dopravního vzduchu slouží nejčastěji ventilátor. Při výpočtech tlakových ztrát je zanedbávána změna hustoty dopravního plynu. [5]

1.4.2 STŘEDOTLAKÉ SYSTÉMY

U středotlaké pneumatické dopravy se pohybuje tlaková ztráta od 10 do 50 kPa. Tak jak to bylo u nízkotlakého systému, i zde může být doprava přetlaková i podtlaková. Jako zdroj dopravního plynu je dmýchadlo. Při výpočtech tlakových ztrát je potřeba počítat se změnou hustoty dopravního plynu. [5]

1.4.3 VYSOKOTLAKÉ SYSTÉMY

U vysokotlaké pneumatické dopravy je velikost tlakové ztráty větší než 50 kPa. V tomto případě může být doprava pouze přetlaková. Jako zdroj dopravního plynu do tlaku 80 až 100 kPa slouží dmýchadlo a pro tlaky nad 100 kPa se používá kompresor. [5]

2 REŠERŠNÍ ROZBOR STAVBY PODTLAKOVÝCH PNEUMATICKÝCH DOPRAVNÍKŮ

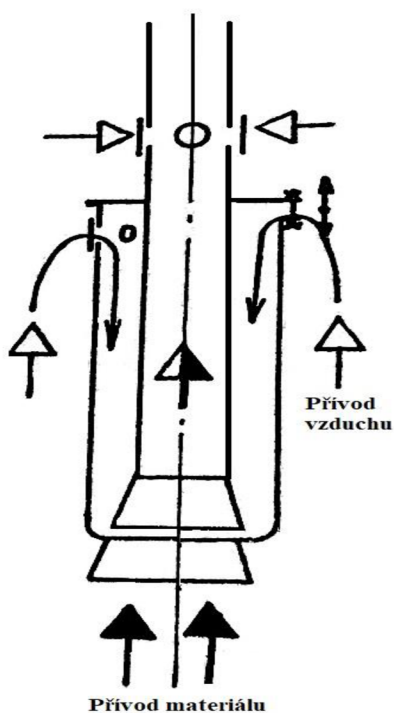
2.1 SMĚŠOVAČE A PODAVAČE MATERIÁLU

Důležitou součástí pneumatické dopravy jsou směšovače čili zařízení, ve kterých se mísí plyn s materiálem. U přetlakové dopravy se používají směšovače gravitační, komorové, rotační a ejektorové. V podtlakové dopravě se využívají pouze sací hubice, které se dělí na tři základní druhy. [7]

Podavače materiálu slouží k podávání určitého množství materiálu do dopravního potrubí. Na rozdíl od přetlakové dopravy, kde je potřeba dbát na to, aby podavač zároveň sloužil i jako tlakový uzávěr, který udrží přetlak v potrubí jsou u podtlakové dopravy podavače jednodušší. Nejběžnější podavač u podtlakové dopravy je komorový.

2.1.1 PŘÍMÁ SACÍ HUBICE

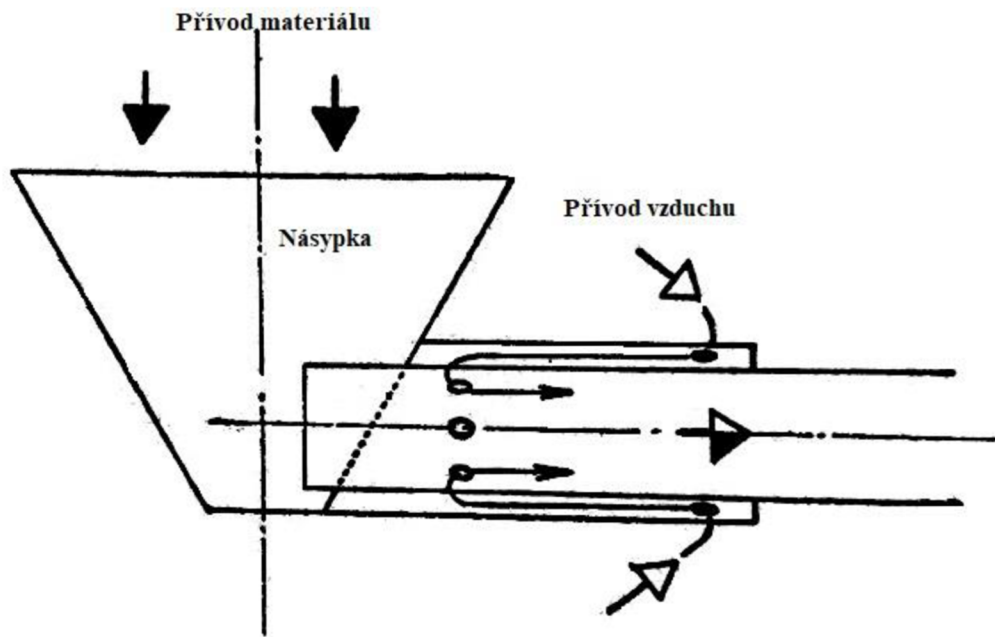
Aby nedocházelo k zablokování přívodního potrubí pouze materiálem, tak je sací hubice sestavena ze dvou soustředných válců. Vnitřní válec je napojen na zbytek dopravního potrubí a vnější válec má na horní části otvory, kterými se do potrubí nasává vzduch. Schéma přímé sací hubice je na obr. 8. Nejčastější využití je odsávání materiálu na volném, nějak nekrytém prostoru. Příklad využití je vykládání materiálu z lodi. Výhodou je, že sací hubicí lze materiál odsávat i ze špatně přístupných míst.



Obr. 8 Přímá sací hubice [4]

2.1.2 SACÍ HUBICE S NÁSYPKOU

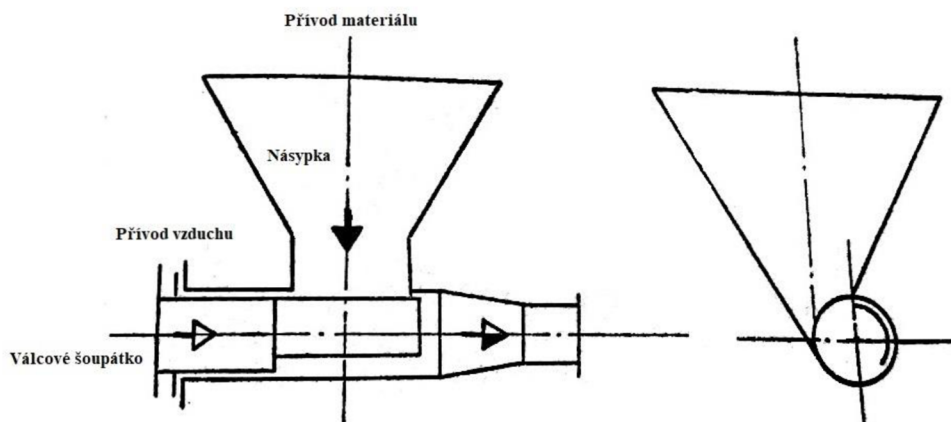
Principiálně je tento druh stejný jako přímá sací hubice. Rozdíl je pouze v tom, že hubice je připevněna ke dnu násypky, do které je vsypán materiál. Toto uspořádání je na obr. 9.



Obr. 9 Sací hubice s násypkou [4]

2.1.3 INJEKTOROVÝ SMĚŠOVAČ

Na rozdíl od dvou předchozích druhů, tento směšovač má regulaci množství přiváděného materiálu. Slouží k tomu směšovač s válcovým šoupátkem. Do dopravního potrubí je umístěna trubka, která je na jedné straně pozvolně rozšířená. Na opačné straně vytváří výřez trubky válcové šoupátko, takže otáčením trubky se řídí dávkování množství materiálu do směšovače. Schéma injektorového směšovače je na obr. 10.[7]

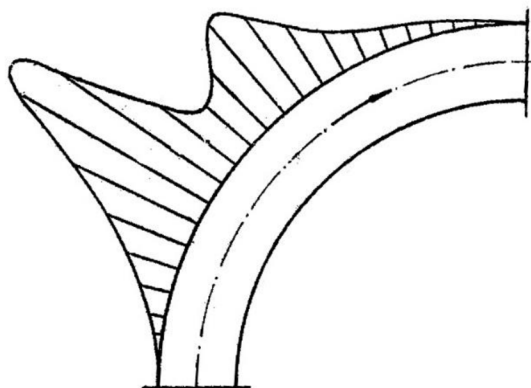


Obr. 10 Injektorový směšovač [4]

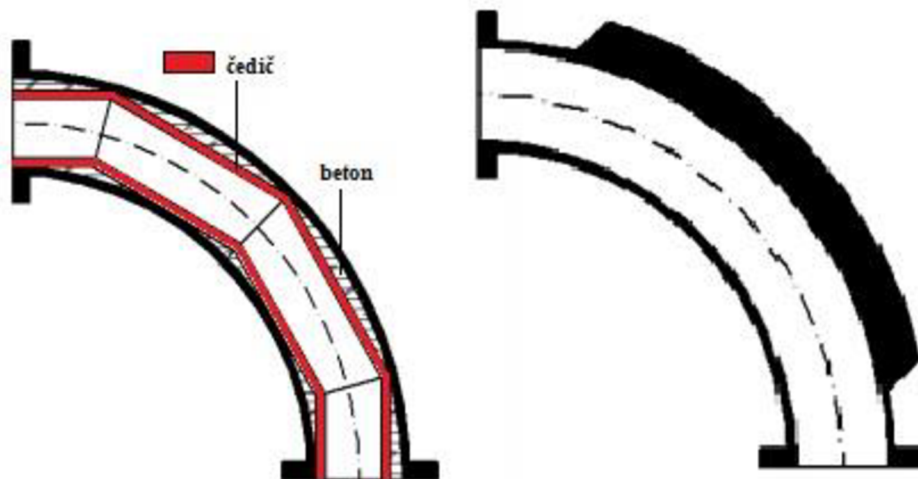
2.2 POTRUBÍ

Jednou z částí pneumatické dopravy je dopravní potrubí, které slouží k přemístění dopravovaného materiálu smíšeného s plynem na určité místo. Dopravní trasa může být buď přímá, nebo složená z oblouků. Dále může být horizontální, vertikální nebo pod libovolným sklonem. Pro dopravní potrubí se nejčastěji používá ocelových bezešvých trubek o tloušťce stěny 1 až 10 mm. Výběr tloušťky stěny závisí zejména na abrazivním účinku materiálu a tlaku v potrubí. Lze použít ale i jiné materiály, jako je sklo nebo plast. Trubky jsou k sobě spojeny svařením, nebo šroubováním. U šroubování je třeba k trubkám navařit přírubu anebo je spojit pomocí šroubovací spojky. Nevýhodou svařovaného potrubí je těžká demontáž. Vlivem rychlého pohybu částic materiálu jsou stěny v potrubí vystaveny velkému abrazivnímu opotřebení. U přímého potrubí dochází k opotřebení zejména v místě spojů a to zvláště, když není spojení zcela hladké. U horizontálního potrubí je opotřebení dolní části trubky daleko větší, protože na něj častěji naráží letící materiál. Aby docházelo k rovnoměrnému opotřebení, je třeba po určité době toto potrubí pootočit kolem osy. [4]

Dále je důležité se zaměřit na oblouky dopravní trasy. Jsou to části, v kterých dochází k největším tlakovým ztrátám a k největšímu opotřebení. Průběh opotřebení na vnější straně oblouku je ve větším měřítku uvedeno na obr. 11. Opotřebení v místě oblouku vzniká kvůli působení odstředivé síly. Rychlost materiálu je na počátku oblouku vyšší, proto je i větší opotřebení a odstředivá síla. V následujícím úseku oblouku dochází k opotřebení kvůli pohybu podél venkovní strany oblouku. Díky brždění částic třením o stěny je zde rychlost částic menší. V tomto úseku je tudíž opotřebení menší. Opatření ke zmenšení opotřebení oblouku je mnoho. Části, které jsou nejvíce namáhané a podléhají opotřebení, se vyrábí silnější a snadno vyměnitelné nebo ze speciálních pevnějších materiálů. Vyměnitelná část je přimontována pomocí šroubů, nebo je připevněna třmenem. Jako speciální materiály se používají buď otěruvzdorné kovy, anebo materiály nekovové. Nekovovými materiály jsou vložky z taveného čediče nebo keramiky. Způsob uspořádání vložky je znázorněn na obr. 12 vlevo. Napravo je zobrazen zesílený oblouk. Jak čedič, tak i keramika jsou výrazně křehké materiály odolávající nárazům jen při dopadu pod konkrétním úhlem. Z toho důvodu je nezbytné zvolit poloměr oblouku tak, aby bylo této výhradě vyhověno. Výpočet minimálního rádiusu je podle vztahu (1). Jiný druh vložky tvoří navaření materiálu korýtkového tvaru, který je vyplněn betonem. Tato vložka se v mnoha případech ale neosvědčila. Oblouky s přídatnými vložkami jsou vhodné pouze pro práškové materiály. [4]



Obr. 11 Opotřebení oblouku [4]



Obr. 12 Opatření k omezení opotřebení [4]

$$R_{0 \min} = \frac{D}{2} \cdot \frac{1 + \cos \varphi_{\max}}{1 - \cos \varphi_{\max}} \quad (1)$$

Rovnice (1), dle [4], kde:

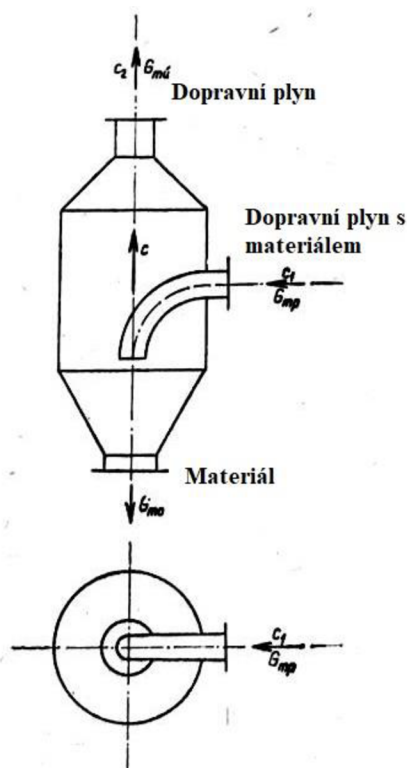
D poloměr oblouku [m],

φ_{\max} úhel dopadu částic [°].

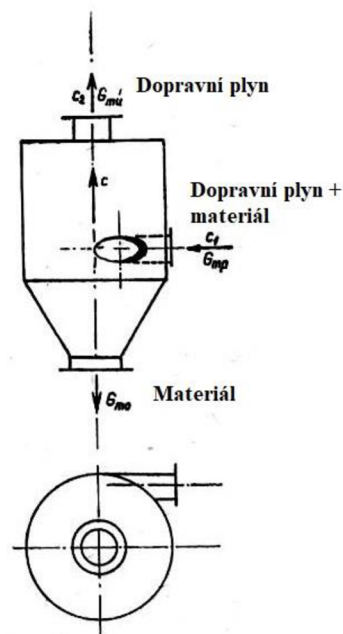
2.3 ODDĚLOVAČ MATERIÁLU

Oddělovače se užívají k odlučování dopravovaného materiálu od dopravního plynu. K odlučování se využívá rychlostní ztráty materiálu a setrvačných sil jeho částic. Na 1 kg dopravního vzduchu může být v aerosměsi přidáno 0,5 – 100 kg materiálu. Největším problémem pro životnost odlučovačů jsou abrazivní materiály. Z důvodů velké váhy a jejich hrubosti, která způsobuje velké opotřebení odlučovačů a zvyšuje i nebezpečí jejich zanášení. Čím je větší hustota materiálu, tím je větší odlučivost, protože nastává shlukování materiálu. Abrazivní účinek je závislý na váze a velikosti zrna. Odlučovací zařízení vybíráme podle hustoty a velikosti zrn, abrazivnosti materiálu a požadavku na odlučivost. Pro velké abrazivní zrno se k odloučení používají usazovací komory znázorněné na obr. 13. Tyto komory nejsou tak výkonné, ale jejich opotřebení je u těchto materiálů malé. Pro materiály střední a malé zrnitosti se používají odstředivé odlučovače s tangenciální vstupem též nazývané jako cyklony (viz. obr. 14). Průměr cyklonu je závislý na velikosti zrna. Čím menší je zrno, tím menší je průměr cyklonu. U většího průměru zrna se na výstupu vzduchu z odlučovače

používá síťový filtr a pro odloučení jemnějších materiálů se používá filtrů látkových nebo mokrých. [3, 4]



Obr. 13 Usazovací komora [4]



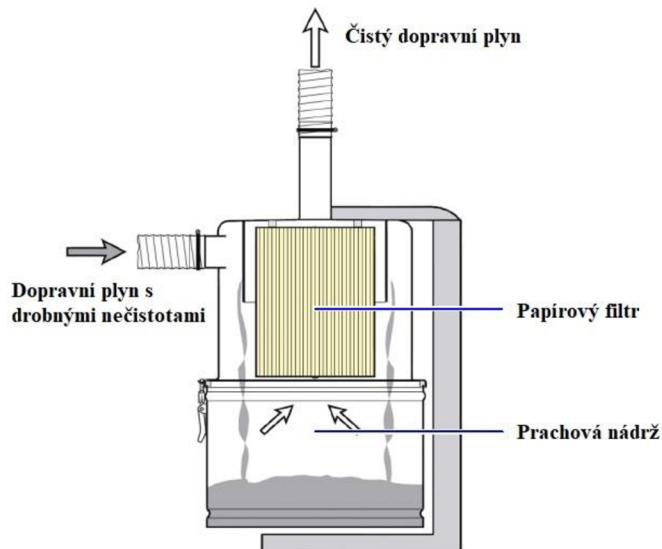
Obr. 14 Odstředivý odlučovač s tangenciálním vstupem [4]

2.4 CENTRÁLNÍ FILTRY

Filtry slouží k oddělování jemných až prachových nečistot. Pokud odlučovač nedostatečně oddělí materiál od vzduchu, je nutné použít ještě filtr. Filtry se rozdělují na mokré a suché.

2.4.1 SUCHÉ FILTRY

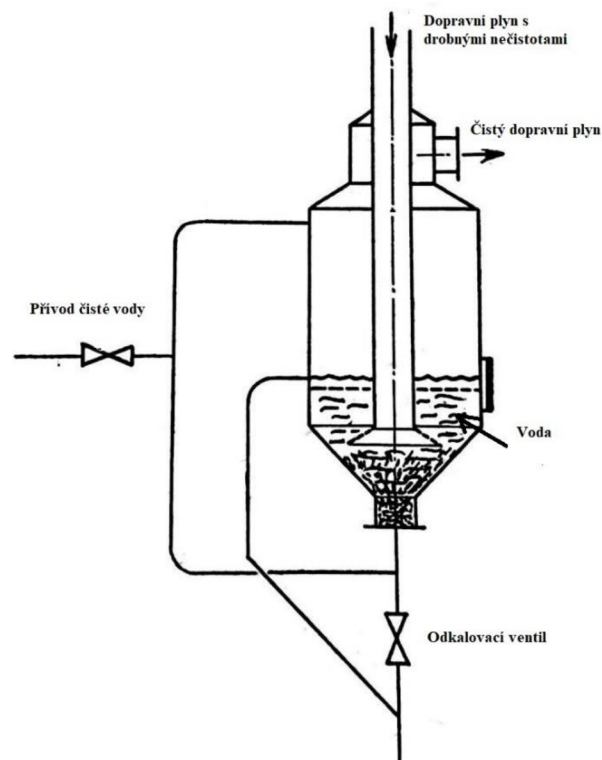
V současné době se jako materiál do suchých filtrů používá filtrační papír. Jeho výhodou oproti dříve používaným látkovým filtrům je jeho cena a snadnější výroba. Tyto filtry se čistí buď oklepáváním, profukováním, nebo odsáváním. Schéma suchého filtru je znázorněno na obr. 15.



Obr. 15 Schéma suchého filtru [9]

2.4.2 MOKRÉ FILTRY

Princip mokrého filtru spočívá v tom, že částice materiálu se smáčejí a zůstávají ve vodě (viz obr. 16). Nevýhodou mokrých filtrů je spotřeba vody a nutnost kalového hospodářství. Pokud je použit u podtlakové dopravy, tak je nutný za filtrem odlučovač kapiček. [4]



Obr. 16 Schéma mokrého filtru [4]

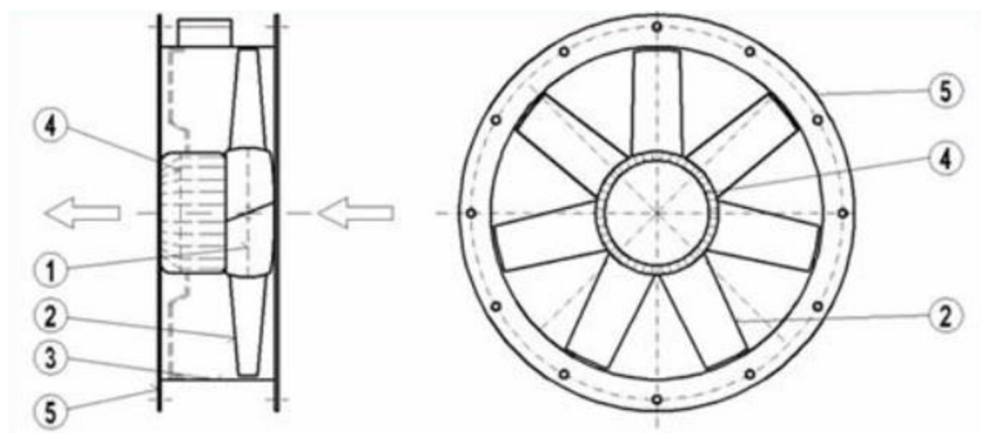
2.5 ZDROJ PROUDU DOPRAVNÍHO VZDUCHU

Pro vytvoření potřebného množství a tlaku dopravního plynu se používá nejrůznějších zdrojů. Výběr zdroje dopravního plynu je závislý na velikosti tlakového spádu a objemovém průtoku plynu. Dělí se na nízkopodtlakové do -15 kPa, středopodtlakové od -15 až do -50 kPa a vysokopodtlakové od -50 do -90 kPa. Jako podtlakové zdroje dopravy se používají ventilátory, dmýchadla a vývěvy nejrůznějších typů. [3]

2.5.1 VENTILÁTORY

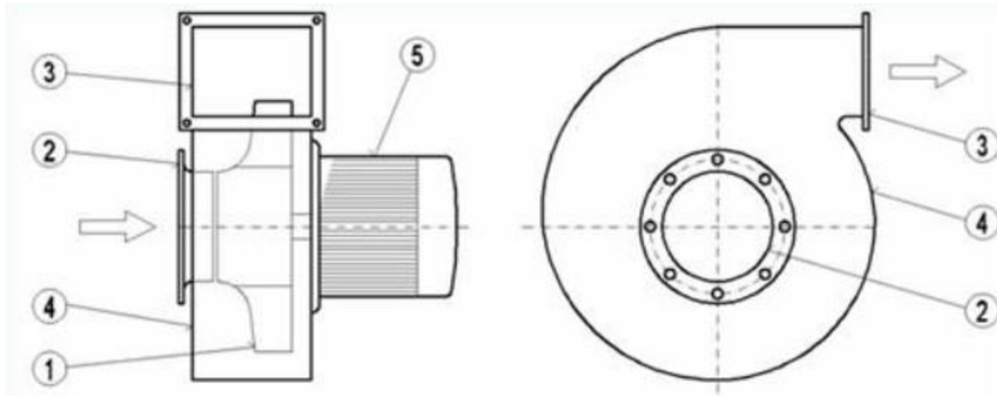
Ventilátory mohou být axiální nebo radiální.

- **Axiální ventilátory** (obr. 17) dodávají velké množství vzduchu při nízkém podtlaku. Výhodou konstrukce axiálního ventilátoru je, že lze dosáhnout u relativně malých rozměrů vysokého objemu vzduchu. [14]



Obr. 17 Axiální ventilátor [14]: 1-Rotor, 2-Oběžné lopatky, 3-Plášť, 4-Elektromotor, 5-Příruby

- **Radiální ventilátory** (obr. 18.) se oproti axiálním ventilátorům používají tam, kde je potřeba vysoký podtlak při nižším nebo stejném objemu vzduchu. Radiální ventilátor nasává vzduch souběžně s hnací osou. Rotací radiálního lopatkového kola nasměruje vzduch o 90° a radiálně ho vyfukuje. [14]

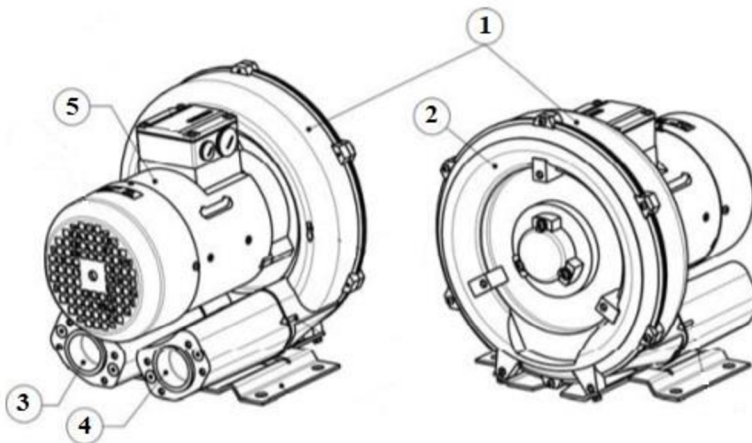


Obr. 18 Radiální ventilátor [14]: 1-Oběžné kolo, 2-Sací hrdlo, 3-Výtlačné hrdlo, 4-Spirální skříň, 5-Elektromotor

2.5.2 DMÝCHADLA

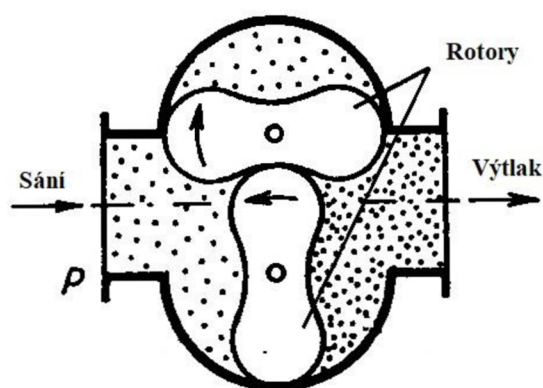
Rozeznáváme dmýchadla s bočním kanálem a Rootsova dmýchadla.

- **Dmýchadla s bočním kanálem** (obr. 19) se rozdělují dle počtu oběžných kol v kompresní komoře na jednostupňová, dvoustupňová nebo třístupňová. Jsou vhodná jak pro trvalý, tak i přerušovaný chod. Tato dmýchadla pracují až do podtlaku -50 kPa.



Obr. 19 Dmýchadlo s bočním kanálem [12]: 1-Kryt dmýchadla, 2-Víko dmýchadla, 3-Sací hrdlo, 4-Výtlačné hrdlo, 5-Hnací motor

- **Rootsovo dmýchadlo** se skládá ze dvou speciálně tvarovaných rotačních pístů (obr. 20), jejichž osy jsou na sebe rovnoběžné. Jejich speciální tvar zajišťuje, že se navzájem doplňují v každé poloze, když rotují v oválném tělese dmýchadla. Na rozdíl od dmýchadel s bočním kanálem jsou vhodná spíše pro trvalý chod. Rootsova dmýchadla dokážou vytvořit podtlak až -80 kPa.



Obr. 20 Rootsovo dmýchadlo [15]

2.5.3 VÝVĚVY

Podle konstrukční technologie jsou vývěvy děleny na následující základní řady.

- olejové rotační,
- grafitové,
- vodokružné,
- zobákové,
- šroubové,
- pístové a
- dvoustupňové olejové vývěvy. [16]

3 FUNKČNÍ VÝPOČET A URČENÍ HLAVNÍCH ROZMĚRŮ

Úkolem funkčního výpočtu je zjistit technické parametry jako potřebné množství plynu, průměr potrubí, absolutní tlak a tlakové ztráty. Navrhovaný dopravník je kontinuálního chodu, kdy dmýchadlo pracuje pouze polovinu času z hodiny. Je tedy potřeba veškerý výpočet počítat pro dvojnásobné hmotnostní množství. Tedy pro $Q_m=1800 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$.

3.1 EKVIVALENTNÍ DÉLKA POTRUBÍ

Ekvivalentní nebo také redukovaná délka potrubí se určuje pomocí součtu přímých úseků a ekvivalentních délek, které vyjadřují tlakové ztráty příslušenství.[1]

Skutečná délka potrubí je dle zadání 30 m.

$$l_r = \Sigma l_{iR} + \Sigma l_{jO} + \Sigma l_{kP} \quad (2)$$

$$l_r = 28,2 + (6 \cdot 11) + 1$$

$$l_r = 95,2 \text{ m}$$

Rovnice (2), dle [1], kde:

$l_{iR}=28,2 \text{ m}$ délka i-tého přímého úseku [m],

$l_{jO}=66 \text{ m}$ ekvivalentní délka j-tého oblouku, [m], hodnoty jsou v Tab. 1,

$l_{kP}=1 \text{ m}$ ekvivalentní délka k-tého příslušenství [m].

Tab. 1 Ekvivalentní délka l_{jO} (m) oblouku 90° [1]

Materiál	Poměr r/D			
	4	6	10	20
prašný	4 ÷ 8	5 ÷ 10	6 ÷ 10	8 ÷ 10
zrnitý, stejnorodý	-	8 ÷ 10	12 ÷ 16	16 ÷ 20
drobně kusovitý, nestejnorodý	-	-	28 ÷ 35	38 ÷ 45
hrubě kusovitý, nestejnorodý	-	-	60 ÷ 80	70 ÷ 90

3.2 OBJEMOVÉ DOPRAVOVANÉ MNOŽSTVÍ

Objemové dopravované množství vyjadřuje poměr hmotnostního dopravovaného množství materiálu k hustotě částic daného materiálu.

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho} \quad (3)$$

$$Q_v = \frac{1800}{600}$$

$$Q_v = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Rovnice (3), dle [1], kde:

$$Q_m = 1800 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \quad \text{hmotnostní dopravované množství materiálu [kg} \cdot \text{h}^{-1}\text{]},$$

$$\rho = 600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{hustota částic materiálu [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}.$$

3.3 SMĚŠOVACÍ POMĚR

Směšovací poměr definuje poměr dopravovaného materiálu k průtočnému množství vzduchu. Jeho hodnoty závisí na vedení trasy, rovnoměrnosti podávání a na druhu materiálu. Směšovací poměr je součinitel, který je konstantní pro kompletní dopravní trasu. [1]

$$\delta = \frac{Q_v \cdot \rho}{3600 \cdot V_v \cdot \rho_{vz}} \quad (4)$$

Z důvodu neznámé velikosti průtočného množství je volen směšovací poměr z tabulky 2. Pro orientační výpočet je pro podtlakovou dopravu určena hodnota 4.

Rovnice (4), dle [1], kde:

$$Q_v = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad \text{objemové dopravované množství materiálu [m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}\text{]},$$

$$\rho = 600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{hustota částic materiálu [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]},$$

$$V_v = 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{potřebné průtočné množství vzduchu [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}, \text{ zjištěno až v rovnici 5,}$$

$$\rho_{vz} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{měrná hmotnost vzduchu [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}, \text{ při teplotě } 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ a tlaku } 100 \text{ kPa.}$$

Tab. 2 Orientační hodnoty směšovacího poměru [1]

δ [-]	Druh dopravy
1-5	podtlaková, nízkotlaková přetlaková
5-30	středotlaková přetlaková
30-100 (až 400)	vysokotlaková přetlaková

3.4 POTŘEBNÉ PRŮTOČNÉ MNOŽSTVÍ VZDUCHU

$$V_v = \frac{Q_v}{3600 \cdot \delta} \cdot \frac{\rho}{\rho_{vz}} \quad (5)$$

$$V_v = \frac{3}{3600 \cdot 4} \cdot \frac{600}{1,2}$$

$$V_v = 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Rovnice (5), dle [1], kde:

$$Q_v = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad \text{objemové dopravované množství materiálu [m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}\text{]},$$

$$\delta = 4 \quad \text{směšovací poměr [-]},$$

$$\rho = 600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{hustota částic materiálu [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]},$$

$$\rho_{vz} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{měrná hmotnost vzduchu [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}, \text{ při teplotě } 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ a tlaku } 100 \text{ kPa}.$$

3.5 VZDOSNÁ RYCHLOST

Vzdosná rychlost se obvykle určuje experimentálně. Orientačně je pro můj materiál, který je velikostí zrn a hustotou částic materiálu srovnatelný s obilovinami dle Tab. 3 roven vzdosné rychlosti $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Tab. 3 Vzdosná rychlost pro vybrané druhy materiálů [1]

Materiál	ρ [kg·m ⁻³]	v_{vz} [m·s ⁻¹]
obiloviny	600 ÷ 830	9,0
kuchyňská sůl	850	6,7
soda	950	13,0
hnědé uhlí	650	10,6

3.6 RYCHLOST VZDUCHU

Rychlost vzduchu je nepřímo úměrná tlaku v potrubí, není tedy konstantní. [1]:

$$v_V \sim \frac{1}{p_V} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6)$$

Rovnice (6), dle [1], kde:

p_V tlak vzduchu [Pa].

Rychlost vzduchu vzrůstá z důvodu poklesu tlaku vlivem tlakových ztrát. V úseku, kde je tlak přibližně atmosférický, tj. u podtlakové dopravy na vstupu do sací hubice, platí:

$$v_V = C_2 \cdot \sqrt{\rho_{vz} \cdot g} + c_3 \cdot l_r^2 \quad (7)$$

$$v_V = 18,5 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 9,81} + 5 \cdot 10^{-5} \cdot 95,2^2$$

$$v_V = 63,92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$C_3 = (2 \div 5) \cdot 10^{-5} \quad [m^{-1} \cdot s^{-1}] \quad (8)$$

Rovnice (7), dle [1], kde:

$$c_2 = 18,5 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1/2} \quad \text{součinitel zrnitosti [m}^2 \cdot \text{kg}^{-1/2}\text{], z tab.4,}$$

$$c_3 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{součinitel, pro prašné a sypké materiály platí menší hodnoty [m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}\text{],}$$

$$l_r = 95,2 \text{ m} \quad \text{ekvivalentní délka potrubí [m],}$$

$$\rho_{vz} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{měrná hmotnost vzduchu [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{], při teplotě 20 °C a tlaku 100 kPa.}$$

Tab. 4 Hodnoty součinitele zrnitosti c_2 [1]

Dopravovaný materiál	Zrnitost [mm]	c_2 [m ² ·kg ^{-1/2}]
prašný	0,001÷1	10÷16
zrnitý	1÷10	17÷20
drobně kusovitý	10÷20	17÷22
středně kusovitý	40÷80	22÷25

3.7 PRŮMĚR POTRUBÍ

Průměr potrubí se stanoví ze vztahu:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_v}{\pi \cdot v_v}} \quad (9)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,1}{\pi \cdot 63,92}}$$

$$d = 0,045 \text{ m}$$

Rovnice (9), dle [1], kde:

$$V_v = 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{potřebné průtočné množství vzduchu [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{],}$$

$$v_v = 63,92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{rychlost vzduchu [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{].}$$

3.8 TLAKY V POTRUBÍ

Absolutní tlak se vypočítá ze vztahu:

$$p_k = 10^5 \cdot \sqrt{\frac{\vartheta \cdot \delta \cdot l_r \cdot v_v^2}{d}} + p_h \quad (10)$$

$$p_k = 10^5 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 95,2 \cdot 63,49^2}{0,045}} + 400,2$$

$$p_k = 40339895 \text{ Pa} = 40,34 \text{ kPa}$$

Rovnice (10), dle [1], kde:

- $\delta=4$ směšovací poměr [-],
 $l_r=95,2 \text{ m}$ ekvivalentní délka potrubí [m],
 $v_V = 63,92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ rychlost vzduchu [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$],
 $d = 0,045 \text{ m}$ průměr potrubí [m],
 $p_h = 400,25 \text{ Pa}$ hydrostatický tlak [Pa].

TLAK p_h JE VYJÁDŘEN VZTAHEM:

$$p_h = h \cdot \rho_{VZ} \cdot g \cdot \delta \quad (11)$$

$$p_h = 8,5 \cdot 1,2 \cdot 9,81 \cdot 4$$

$$p_h = 400,25 \text{ Pa}$$

Rovnice (11), dle [1], kde:

- $h=8,5 \text{ m}$ dopravní výška [m],
 $\rho_{VZ}=1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ měrná hmotnost vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
 $g=9,81 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ tíhové zrychlení [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$],
 $\delta=4$ směšovací poměr [-].

Závislost ϑ je popsána vztahem:

$$\vartheta = f(j)$$

kde

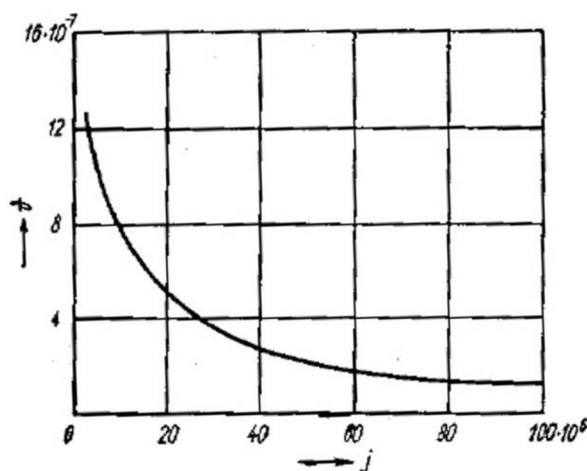
$$j = \frac{\delta \cdot l_r \cdot v_V^2}{d} \quad (12)$$

$$j = \frac{4 \cdot 95,2 \cdot 63,92^2}{0,045}$$

$$j = 35,36 \cdot 10^6$$

Rovnice (12), dle [1], kde:

- $\delta=4$ směřovací poměr [-],
 $l_r=95,2$ m ekvivalentní délka potrubí [m],
 $v_V = 63,92$ m.s⁻¹ rychlost vzduchu [m.s⁻¹],
 $d = 0,045$ m průměr potrubí [m].



Obr. 21 Závislost $\vartheta = f(j)$ [1]

3.9 TLAKOVÉ ZTRÁTY

V pneumatickém dopravníku je vždy třeba počítat s tlakovými ztrátami. Dopravník je rozdělen podle dané situace na n částí. Tlakové ztráty jsou počítány jako suma místních ztrát a ztrát zapříčiněných třením. [1]

$$p_z = \sum_1^n \left(\xi_{SM} \cdot \frac{v_V^2}{2} \cdot \rho_{VZ} \right) + \sum_1^n \left[\lambda_{SM} \cdot \frac{l}{d_e} \cdot \frac{v_V^2}{2} \cdot \rho_{VZ} \cdot \left(\frac{T_n}{T_{ST}} \right)^{0,583} \right] \quad (13)$$

$$p_z = \left(0,42 \cdot \frac{63,92^2}{2} \cdot 1,2 \right) + 6 \cdot \left(0,42 \cdot \frac{63,92^2}{2} \cdot 1,2 \right) +$$

$$+ \left[0,15 \cdot \frac{95,2}{1,25} \cdot \frac{63,92^2}{2} \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{293,15}{293,15} \right)^{0,583} \right]$$

$$p_z = 35\,212 \text{ Pa}$$

Rovnice (13), dle [1], kde:

- $\xi_{SM}=0,42$ součinitel místního odporu [-],
 $v_V = 63,92$ m.s⁻¹ rychlost proudění vzduchu [m.s⁻¹],
 $\rho_{VZ}=1,2$ kg.m⁻³ měrná hmotnost vzduchu [kg.m⁻³],
 $\lambda_{SM}=0,15$ součinitel tření směsi [-],

$d_e=0,044$ m ekvivalentní průměr potrubí [m],
 $T_n=293,15$ K střední hodnota absolutní teploty nosného média v daném úseku [K],
 $T_{ST}=293,15$ K střední hodnota absolutní teploty stěny v daném úseku [K].

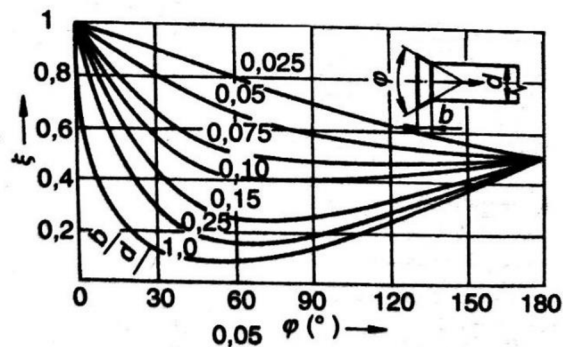
SOUČINITEL MÍSTNÍHO ODPORU

Pro náhlé zúžení:

$$\begin{aligned} \xi_{SM} &= \xi \cdot (1 + 0,8 \cdot \delta) \\ \xi_{SM} &= 0,1 \cdot (1 + 0,8 \cdot 4) \\ \xi_{SM} &= 0,42 [-] \end{aligned} \tag{14}$$

Rovnice (14), dle [1], kde:

$\xi=0,1$ součinitel místních ztrát [-], z Obr. 22,
 $\delta=4$ směšovací poměr [-].



Obr. 22 Součinitel ξ místních ztrát při náhlém zúžení průřezu [8]

Pro kolena:

$$\begin{aligned} \xi_{SM} &= \xi \cdot (1 + 0,8 \cdot \delta) [-] \\ \xi_{SM} &= 0,1 \cdot (1 + 0,8 \cdot 4) [-] \\ \xi_{SM} &= 0,42 \end{aligned} \tag{15}$$

Rovnice (15), dle [1], kde:

$\xi=0,1$ součinitel místních ztrát [-], z obr. 23,
 $\delta=4$ směšovací poměr [-].

ξ_{90} pro kolena $\alpha = 90^\circ$						
R/d	1	2	4	6	10	
ξ_{90} (hladké)	0,23	0,14	0,10	0,09	0,08	
ξ_{90} (drsňé)	0,51	0,30	0,23	0,20	0,18	
Opravný součinitel pro $\alpha \neq 90^\circ$						
α (°)	45	60	90	120	135	180
ξ/ξ_{90}	0,627	0,782	1	1,162	1,216	1,408

Obr. 23 Ztrátový součinitel pro kolena $\alpha=90^\circ$ [8]**SOUČINITEL TŘENÍ SMĚSI**

$$\lambda_{SM} = \lambda_t \cdot (1 + \delta) \quad (16)$$

$$\lambda_{SM} = 0,03 \cdot (1 + 4)$$

$$\lambda_{SM} = 0,15 [-]$$

Rovnice (16), dle [1], kde:

$$\lambda_t = 0,03 \quad \text{součinitel tření vzduchu [-],}$$

$$\delta = 4 \quad \text{směšovací poměr [-].}$$

Pro potrubí:

$$d < 200 \text{ mm} \rightarrow \lambda = 0,03$$

$$d < 400 \text{ mm} \rightarrow \lambda = 0,04$$

EKVIVALENTNÍ PRŮMĚR POTRUBÍ

$$d_e = \frac{4 \cdot S}{o} \quad (17)$$

$$d_e = \frac{4 \cdot 0,0016}{0,14}$$

$$d_e = 0,045 \text{ m}$$

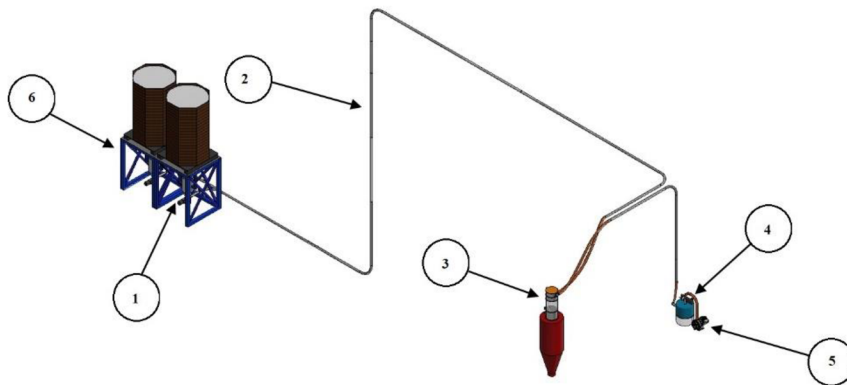
Rovnice (17), dle [1], kde:

$$S = 0,0016 \text{ m}^2 \quad \text{průřez potrubí [m}^2\text{],}$$

$$O = 0,14 \text{ m} \quad \text{obvod potrubí [m].}$$

4 NÁVRH VLASTNÍ KONCEPCE

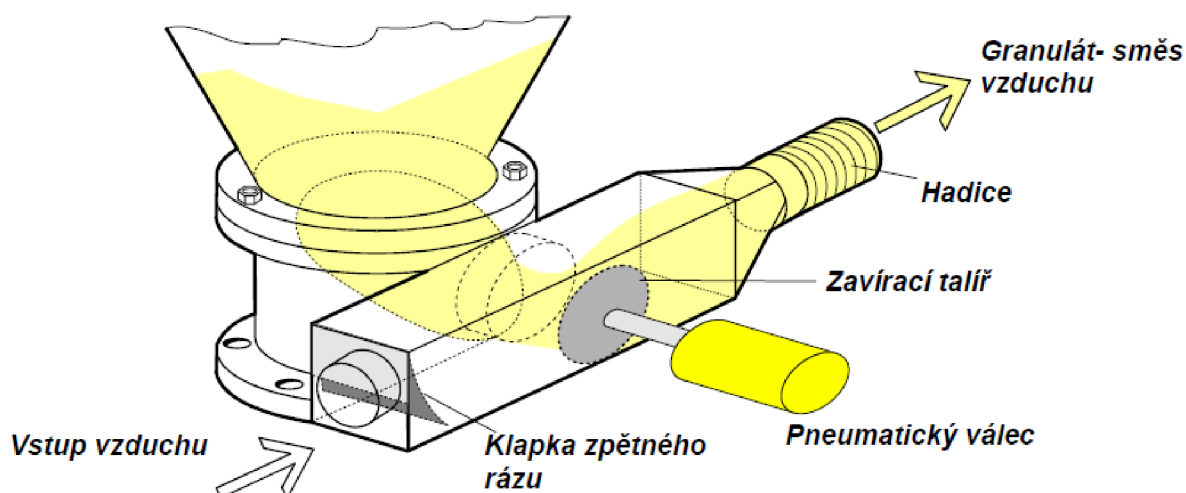
V této části bakalářské práce jsou popsány jednotlivé části konstruovaného pneumatického dopravníku na polyethylenový granulát a zdůvodněn výběr jednotlivých prvků. Schéma vlastní koncepce je znázorněno na obr. 24. Celý cyklus nasávání, dávkování, otevírání a zavírání ventilů, dopravy, vypouštění, čištění filtru je řízen automaticky pomocí softwarového programu od firmy Motan.



Obr. 24 Vlastní koncepce: 1-Směšovač, 2-Potrubí, 3-Oddělovač materiálu, 4-Celtrální filtr, 5-Dmýchadlo, 6-Nosná konstrukce pod oktabinem

4.1 SMĚŠOVAČ MATERIÁLU

Na nasávání granulátu je dle vypočítaného průtočného množství vzduchu vybrán pneumaticky řízený směšovač z katalogu [11] od firmy Motan s označením **SB 102**. Princip funkce tohoto směšovače spočívá v tom, že z násypky se přes šikmou plochu dostává materiál k nasávacímu otvoru. Směšování granulátu s proudícím vzduchem je prováděno automaticky pomocí zavíracího talíře, který slouží současně i k uzavření otvoru. Otvor se uzavírá z důvodu odsátí veškerého granulátu z potrubí. Součástí směšovače je i pohyblivá klapka zpětného rázu, která zabraňuje, aby se granulát nedostal přes otvor vzduchového vstupu. Schéma a popis nasávání granulátu je znázorněno na obr. 25.



Obr.25 Schéma nasávání granulátu [11]

4.2 POTRUBÍ

4.2.1 PŘÍMÉ POTRUBÍ A OHYBY

Pro potrubí je dle výpočtu průměru volena nerezová bežešvá trubka z katalogu firmy TRIVAL, která je označena NER 51 x 2 a vyrobena z materiálu 1.4301 [24]. Vnitřní průměr nerezové trubky je tedy 47 mm. Od stejné firmy jsou voleny i ohyby 90°. Pro lepší napojení odlučovače je použita odsávací hadice FoxiPro FPH-050 zobrazena na obr. 26, [25], která je přímo určena pro dopravu granulátu.



Obr. 26 Odsávací hadice FoxiPro [25]

4.2.2 SPOJKY

Pro veškeré napojování potrubí jsou použity spojky z nerezové oceli s gumovou vložkou. Délka objímky je 100 mm a k trubce se svírá pomocí dvou šroubů. Tyto spojky jsou dodávány firmou Kuboušek GROUP pod označením RV-10-050-100-2-01-CR (obr. 27), [17]. Celkem jich je v pneumatickém dopravníku použito 13. Výběr těchto spojek je z důvodu snadné montáže a následně dobré rozebíratelnosti při náhlém ucpání potrubí.



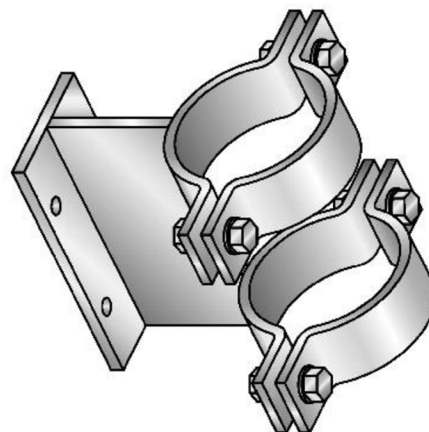
Obr. 27 Potrubní spojka Typ 10 [17]

4.2.3 UPEVNĚNÍ POTRUBÍ

Vodorovné potrubí je uchyceno kovovými objímkami s gumovou vložkou (obr. 28) o vnitřním průměru 48-53 mm, která je propojena ke stropní konstrukci závitovou tyčí M8 [22]. Svislé potrubí je připevněno úchytkami odolnými vůči stříhu (obr. 29) s označením MI PS 2/1 [23]. Stejné úchytky jsou použity i pro podepření horizontálního potrubí, které vede těsně nad zemí.



Obr. 28 Kovová objímka pro vodorovné potrubí [22]

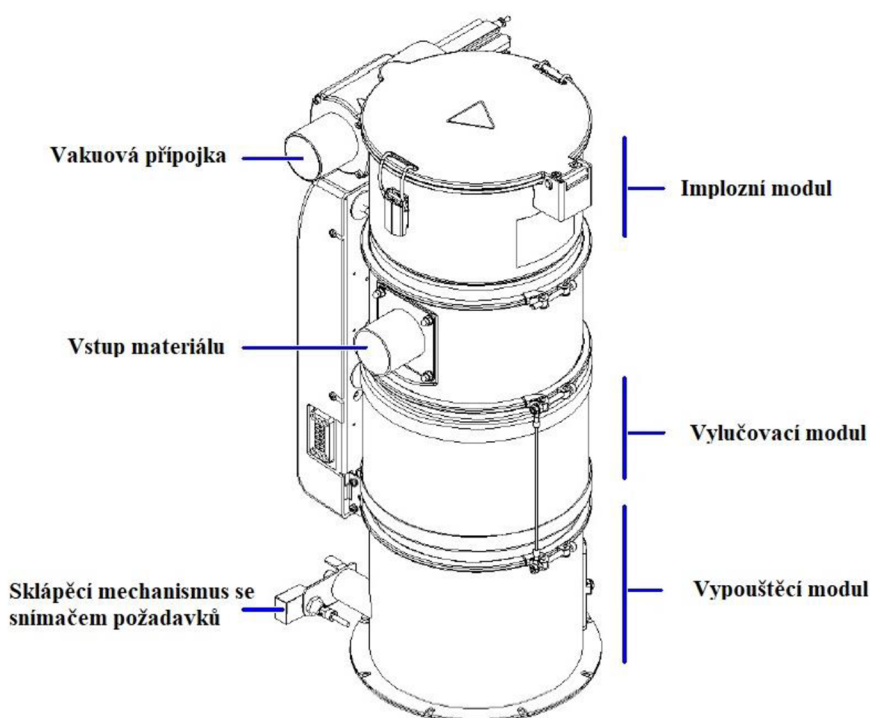


Obr. 29 Kovová objímka pro svislé potrubí [23]

4.3 ODDĚLOVAČ MATERIÁLU

Pro oddělení granulátu od vzduchu je vybráno oddělovací zařízení od firmy Motan s označením **Metro G 30** [10]. Důvodem, proč byl vybrán tento typ, je jeho dostatečná kapacita zásobníku, viz Příloha č.1 – Oddělovač materiálu.

Celkový proces uvnitř oddělovače se nazývá přepravní cyklus. V přepravním cyklu za sebou probíhají pravidelné procesy. Když je nádoba oddělovače prázdná, snímač požadavků vysílá signál na centrální řízení, které dá impuls ke spuštění přepravního cyklu. Vakuový ventil otevře vakuové vedení. To vyvolá v dopravním zařízení podtlak, který nasává materiál do oddělovače. Když nádoba oddělovače dosáhne požadovaného množství, vakuový ventil uzavře vakuové vedení. Implozní jednotka se otevře, čímž sníží podtlak v oddělovači. Otevírá se vypouštěcí klapka a materiál se sype z oddělovače do zásobníku. Po vypuštění materiálu se klapka opět uzavře a celý cyklus se opakuje. Schéma daného oddělovače je znázorněno na obr. 30.

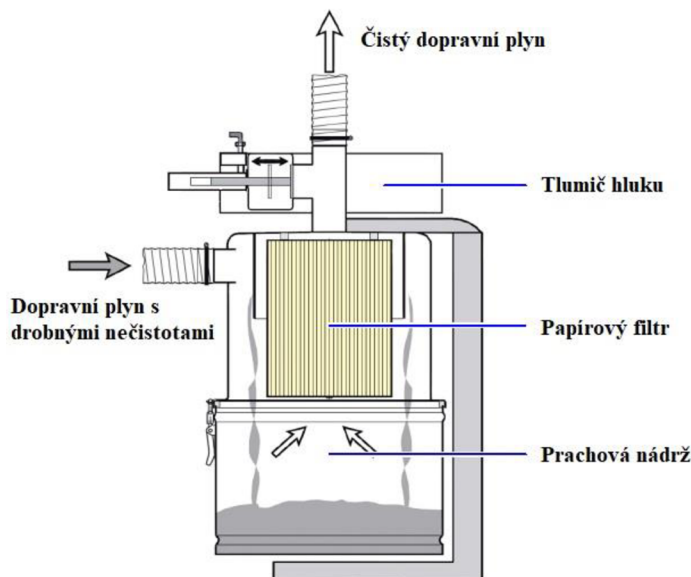


Obr. 30 Oddělovač materiálu [10]

4.4 CENTRÁLNÍ FILTR

Zdroj proudu dopravního vzduchu vyžaduje určitou čistotu, proto se před vstup zařazují centrální filtry. Pro tuto koncepci je použit pro oddělení prachu od vzduchu centrální filtr od firmy Motan s označením **F30** [9]. Tento filtr je vhodný pro podtlak o maximální výši 50 kPa a maximální průtok vzduchu je do 900 m³.h, viz Příloha č. 2 – Centrální filtr.

Do centrálního filtru se přes tangenciální přívod vzduchu nasává vzduch obsahující prach. Působením cyklonu se oddělí část prachových částic a shromažďuje se pod prachovým filtrem. Vzduch proniká zvenku dovnitř do filtrační patrony, na nichž se zachytí prach a skrz patronu projde jen čistý vzduch. Po ukončení přepravy plastového granulátu se přepne ventil a vnější vzduch se natáhne přes tlumič hluku a obtokový ventil, čímž se vyrovná podtlak ve filtru a filtrační patrona se protiproudem vzduchu vyčistí. Usazený prach spadne do prachové nádrže. Schéma centrálního filtru je znázorněno na obr. 31.



Obr. 31 Centrální filtr [9]

4.5 ZDROJ DOPRAVNÍHO PLYNU

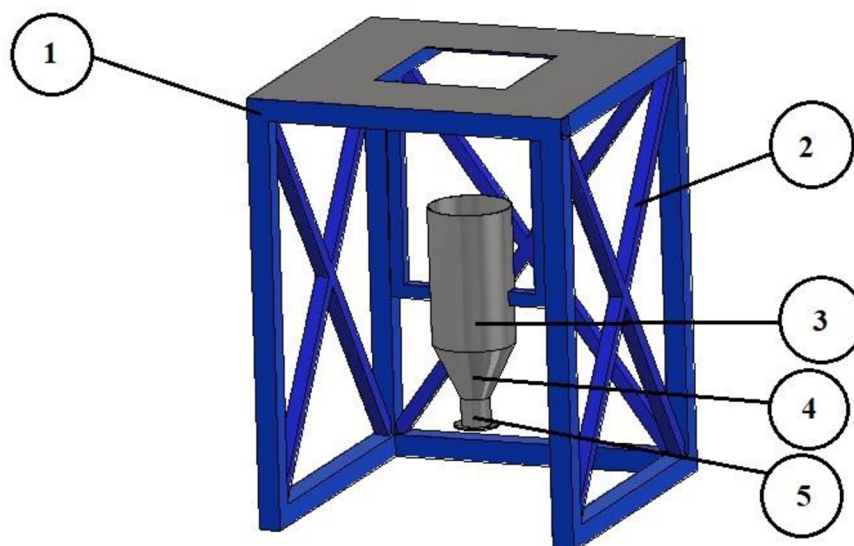
Jako zdroj dopravního plynu je vybráno dvoustupňové dmýchadlo s bočním kanálem typu **2BH1 810** značky **Elmo Rietschle** (Siemens) [18]. Příkon tohoto dmýchadla je 5,5 kW a může dosahovat podtlaku o maximální výši 49 kPa. Průtok vzduchu je $470 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, viz Příloha č. 3 – Dmýchadla ELMO RIETSCHLE. Parametry dmýchadla jsou oproti výpočtům navýšeny na doporučení výrobce pneumatických dopravníků. Poměr granulátu a proudícího vzduchu nemusí být vždy optimální a může docházet k ucpání potrubí. Aby dmýchadlo zvládalo i tyto nepředvídatelné situace musí mít rezervu ve výkonu.

4.6 NOSNÁ KONSTRUKCE POD OKTABÍNEM S MATERIÁLEM

Rám konstrukce je svařen z ocelového uzavřeného profilu čtvercového tvaru s podélným svárem o rozměru 80 x 80 mm a tloušťce stěny 4 mm. Materiál je ocel S235JRH. [19] Na této konstrukci je oktabín s materiálem o hmotnosti 1000 kg. Aby se zvýšila pevnost, je konstrukce ze tří stran vyztužena zavětrováním z ocelového uzavřeného profilu čtvercového tvaru o rozměru 50 x 50 mm a tloušťkou stěny 4 mm. [20] Stejný profil je použit i na držáky násypky, které jsou přivařeny k výztuhám v horní části rámu.

Násypka je vyrobena z materiálu 1.4301. Jedná se o nerezový plech o tloušťce 3 mm. Plech na horní části násypky má rozměr 500 x 933 mm. Tento plech je následně stočený a svařený do tvaru trubky o vnějším průměru 300 mm. Středová část násypky je kónická a zužuje se do průměru 106 mm. Spodní část je stočena a svařena z plechu o rozměrech 323 x 100 mm do tvaru trubky o průměru 106 mm. Na spodní díl je přivařena příruba, kterou je násypka spojena se směšovačem.

Vizualizace celé nosné konstrukce je znázorněna na obr. 32.



Obr. 32 Nosná konstrukce s násypkou: 1-Rám konstrukce, 2-Zavětrování, 3-Horní část násypky, 4-Středová část násypky, 5-Spodní část násypky

4.7 ODHLUČNĚNÍ POTRUBÍ

Z důvodu tření granulátu o kovové potrubí vzniká nadměrný hluk, který by mohl při dlouhodobém pobytu obsluhy v jeho blízkosti poškodit jeho sluch. Proto je nutno potrubí odizolovat (odhlučnit). Pro odhlučnění potrubí je vybrána izolační trubice **MIRELON PRO** (obr. 33) z katalogu od firmy Mirel Vratimov a. s. s tloušťkou izolace 13 mm a vnitřním průměrem 50 mm. Tato izolace je vybrána pro svoje dobré izolační i protihlukové vlastnosti a pro snadnou montáž. [21]



Obr. 33 Izolační trubice

5 PEVNOSTNÍ KONTROLA

V této části je provedena pevnostní kontrola vybraných částí pneumatického dopravníku. Zde je potřeba se zaměřit hlavně na výpočet konstrukce tvořené z ocelových profilů čtvercového tvaru, držáky potrubí a následně na průhyb potrubí samotného. Výpočet je řešen dle [8].

5.1 KONSTRUKCE S NÁSYPKOU

Váha oktabinu s materiálem je rozložena do celé konstrukce, tudíž zátěž na jeden vertikální ocelový profil čtvercového tvaru bude čtvrtinová.

5.1.1 VZPĚR

KVADRATICKÝ MOMENT

$$I_p = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{12} \quad (18)$$

$$I_p = \frac{0,08 \cdot 0,08^3 - 0,072 \cdot 0,072^3}{12}$$

$$I_p = 1,17 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Rovnice (18), kde:

B=0,08 m vnější šířka ocelového profilu čtvercového tvaru [m], z [19],

H=0,08 m vnější výška ocelového profilu čtvercového tvaru [m], z [19],

b=0,072 m vnitřní šířka ocelového profilu čtvercového tvaru [m], z [19],

h=0,072 m vnitřní šířka ocelového profilu čtvercového tvaru [m], z [19].

PLOCHA PRŮŘEZU

$$S_p = B \cdot H - b \cdot h \quad (19)$$

$$S_p = 0,08 \cdot 0,08 - 0,072 \cdot 0,072$$

$$S_p = 0,0012 \text{ m}^2$$

Rovnice (19), kde:

B=0,08 m vnější šířka ocelového profilu čtvercového tvaru [m], z [19],

H=0,08 m vnější výška ocelového profilu čtvercového tvaru [m], z [19],

b=0,072 m vnitřní šířka ocelového profilu čtvercového tvaru [m], z [19],

h=0,072 m vnitřní šířka ocelového profilu čtvercového tvaru [m], z [19].

MINIMÁLNÍ POLOMĚR SETRVAČNOSTI PRŮŘEZU OCELOVÉHO PROFILU ČTVERCOVÉHO TVARU

$$i_p = \sqrt{\frac{I_p}{S_p}} \quad (20)$$

$$i_p = \sqrt{\frac{1,17 \cdot 10^{-6}}{0,0012}}$$

$$i_p = 0,032 \text{ m}$$

Rovnice (20), kde:

$I_p=1,17 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$ kvadratický moment ocelového profilu čtvercového tvaru [m^4],

$S_p=0,0012 \text{ m}^2$ plocha průřezu ocelového profilu čtvercového tvaru [m^2].

REDUKOVANÁ DÉLKA PRUTU

$$l_{red} = \frac{l_v}{2} \quad (21)$$

$$l_{red} = \frac{1,58}{2}$$

$$l_{red} = 0,79 \text{ m}$$

Rovnice (21), kde:

$l_v=1,58 \text{ m}$ délka vertikálního ocelového profilu čtvercového tvaru [m].

ŠTÍHLOST

$$\lambda = \frac{l_{red}}{i_p} \quad (22)$$

$$\lambda = \frac{0,79}{0,032}$$

$$\lambda = 24,94 [-]$$

Rovnice (22), kde:

$l_{red}=0,79 \text{ m}$ redukovaná délka prutu [m],

$i_p=0,032 \text{ m}$ minimální poloměr setrvačnosti průřezu ocelového profilu čtvercového tvaru [m].

Štíhlost vychází menší než mezní štíhlost $\lambda < \lambda_m$. Jedná se tedy o oblast nepružného vzpěru

Dle [8], str 50, kde:

$$\lambda_m = 86 \quad \text{mezní štíhlost [-]}$$

KRITICKÉ NAPĚTÍ

$$\sigma_{kr} = 289 - 0,82 \cdot \lambda \quad (23)$$

$$\sigma_{kr} = 289 - 0,82 \cdot 24,94$$

$$\sigma_{kr} = 286,55 \text{ GPa}$$

Rovnice (23), kde:

$$\lambda = 24,94 \quad \text{štíhlost [-].}$$

KRITICKÁ SÍLA

$$F_{kr} = \sigma_{kr} \cdot S_p \quad (24)$$

$$F_{kr} = 286,55 \cdot 10^6 \cdot 0,0012$$

$$F_{kr} = 326\,555,83 \text{ N}$$

Rovnice (24), kde:

$$\sigma_{kr} = 286,55 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad \text{kritické napětí [Pa],}$$

$$S_p = 0,0012 \text{ m}^2 \quad \text{plocha průřezu ocelového profilu čtvercového tvaru [m}^2\text{].}$$

BEZPEČNOST VERTIKÁLNÍHO OCELOVÉHO PROFILU ČTVERCOVÉHO TVARU

$$k = \frac{F_{kr}}{F_s} \quad (25)$$

$$k = \frac{326\,555}{10\,000}$$

$$k = 32,66$$

Rovnice (25), kde:

$$F_{kr} = 326\,555 \text{ N} \quad \text{kritická síla [N],}$$

$$F_s = 10\,000 \text{ N} \quad \text{skutečné zatížení konstrukce [N].}$$

Velikost ocelového profilu čtvercového tvaru použitá ve vertikálním směru je dostatečně naddimenzována.

5.1.2 OHYB

MODUL PRŮŘEZU V OHYBU

$$W_o = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6 \cdot H} \quad (26)$$

$$W_o = \frac{0,08 \cdot 0,08^3 - 0,072 \cdot 0,072^3}{6 \cdot 0,08}$$

$$W_o = 2,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Rovnice (26), kde:

B=0,08 m vnější šířka čtyřhranné trubky [m], z [19],

H=0,08 m vnější výška čtyřhranné trubky [m], z [19],

b=0,072 m vnitřní šířka čtyřhranné trubky [m], z [19],

h=0,072 m vnitřní šířka čtyřhranné trubky [m], z [19].

OHYBOVÝ MOMENT

$$M_o = \frac{F_h \cdot l_h^2}{8} \quad (27)$$

$$M_o = \frac{5000}{1,2} \cdot 1,2^2$$

$$M_o = 750 \text{ N.m}$$

Rovnice (27), kde:

F_h=5000 N síla působící na horizontální ocelový profil čtvercového tvaru [N],

l_h=1,2 m délka horizontálního ocelového profilu čtvercového tvaru [m].

OHYBOVÉ NAPĚTÍ

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (28)$$

$$\sigma_o = \frac{750}{2,93 \cdot 10^{-5}}$$

$$\sigma_o = 25,56 \text{ MPa}$$

Rovnice (28), kde:

M_o=750 N.m ohybový moment [N.m],

$W_0=2,93 \cdot 10^{-5} \text{m}^3$ modul průřezu v ohybu [m^3].

BEZPEČNOST PODÉLNÉHO OCELOVÉHO PROFILU ČTVERCOVÉHO TVARU

$$k = \frac{\sigma_{MAX}}{\sigma_o} \quad (29)$$

$$k = \frac{60}{25,56}$$

$$k = 2,347 [-]$$

Rovnice (29), kde:

$\sigma_{MAX} = 60 \text{ MPa}$ maximální ohybové napětí pro míjivý materiál S235JRH [MPa], z [8],

$\sigma_o=25,56 \text{ MPa}$ ohybové napětí [MPa], z rovnice (28).

Velikost ocelového profilu čtvercového tvaru použitá v horizontálním směru je dostatečně naddimenzována.

5.2 POTRUBÍ

5.2.1 OHYB

Potrubí je spočítáno na ohyb pro nejdelší vzdálenost podpěr od sebe, tj. 2 m.

VLASTNÍ TÍHA TRUBKY

$$F_{gT} = l_T \cdot m_T \cdot g \quad (30)$$

$$F_{gT} = 2 \cdot 2,45 \cdot 9,81$$

$$F_{gT} = 48,07 \text{ N}$$

Rovnice (30), kde:

$l_T=2 \text{ m}$ maximální vzdálenost podpěr od sebe [m],

$m_T=2,45 \text{ kg}$ hmotnost 1m nerezové trubky [kg], z [24].

OHYBOVÝ MOMENT

$$M_{OT} = \frac{F_{gT}}{2} \cdot \frac{l_T}{2} \quad (31)$$

$$M_{OT} = \frac{48,07}{2} \cdot \frac{2}{2}$$

$$M_{OT} = 24,04 \text{ N.m}$$

Rovnice (31), kde:

$$F_{gT}=48,07 \text{ N} \quad \text{vlastní tíha trubky [N],}$$

$$l_T=2 \text{ m} \quad \text{maximální vzdálenost podpěr od sebe [m].}$$

MODUL PRŮŘEZU V OHYBU

$$W_{OT} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_T^4 - d_T^4}{D_T} \quad (32)$$

$$W_{OT} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{0,051^4 - 0,047^4}{0,051}$$

$$W_{OT} = 3,63 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Rovnice (32), kde:

$$D_T=0,051 \text{ m} \quad \text{vnější průměr trubky [m], z [24],}$$

$$d_T=0,047 \text{ m} \quad \text{vnitřní průměr trubky [m], z [24].}$$

OHYBOVÉ NAPĚNÍ

$$\sigma_{OT} = \frac{M_{OT}}{W_{OT}} \quad (33)$$

$$\sigma_{OT} = \frac{24,04}{3,62 \cdot 10^{-6}}$$

$$\sigma_{OT} = 6,62 \text{ MPa}$$

Rovnice (33), kde:

$$M_{OT}=24,04 \text{ N.m} \quad \text{ohybový moment [N.m],}$$

$$W_{OT}=3,62 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad \text{modul průřezu v ohybu [m}^3\text{].}$$

BEZPEČNOST NEREZOVÉ TRUBKY

$$k = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{OT}} \quad (34)$$

$$k = \frac{20}{6,62}$$

$$k = 3,02 \text{ [-]}$$

Rovnice (34), kde:

$$\sigma_{max} = 20 \text{ MPa} \quad \text{maximální napětí pro slitinovou ocel ($\sigma_{max} = 20 - 30 \text{ MPa}$) [MPa],}$$

$\sigma_{OT}=6,62$ MPa ohybové napětí [MPa].
 Volba průměru potrubí je dostatečně naddimenzována.

5.2.2 KONTROLA MAXIMÁLNÍHO PRŮHYBU POTRUBÍ OSOÝ KVADRATICKÝ MOMENT NEREZOVÉ TRUBKY

$$I_{XP} = \frac{\pi}{64} \cdot (D_p^4 - d_p^4) \quad (35)$$

$$I_{XP} = \frac{\pi}{64} \cdot (51^4 - 47^4)$$

$$I_{XP} = 92\,555,24 \text{ mm}^4$$

Rovnice (35), dle [8], str. 40, kde:

$D_p=51$ mm vnější průměr trubky [mm], z [24],

$d_p=47$ mm vnitřní průměr trubky [mm], z [24].

TEORETICKÝ PRŮHYB POTRUBÍ

$$y_{max} = \frac{F_{gT} \cdot l_T^3}{48 \cdot E \cdot I_{XP}} \quad (36)$$

$$y_{max} = \frac{48,07 \cdot 2000^3}{48 \cdot 210000 \cdot 92\,555}$$

$$y_{max} = 0,41 \text{ mm}$$

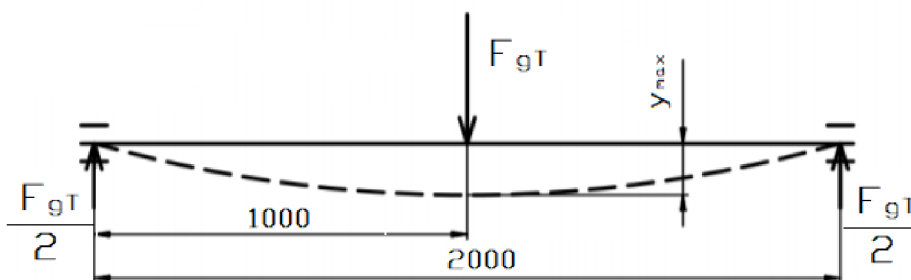
Rovnice (36), dle [8], kde:

$F_{gT}=48,07$ N vlastní tíha trubky [N],

$l_T=2000$ mm maximální vzdálenost podpěr od sebe [mm],

$E=21\,000$ MPa modul pružnosti v tahu pro nerez [MPa],

$I_{XP}=95\,555$ mm⁴ osový kvadratický moment nerezové trubky [mm⁴].



Obr. 34 Maximální teoretický průhyb nerezové trubky

5.3 DRŽÁKY VERTIKÁLNÍHO POTRUBÍ U STROPU

Držáky jsou připevněny ke stropu pomocí závitové tyče M8. Na délce 10 m je použito 6 držáků. Dochází zde k tahovému namáhání.

CELKOVÁ VÁHA TRUBKY VČETNĚ MATERIÁLU

$$F_{gTC} = l_c \cdot (m_T + m_m) \cdot g \quad (37)$$

$$F_{gTC} = 10 \cdot (2,45 + 1,02) \cdot 9,81$$

$$F_{gTC} = 340 \text{ N}$$

Rovnice (37), dle [8], kde:

$l_c=10 \text{ m}$ celková délka vodorovného potrubí u stropu [m],

$m_T=2,45 \text{ kg}$ váha 1 m nerezové trubky [kg], z [24],

$m_m=1,02 \text{ kg}$ váha materiálu v 1 m nerezové trubky [kg].

TAHOVÉ NAPĚTÍ

$$\sigma_T = \frac{F_{gTC}}{6 \cdot S_Z} = \frac{F_{gTC}}{6 \cdot \frac{\pi \cdot D_Z^2}{4}} \quad (38)$$

$$\sigma_T = \frac{340}{6 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4}}$$

$$\sigma_T = 1,1 \text{ MPa}$$

Rovnice (38), dle [8], kde:

$F_{gTC}=340 \text{ N}$ celková váha trubky včetně materiálu [N],

$S_Z=50,27 \text{ mm}^2$ průřez závitovou tyčí M8 [mm²],

$D_Z=8 \text{ mm}$ průměr závitové tyče [mm].

BEZPEČNOST ZÁVITOVÉ TYČE

$$k = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_T} \quad (39)$$

$$k = \frac{30}{1,1}$$

$$k = 27,27$$

Rovnice (39), dle [8], kde:

$\sigma_{max}=30$ MPa maximální napětí pro závitové tyče ($\sigma_{max} = 20 - 30$ MPa) [MPa]

$\sigma_T=1,1$ MPa tahové napětí [MPa]

Držáky vertikálního potrubí u stropu jsou dostatečně naddimenzovány.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byl konstrukční návrh pneumatického dopravníku pro přepravu plastového granulátu. V úvodu je provedeno základní rozdělení pneumatické dopravy a následně rešeršní rozbor stavby podtlakových pneumatických dopravníků. Dalším bodem je funkční výpočet, díky kterému byly stanoveny základní parametry pro pneumatický dopravník jako je potřebné průtočné množství vzduchu, rychlost vzduchu v potrubí, průměr potrubí a absolutní tlak na začátku oběhu. Následně je v práci rozebrán návrh vlastní koncepce, kde jsou odůvodněny volby součástí. V poslední části bakalářské práce je proveden pevnostní výpočet vybraných komponentů. Zejména pevnostní výpočet rámu, průhyb potrubí a držáky potrubí.

Kompletní návrh pneumatického dopravníku byl vytvořen v programu Autodesk Inventor a dle zadání byla vypracována také výkresová dokumentace vybraných komponentů. Jedná se o výkres sestavy pneumatického dopravníku, výkres svařence rámu, výkres svařence nerezové násypky, která je součástí rámu a výrobní výkres nerezového plechu přivařeného navrchu celé konstrukce rámu.

Tento pneumatický dopravník je součástí transportního systému ve výrobním závodě, kde je dopravovaný materiál transportován od zásobníku po odlučovač materiálu, ze kterého se sype do lisovacího pracoviště.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] DRAŽAN, František a Karel JEŘÁBEK. Manipulace s materiálem. Praha: SNTL, 1979.
- [2] MILLS, David, Mark J. JONES a Vijay AGARWAL. Handbook of Pneumatic Conveying Engineering. New York, Basel: Marcel Dekker, 2004. ISBN 0824747909.
- [3] JANALÍK, Jaroslav. Potrubní hydraulická a pneumatická doprava. Vysoká škola Báňská v Ostravě, 1984, ISBN 80-7078-595-0.
- [4] URBAN, Jaroslav. Pneumatická doprava, Praha: SNTL, 1964.
- [5] HEMERKA, Jiří. Teoretické základy pneumatické dopravy, Fakulta strojní ČVUT v Praze, 2017.
- [6] DANĚK, Jan a Miroslav PLEVNÝ. Výrobní a logistické systémy. Západoomoravská univerzita v Plzni, 2005, ISBN 80-7043-416-3.
- [7] PRAŽÁK, Vilém. Pneumatická doprava, Praha: SNTL, 1961
- [8] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [9] *Centrální filtr: F30*. Motan. Německo: motan holding gmbh, 2016, 48s. Provozní návod.
- [10] *Oddělovač materiálu*: METRO G. Motan. Německo: motan holding gmbh, 2018, 124s. Provozní návod.
- [11] *Odsávací krabice: SB101, SB102, SB111, SB112*. Motan. Německo: motan holding gmbh, 2007, 15s. Návod na obsluhu.
- [12] *Plnokružné vývěvy/kompresory*: Konstrukční řada G_200. Nash_elmo. Německo: nash_elmo Industries GmbH, 2003, 45s. Návod k obsluze.
- [13] Dry Processing Technology. *FOOD ENGINEERING* [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.foodengineeringmag.com/articles/98541-k-tron-pneumatic-conveying-systems>
- [14] Průmyslové ventilátory firmy Elektror. *Elektror airsystems gmbh* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.elektor.com/cs/produkty/prumyslove-ventilatory/>
- [15] Vakuová technika. *Wikiwand* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: https://www.wikiwand.com/cs/Vakuov%C3%A1_tehnika
- [16] Olejové a bezolejové průmyslové vývěvy. *VAKUUM BOHEMIA* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.vakuum-bohemia.cz/vyvevy>
- [17] Potrubní spojky. *KUBOŤEK* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <http://www.kubousek.cz/cz/divize-periferie/kti/potrubni-komponenty/potrubni-spojky/typ-10-svetly.html>

- [18] DMÝCHADLA ELMO RIETSCHLE. *VAKUUM BOHEMIA* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.vakuum-bohemia.cz/dmychadla-rietschle>
- [19] Jekl čtvercový 80 x 80 x 4 mm. *PRO-DOMA* [online]. [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://hutni.pro-doma.cz/eshop-jekl-80-x-80-x-4-mm-detail-8877>
- [20] Jekl čtvercový 50 x 50 x 4 mm. *PRO-DOMA* [online]. [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://hutni.pro-doma.cz/eshop-jekl-ctvercovy-50-x-50-x-4-mm-detail-8889>
- [21] Termoizolační trubice MIRELON PRO. *Mirel Vratimov* [online]. [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <http://www.mirelon.com/cz/trubice-mirelon-pro-vnitri-prumer-50-mm-i000016.html?p=280>
- [22] OBJÍMKA 48-53 MM. *BOMA Milevsko s.r.o* [online]. [cit. 2020-05-02]. Dostupné z <https://eshop.bomamilevsko.cz/objimky-pro-upevneni-kanalizacniho-potrubi/cor-333-3-049-objimka-48-53mm/>
- [23] MI-PS 2/1. *HILTI* [online]. [cit 2020-05-02]. Dostupné z https://www.hilti.cz/c/CLS_INSTALLATION_SYS_7134/CLS_PIPING_7134/CLS_PIPE_SHOES_7134/r6204?CHD_DIAMETER_D=60.3%20mm&CHD_NOMINAL_SIZE=50%20mm
- [24] KATALOG NEREZOVÝCH MATERIÁLŮ. *TRIVAL* [online]. [cit 2020-05-02] Dostupné z: http://www.trival.cz/nerezovy_program/nerez_pdf.pdf
- [25] Odsávací hadice FoxiPro PUR H 50 mm. *KOMPRESORY VZDUCHOTECHNIKA* [online]. [cit 2020-05-02] Dostupné z: https://www.kompresory-vzduchotechnika.cz/odsavaci-hadice-foxipro-pur-h-50mm/?gclid=Cj0KCQjwirz3BRD_ARIsAImf7LP2_jvW-6m4f2DkoReVj7KELDP9TCfw9DHPXIYB4JpoHajhzWcZ0_4aAsyUEALw_wcB

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

B	[m]	Vnější šířka ocelového profilu čtvercového tvaru
b	[m]	Vnitřní šířka ocelového profilu čtvercového tvaru
c ₂	[m ² .kg ^{-0,5}]	Součinitel zrnitosti
c ₃	[m ² .kg ⁻¹]	Součinitel zrnitosti
D	[m]	Poloměr oblouku
d	[m]	Průměr potrubí
d _e	[m]	Ekvivalentní průměr potrubí
D _P	[mm]	Vnější průměr trubky
d _P	[mm]	Vnitřní průměr trubky
D _T	[m]	Vnější průměr trubky
d _T	[m]	Vnitřní průměr trubky
D _Z	[mm]	Průměr závitové tyče
E	[Pa]	Modul pružnosti v tahu pro nerez
F _{gT}	[N]	Vlastní tíha trubky
F _{gTc}	[N]	Celková váha trubky včetně materiálu
F _h	[N]	Síla působící na horizontální ocelový profil čtvercového tvaru
F _{kr}	[N]	Kritická síla
F _s	[N]	Skutečné zatížení konstrukce
g	[m ² .s ⁻¹]	Tíhové zrychlení
h	[m]	Dopravní výška
H	[m]	Vnější výška ocelového profilu čtvercového tvaru
h	[m]	Vnitřní šířka ocelového profilu čtvercového tvaru
I _p	[m ⁴]	Kvadratický moment
i _p	[m]	Minimální poloměr setrvačnosti průřezu ocelového profilu čtvercového tvaru
I _p	[m ⁴]	Kvadratický moment ocelového profilu čtvercového tvaru
l _r	[m]	Ekvivalentní délka potrubí
I _{red}	[m]	Redukovaná délka prutu
I _{xp}	[mm ⁴]	Kontrola maximálního průhybu potrubí
I _{XP}	[mm ⁴]	Osový kvadratický moment nerezové trubky
k	[-]	Bezpečnost
l _c	[m]	Celková délka vodorovného potrubí u stropu
l _h	[m]	Délka horizontální ocelového profilu čtvercového tvaru
l _{iR}	[m]	Délka i-tého přímého úseku

l_{j0}	[m]	Ekvivalentní délka j-tého oblouku
l_{kP}	[m]	Ekvivalentní délka k-tého příslušenství
l_T	[m]	Maximální vzdálenost podpěr od sebe
l_v	[m]	Délka vertikálního ocelového profilu čtvercového tvaru
m_m	[kg]	Váha materiálu v 1 m nerezové trubky
M_o	[N.m]	Ohybový moment
M_{oT}	[N.m]	Ohybový moment
m_T	[kg]	Hmotnost 1m nerezové trubky
m_T	[kg]	Váha 1 m nerezové trubky
O	[m]	Obvod potrubí
p_h	[Pa]	Hydrostatický tlak
p_k	[Pa]	Tlak v potrubí
P_v	[Pa]	Tlak vzduchu
p_z	[Pa]	Tlakové ztráty
Q_m	[kg.h ⁻¹]	Hmotnostní dopravované množství materiálu
Q_v	[m ³ .h ⁻¹]	Objemové dopravované množství materiálu
R_{omin}	[m]	Rádus kolena potrubí
S	[m ²]	Průřez potrubí
S_p	[m ²]	Plocha průřezu ocelového profilu čtvercového tvaru
S_Z	[mm ²]	Průřez závitovou tyčí M8
T_n	[K]	Střední hodnota absolutní teploty nosného média v daném úseku
T_{ST}	[K]	Střední hodnota absolutní teploty stěny v daném úseku
V_v	[m ³ .s ⁻¹]	Potřebné průtočné množství vzduchu
v_v	[m.s ⁻¹]	Rychlost proudění vzduchu
W_o	[m ³]	Modul průřezu v ohybu
W_{oT}	[m ³]	Modul průřezu v ohybu
y_{max}	[mm]	Teoretický průhyb potrubí
δ	[-]	Směšovací poměr
λ	[-]	Štíhlost
λ_m	[-]	Mezní štíhlost
λ_{SM}	[-]	Součinitel tření směsi
λ_t	[-]	Součinitel tření vzduchu
ξ	[-]	Součinitel místních ztrát
ξ_{SM}	[-]	Součinitel místního odporu

ρ	[kg.m ⁻³]	Hustota částic materiálu
ρ_{VZ}	[kg.m ⁻³]	Měrná hmotnost vzduchu
φ_{max}	[°]	Úhel dopadu částic
σ_{kr}	[Pa]	Kritické napětí
σ_{MAX}	[Pa]	Maximální ohybové napětí
σ_O	[Pa]	Ohybové napětí
σ_{OT}	[Pa]	Ohybové napětí
σ_T	[Pa]	Tahové napětí

SEZNAM PŘÍLOH

KATALOGOVÉ LISTY

Příloha č. 1 – Oddělovač materiálu.

Příloha č. 2 – Centrální filtr.

Příloha č. 3 – Dmýchadla ELMO RIETSCHLE.

VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Výkres sestavení	PNEUMATICKÝ DOPRAVNÍK	PD-CAHA-1.0
Výkres svařence	KONSTRUKCE RÁMU	PD-CAHA-1.3
Seznam položek	KONSTRUKCE RÁMU	PD-CAHA-1.3-K
Výkres svařence	NÁSYPKA	PD-CAHA-1.3.9
Výkres součástí	VRCHNÍ PLECH	PD-CAHA-1.3.10

PŘÍLOHA Č. 1 – ODDĚLOVAČ MATERIÁLU

METRO G



Popis produktu | 3

Kapacita

METRO G								
0,5	1,5	03	05	06	10	15	30	50
0,5 l	1,5 l	3 l	5 l	6 l	10 l	15 l	30 l	50 l

Hmotnost

METRO G								
0,5	1,5	03	05	06	10	15	30	50
7,0 kg	8,0 kg	8,5 kg	9,0 kg	11,5 kg	12,0 kg	18,5 kg	20,5 kg	24,0 kg

Údaje týkající se přístrojů

Velikost ok síťového filtru	500 µm (volitelně 1200 µm)
Maximální teplota dopravovaného materiálu	100 °C
Hladina hluku	Při provozu nevytví přístroj sám žádné zvuky. Provozní zvuky vznikají při plnění dopravníku s materiálem.

Rozhraní (elektrický proud)

Řídicí napětí	24 V DC
Druh krytí	IP 54

Rozhraní (pneumatika)

Stlačený vzduch	4 - 6 barů
Přípojka stlačeného vzduchu konektor hadice	6 mm (vnější průměr)
Spotřeba tlakového vzduchu válec implozní modul	0,32 Ndm ³ / Hub [6 bar]

Provozní podmínky (teplota, rel. vlhkost vzduchu)

Přípustný rozsah teploty	5 až 40 °C
Relativní vlhkost vzduchu	50 % při 40 °C

PŘÍLOHA Č. 2 – CENTRÁLNÍ FILTR

F30



Popis produktu | 3

Všeobecně

Počet filtračních patron	1
Čištění filtru	Imploze
Maximálně povolený provozní podtlak	500 mbar
Maximálně povolená provozní teplota	80 °C
Kapacita prachové nádrže	30 litrů
průtok vzduchu	cca 15 m ³ /min
Hmotnost	25 kg

Rozhraní

Řídicí napětí	24 V DC
Stlačený vzduch	5-7 barů
Připojení stlačeného vzduchu	Konektor hadice vnější průměr Ø 6 mm
Spotřeba stlačeného vzduchu na spínací proces	0,15 NI

PŘÍLOHA Č. 3 – DMÝCHADLA ELMO RIETSCHLE

Dmychadla s bočním kanálem - dvoustupňová

Model	Čerpací rychlost [m ³ /h]	Max. podtlak [mbar]	Max. přetlak [mbar]	Příkon [kW]	Váha [kg]	Rozměry [(d x š x v) mm]
2BH1 310	85	210 - 250	240 - 250	0,7 - 0,83	20	dle modelu
2BH1 410	155	280 - 350	280 - 440	1,6 - 2,55	25 - 27	dle modelu
2BH1 510	230	340 - 410	410 - 480	3,0 - 4,6	40 - 55	dle modelu
2BH1 610	310	200 - 440	190 - 670	2,2 - 8,6	43 - 86	dle modelu
2BH1 640	470	150 - 270	140 - 300	4,0 - 8,6	54 - 75	dle modelu
2BH1 810	470	270 - 490	260 - 750	5,5 - 17,3	170 - 215	dle modelu
2BH1 840	850	200 - 310	180 - 350	7,5 - 12,6	177 - 203	dle modelu
2BH1 910	1150	300 - 440	270 - 540	12,5 - 29,0	268 - 303	dle modelu
2BH1 940	1900	130 - 280	110 - 250	15,0 - 29,0	268 - 325	dle modelu
2BH1 943	2100	160 - 270	170 - 230	15,0 - 29,0	330 - 350	dle modelu
2BH9 2300	2100	160 - 200	90 - 190	15,0 - 21,0	165 - 188	dle modelu
2BH2 0360-2	310	230 - 580	190 - 930	3,0 - 12,5	78 - 132	dle modelu
2BH2 0540-2	470	270 - 540	220 - 870	5,5 - 17,3	125 - 170	dle modelu
2BH2 0780-2	750	220 - 530	170 - 790	7,5 - 24,5	170 - 260	dle modelu
2BH7 220	45	370 - 500	490 - 740	0,81 - 1,75	24 - 29	dle modelu
2BH7 320	65	440 - 560	480 - 600	1,1 - 1,75	25 - 31	dle modelu
2BH7 420	85	480 - 510	450 - 750	1,5 - 3,3	32 - 37	dle modelu
2BH7 520	120	470 - 500	460 - 820	2,2 - 4,0	40 - 52	dle modelu
2BH7 620	190	470 - 510	460 - 730	3,3 - 5,5	50 - 70	dle modelu