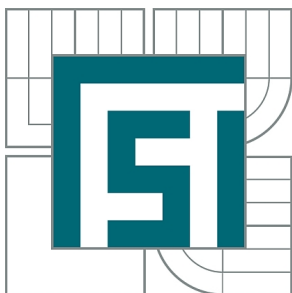


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

STUDIE PNEUMATICKÉ DOPRAVY MATERIÁLU

THE STUDY OF PNEUMATIC TRANSPORT MATERIAL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KAŠPÁREK, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Novák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Studie pneumatické dopravy materiálu

v anglickém jazyce:

The study of pneumatic transport material

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor rešeršního typu shrnující přehled poznatků v problematice pneumatické dopravy materiálu. Rozbor bude zahrnovat popis jednotlivých pneumatických systémů a druhů těchto zařízení, popis funkce, popř. konstrukce a technicko-provozní parametry jednotlivých systémů.

Cíle bakalářské práce:

Proveďte rozbor rešeršního typu se zaměřením na pneumatickou dopravu materiálu v procesu dopravy sypkých a zvláště pak kusovitých materiálů, technologické a konstrukční uspořádání zařízení, technické a provozní parametry. Uveďte stručný popis a schémata zařízení.

Proveďte kritické zhodnocení a další směřování v této oblasti manipulace s materiálem.

Seznam odborné literatury:

PIVOŇKA, J. a kol.: Tekutinové mechanismy, STNL Praha, 1987

SIEGEL W.: Pneumatische Förderung, ed. Vogel, 1991, s. 287, ISBN-10: 3-8023-0432-2, ISBN-13: 978-3-8023-0432-3

MILLS, D., JONES, M., AGARWAL, V.: Handbook of Pneumatic Conveying Engineering, vyd. Marcel Dekker, New York (USA), 2004, ISBN: 0-8247-4790-9

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 18.11.2010

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce rešeršního typu je rozdělena do několika částí. Shrnuje základní rozdělení pneumatických dopravníků, problematiku přenosu materiálů s odlišnými charakterovými vlastnostmi. Dále popisuje specifický druh přenosu kusovitého materiálu a inovační systémy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pneumatický dopravník, potrubní pošta, přenos materiálu

ABSTRACT

This Bachelor's thesis is written as an exploration of facts and it is divided into several parts. It consists of description of pneumatic conveying systems, material's properties and their conveying problems. There is a description of pneumatic post and innovatory systems in this thesis, too.

KEYWORDS

Pneumatic conveying systems, pneumatic post, transfer of material



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVÁK, M. Studie pneumatické dopravy materiálu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 41 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25. května 2011

.....

Martin Novák



PODĚKOVÁNÍ

Tímto způsobem bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Jaroslavu Kašpárkovi, Ph.D., za odborné rady, pomoc a připomínky, při vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, především rodičům, kteří mě podporují při studiích.



OBSAH

Úvod	10
1 Rozdělení pneumatických dopravníků	11
1.1 Uzavřené systémy (smyčky)	11
1.2 Otevřené systémy	13
1.2.1 Přetlakové systémy	13
1.2.2 Podtlakové systémy	13
1.2.3 Kombinace podtlakových a přetlakových systémů	15
1.2.4 Duální využití podtlakových a přetlakových systémů	16
1.3 Přenosné systémy	16
1.3.1 Silniční přeprava	16
1.3.2 Železniční přeprava	17
1.3.3 Lodní přeprava	17
2 Materiálové vlastnosti ovlivňující přepravu	18
2.1 Soudržnost, Přílnavost	18
2.2 Hořlavost	18
2.3 Elektrostatika	18
2.4 Erozivní materiály	18
2.5 Vlhkost	19
2.6 Drodivost	19
2.7 Zrnitost	19
2.8 Hygroskopické materiály	19
2.9 Radioaktivita a toxicita	19
2.10 Materiály tající při nízkých teplotách	20
3 Výpočtové vztahy	21
3.1 Směšovací poměr	21
3.2 Ekvivalentní (redukovaná) délka potrubí	21
3.3 Vznášecí rychlost	22
3.4 Rychlost vzduchu	23
3.5 Tlak v potrubí	24
3.5.1 Absolutní tlak	24
3.5.2 Pracovní tlak	25
3.5.3 Tlakové ztráty u pneumatických dopravníků	25
3.5.4 Příkon zdroje tlakového vzduchu	26
4 Potrubní pošta	28
4.1 Princip fungování	28



4.2	Schéma zapojení	29
4.3	Inovace	30
5	Inovační systémy v pneumatické dopravě	31
5.1	Pulzující fázové (zátkové) systémy	31
5.2	Vynechávající (bypass) systémy	32
5.3	Vstříkující (air injection) systémy	32
	Závěr	34
	Seznam použitých zkratek a symbolů	36
	Seznam příloh	38



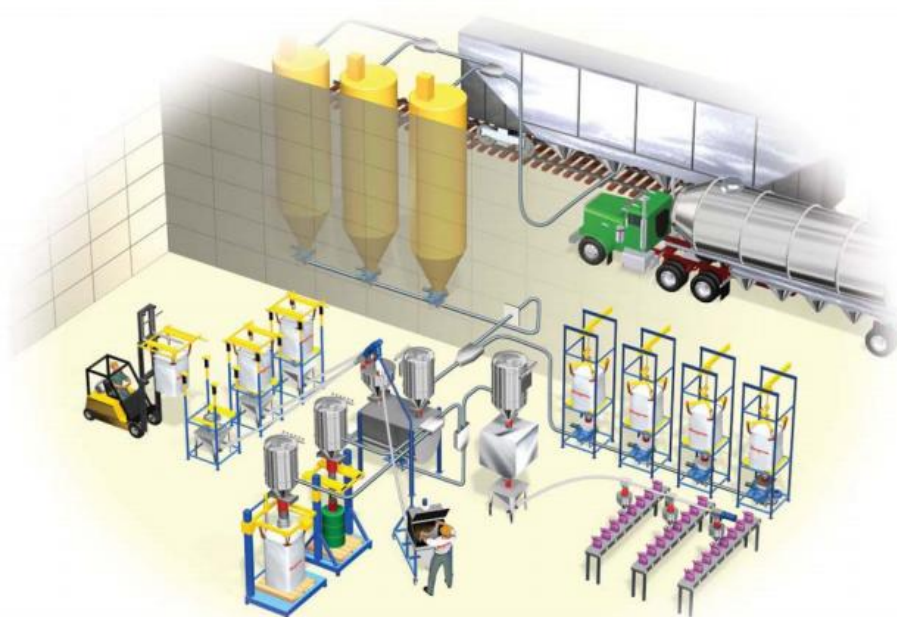
ÚVOD

Pneumatické dopravní systémy jsou založeny na jednoduchém principu přenosu materiálu, kde hlavním přepravním médiem je nejčastěji užíván stlačený vzduch. Pokud přenášený materiál reaguje se vzduchem, používáme jiný plyn např. dusík. Nejčastěji přenášíme materiály sypké, zrnité nebo válcové tubusy (tzv. potrubní pošta). K přepravě materiálu využíváme uzavřené soustavy, nejčastěji potrubí, kde je stlačeným vzduchem materiál poháněn v požadovaném směru.

Velkou výhodou pneumatických dopravních systémů je užívání automatizační techniky, která slouží ke snadné kontrole rychlosti a množství přepravovaného materiálu.

Pneumatické dopravní systémy mají široké užití. Můžeme je využívat pro přenos materiálu na dlouhé vzdálenosti, z jednoho místa na několik míst nebo z několika míst na jedno místo, záleží pouze na požadavcích. Rychlost přenosu je pro každý materiál odlišný. Vždy záleží na přenášeném materiálu a na vzdálenosti, na kterou materiál přenášíme. K přenosu využíváme přetlaku i podtlaku nebo kombinaci obou. Potrubí může být umístěno vodorovně i horizontálně, na vnějším povrchu budov i ve vnitřních prostorech, nad zemí i pod zemí. Často můžeme vidět potrubí, které jde přes obytné zóny, přes koleje, cesty. Všechny tyto systémy mají jediný účel, přenášet materiál z jednoho místa na jiné, námi požadované.

Dopravníky můžeme vidět v továrnách, v dílnách, v zemědělství, v lékařství nebo na vnějších pracovištích např. v pískovnách, šterkovnách nebo v dolech. Nejčastěji přenášenou formou materiálu jsou zrna nebo prášek. V zemědělství to je například rýže, pšenice, kukuřice, různá hnojiva, ve zpracovatelském průmyslu například cukr, mouka, sůl, čaj a káva. Ve šterkovnách a pískovnách se dopravníky využívají pro přenos šterků, písku, cementu a betonu, v dolech na přepravu uhlí a zeminy. Také v elektrárnách a vysokých pecích slouží k přepravě materiálů do kotlů a pecí. Využívají se v továrnách na výrobu plastu, ve výrobních linkách, ve sklárnách, rovněž je můžeme vidět v třídírnách odpadů.



Obr. 1 Ukázka všestrannosti užití: Doprava, nakládání, vykládání, vážení, plnění a zpracování jakéhokoliv sypkého pevného materiálu [7]



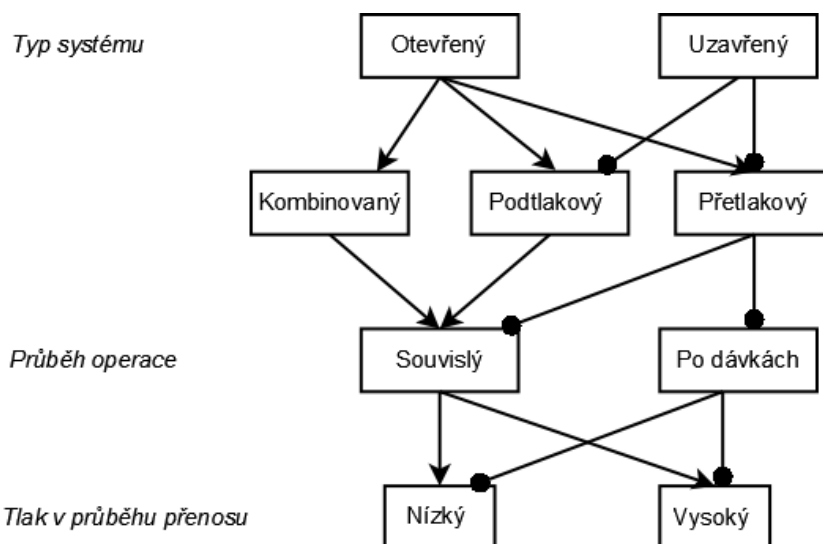
1 ROZDĚLENÍ PNEUMATICKÝCH DOPRAVNÍKŮ

Pro návrh vhodného typu pneumatického dopravníku je nutné si odpovědět na několik základních otázek, např. jaký materiál chceme přenášet, v jaké formě, na jakou vzdálenost a jestli ho chceme přenášet 24 hodin, 7 dní v týdnu. [1]

Množství dopravovaná pneumatickými dopravníky jsou až $500 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$. Lze jimi dosáhnout dopravních výšek až 100m a dopravních vzdáleností až 500m u přetlakových systémů. Jsou vhodné pro přepravu materiálů práškových a zrnitých o velikosti zrna až 8 mm. Lehčí materiály mohou mít zrnitost vyšší. Při použití speciálních směšovačů je možno dopravovat materiály až do zrnitosti 50mm. [2]

K dispozici máme několik druhů systémů, které můžeme použít pro přenos. Nejčastěji používané jsou konvenční, neustále pracující, otevřené systémy, které pracují na jednom místě. Pro přenos nejčastěji používáme přetlaku nebo podtlaku nebo jejich kombinaci. Na schématu na Obr. 2 můžeme vidět kombinaci pro systémy s jedním přívodem vzduchu. [1]

- **Otevřené a uzavřené systémy** – Otevřené systémy jsou typickými pneumatickými dopravníky, uzavřené se používají převážně pro přepravu nebezpečných, výbušných nebo toxických materiálů.
- **Přetlakové a podtlakové systémy** – materiál tlačíme nebo nasáváme, používáme přetlaku nebo podtlaku.
- **Pevné nebo mobilní systémy** – většina dopravníků je napevno umístěna, mobilní jsou používány pro zvláštní okolnosti.



Obr. 2 Přehled systémů a jejich širokého užití [1]

1.1 UZAVŘENÉ SYSTÉMY (SMYČKY)

Jedním z nejdůležitějších aspektů pro přepravu materiálu je provozní prostředí. Jestliže je materiál výbušný nebo přepravujeme-li nějaký nebezpečný materiál, musíme použít jiný druh plynu než je vzduch. Výhodou uzavřeného systému je, že plyn nám téměř nikam neuniká a

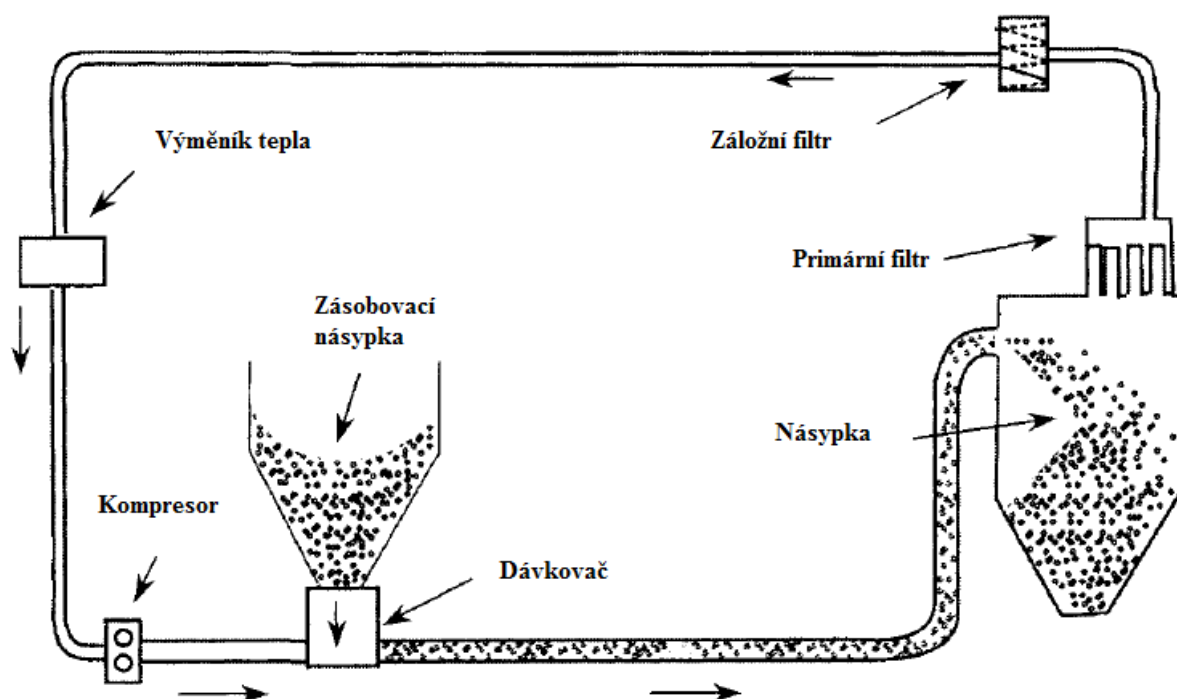


můžeme ho zpětně cirkulovat do systému. Tato výhoda nám může velmi snížit provozní náklady. [1]

V případě, že je materiál toxický nebo radioaktivní, musíme dbát zvýšené opatrnosti při jeho přepravě. Pro přepravu těchto typů materiálu je uzavřená soustava nejlepším řešením. [1]

Popis přenosu

Na Obr. 3 v levém dolním rohu je umístěn kompresor nebo dmychadlo, který má za úkol vhánět vzduch do systému. Zásobník s materiálem je umístěn za kompresorem, v takovém případě se mluví o přetlakovém systému. Pomocí dávkovače se materiál dostane ze zásobníku do potrubí. Materiál je poháněn vzduchem na námi požadované místo. Dále jsou na obrázku znázorněny dva filtry. Úlohou filtrů je zabránit prachu a nečistotám, aby se dostali do kompresoru a dmychadel. Je daleko jednodušší a levnější vyměnit filtry než měnit kompresní jednotku. Z toho důvodu se do obvodu dává záložní filtr, který slouží především jako prevence. V uzavřených systémech dochází ke zvyšování teploty. Úlohou výměníků je toto teplo odvádět a udržovat obvod v provozu za konstantních podmínek. Výměník může být umístěn před nebo za kompresory, záleží na typu systému. [1]



Obr. 3 Schéma uzavřeného systému (smyčka) [1]

Tento způsob se nejčastěji využívá pro kontinuální přepravu materiálu. Tento druh přenosu využívá uzavřenou smyčku, klasické schéma zapojení je znázorněno na Obr. 3. Tyto systémy se využívají pro přenos materiálu v továrnách, pískovnách a v prostorách, kde je pravidelný nebo nepřetržitý přenos materiálu. [1]

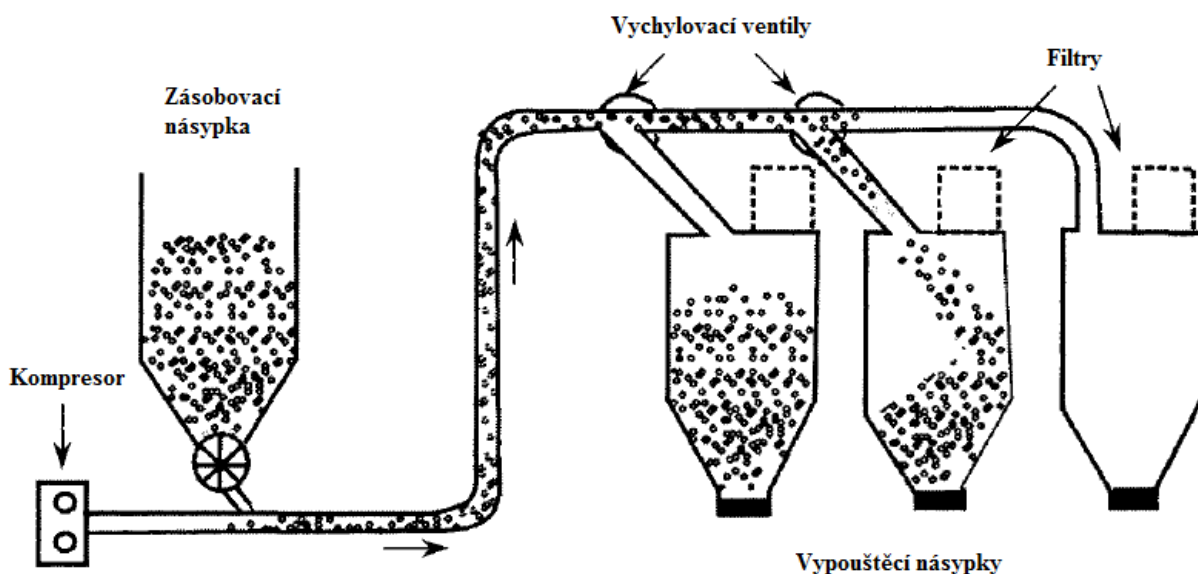


1.2 OTEVŘENÉ SYSTÉMY

Pokud se nepřepřavují materiály, které jsou nebezpečné a vyžadují zvýšenou pozornost, pak nejčastější volbou jsou systémy otevřené. Jejich největší výhodou jsou nižší stavební náklady a komplexnost využití. Tímto způsobem se dá přepravovat široké spektrum materiálů, dokonce i hořlavé materiály. [1]

1.2.1 PŘETLAKOVÉ SYSTÉMY

Přetlakové systémy jsou pravděpodobně nejčastěji se vyskytujícím typem pneumatických dopravníků, ačkoliv přetlak způsobuje v potrubí značné problémy. Na druhou stranu, tento typ má řadu využití, dá se použít pro vertikální i horizontální přenos materiálů, i pro horizontální a vertikální ventily. Se zapojením vychylovacích ventilů se dá materiál dopravit na několik míst nebo z několika míst sbírat. Při přenosu materiálu na jedno místo stačí změnit postup zapojení, viz Obr. 4. Jestliže jsou v obvodu zapojeny vychylovací ventily, je nutné sledovat, aby prosakování přes tyto ventily nezpůsobilo nadměrné ztráty tlaku a materiál by se nedal dále přenášet. Pro přenos materiálu na větší vzdálenosti je třeba využít sériového uspořádání dmychadel, což zajistí po celé délce dostatečný tlak. [1]



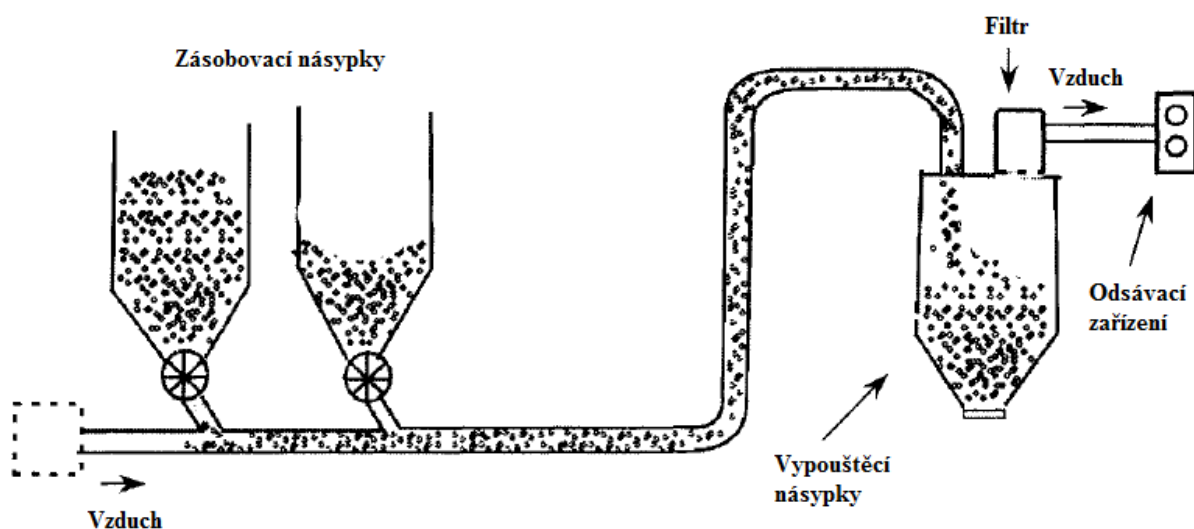
Obr. 4 Schéma zapojení přetlakových systémů [1]

1.2.2 PODTLAKOVÉ SYSTÉMY

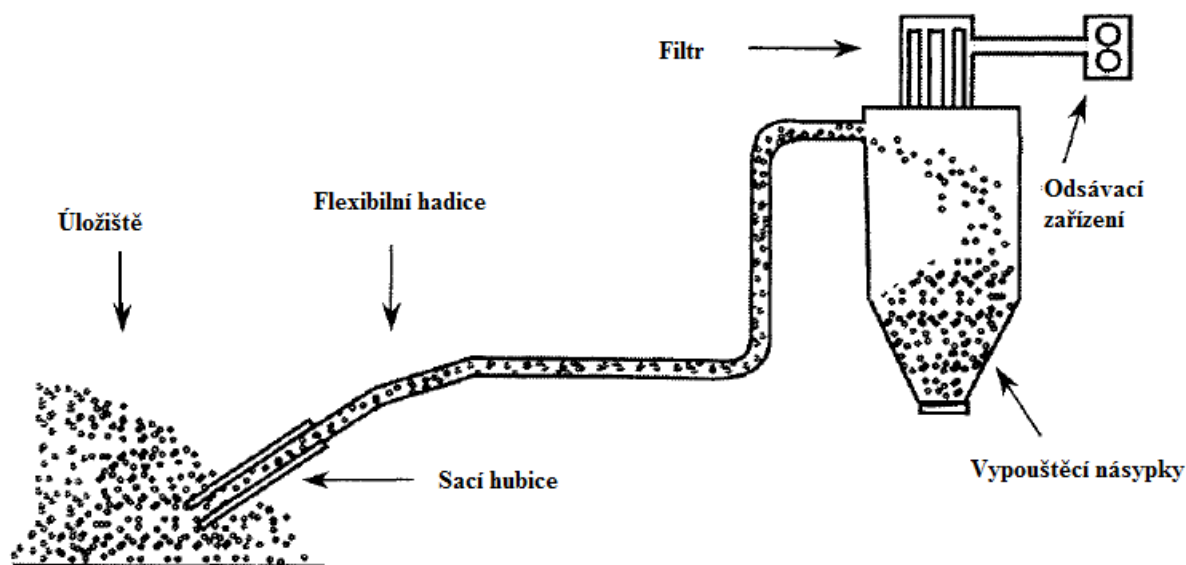
Hlavní využití podtlakových systémů je tam, kde je větší množství sběrných míst a materiál je třeba dopravit na jedno místo nebo v případě otevřeného skladiště, kdy je potřeba materiál odčerpat do námi určeného místa. Odsávací zařízení je umístěno na konci celého obvodu viz Obr. 5. Pro přepravu se nejčastěji využívá podtlaku nebo vakua. Podtlakové systémy se využívají pro nakládání materiálu, vykládání lodí, centrální vysavače, odsávače atd. U těchto systémů je důležité umístění filtru před odsávacím zařízením, který zadržuje nečistoty a prodlužuje životnost odsávacího zařízení. [1]

Nevýhodou tohoto systému je, že v případě přenosu materiálu na větší vzdálenosti je třeba umístit více odsávacích zařízení stupňovitě za sebou. Toto uspořádání je nutné pro dosažení dostatečného tlaku k přenosu. V případě, že se použije jenom jedno odsávací zařízení, tlak musí být nekonečně malý. Není možné dosáhnout nižšího tlaku než vakua. [1]

Výhodou tohoto systému je, že veškerý vzduch je uvnitř systému, což znamená, že vypouštění prachu a přepravovaných materiálů do ovzduší je téměř nulové. Z tohoto důvodu se využívá pro přepravu nebezpečných látek. [1]



Obr. 5 Typické zapojení podtlakových systémů [1]



Obr. 6 Ukázka využití podtlakových systémů z otevřeného úložiště [1]

Ukázka několika komponent podtlakových systémů je v příloze P 1.

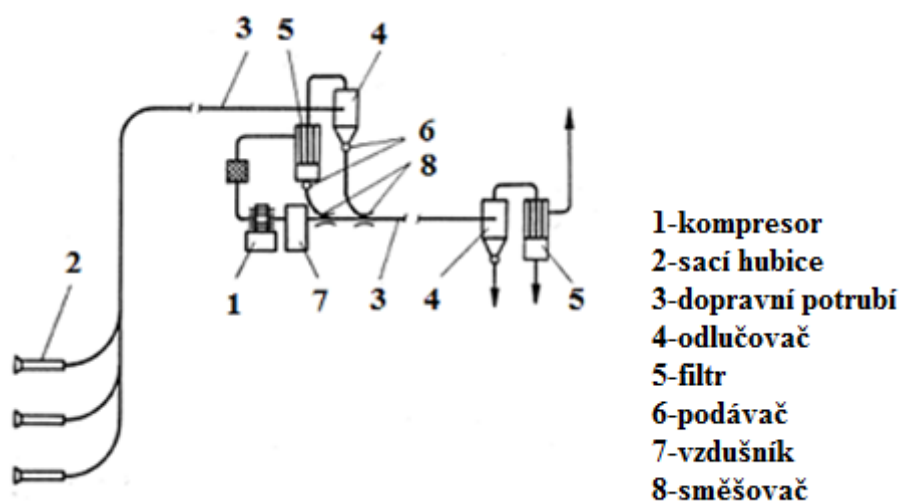


1.2.3 KOMBINACE PODTLAKOVÝCH A PŘETLAKOVÝCH SYSTÉMŮ

Na Obr. 8 je zapojení kombinovaného obvodu, který funguje jako odsávací a dmýhací zařízení zároveň. Z levé větve odsává vzduch a využívá podtlaku pro přenos materiálu. V pravé větvi využívá přetlaku pro přenos materiálu. Vychylovací ventily slouží k vykládce na několika místech. Pro odsávací a dmýhací zařízení je třeba použít dva filtry. První je potřeba umístit před odsávací zařízení a druhý k vyskladňovacímu místu. Filtry slouží k zabránění vniknutí prachu a nečistot do kompresní a dmýhací jednotky. [1]



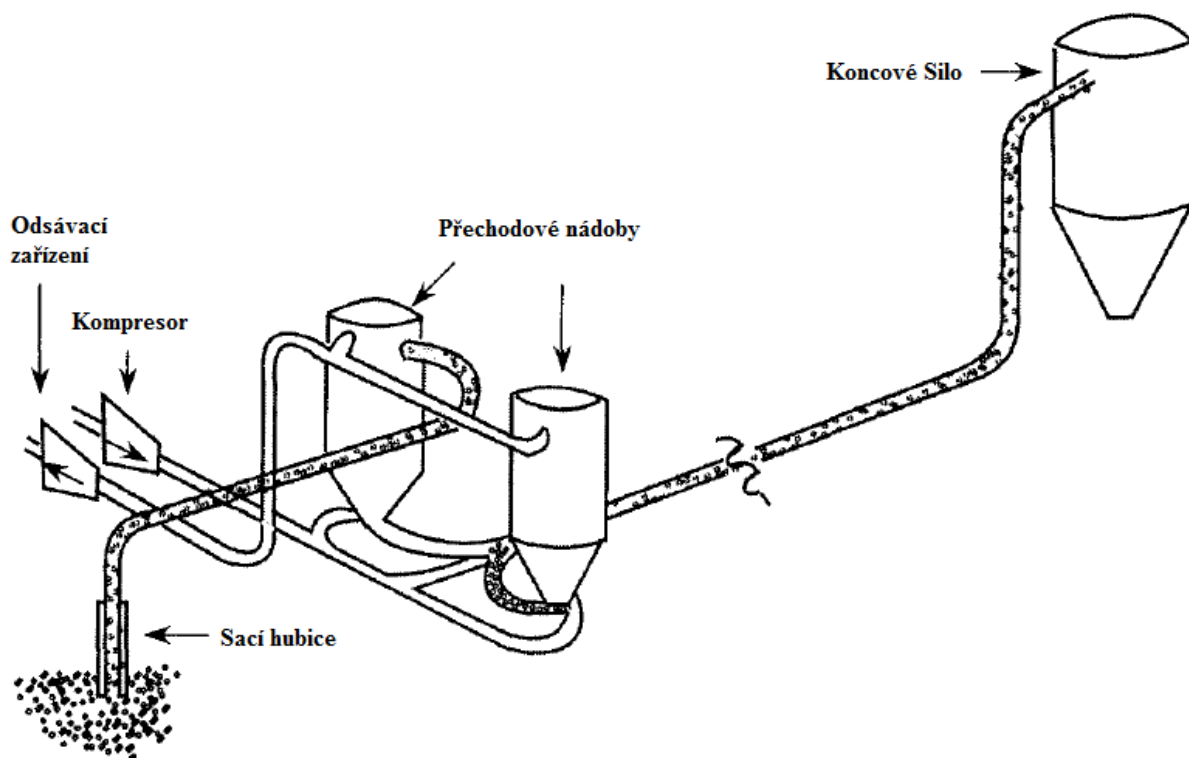
Obr. 7 Ukázka využití kombinované pneumatické dopravy v praxi [8]



Obr. 8 Schéma kombinované pneumatické dopravy [2]

1.2.4 DUÁLNI VYUŽITÍ PODTLAKOVÝCH A PŘETLAKOVÝCH SYSTÉMŮ

Jestliže je materiál brán z otevřeného úložiště, pak je tento systém vhodnou volbou. Při nasávání materiálu se využívá podtlaku. V druhé části dopravníku se využívá přetlaku, který posouvá materiál na námi požadované místo. Tento typ se dá nejčastěji vidět při vykládání nákladních lodí. [1]



Obr. 9 Duální zapojení podtlakového a přetlakového systému [1]

1.3 PŘENOSNÉ SYSTÉMY

Obvykle, když se mluví o pneumatických dopravnících, pak je řeč o systémech fixních neboli umístěných na jednom místě. V této části je zmínka i o mobilních (přenosných) systémech. Hlavním zástupcem této skupiny jsou podtlakové systémy, které využívají dlouhé ramena s flexibilními hadicemi, na konci těchto ramen jsou sací hubice. Tento způsob přepravy se využívá při vykládání materiálu z lodí, při přemísťování materiálu z otevřených úložišť atd. Nejčastěji se přepravuje materiál v sypkém stavu, ale často dochází k jeho balení, pytlování a jiným formám balení a uskladňování. Dále jsou uvedeny tři hlavní zástupci přenosných systémů používaných k přepravě materiálu. [1]

1.3.1 SILNIČNÍ PŘEPRAVA

Prvním a velice důležitým zástupcem je silniční přeprava. Tímto způsobem se převáží materiály jako cement, mouka, cukr, polyetylen a mnoho dalších. Mnoho vozidel uzpůsobených pro přepravu těchto materiálů má vlastní dopravník, který funguje nezávisle na



dopravnicích v místě nakládky nebo vykládky. Pro vyskladnění se používá naklonění přívěsu a zapnutí rotačních lopatek, který materiál vytlačí z přívěsu. Druhou možností je prostor přetlakovat a ten způsobí vytlačení materiálu na potřebné místo. Přívěsy jsou obvykle tlakovány na hodnotu kolem 100 kPa. [1]

1.3.2 ŽELEZNIČNÍ PŘEPRAVA

Velmi se podobá silniční přepravě, u tohoto způsobu se častěji používá přetlakování nádrží, obvykle kolem 207 kPa. Výhodou je i mnohonásobný výklad materiálu. Vagony mají dno navržené s určitým klesáním k místu výkladky (5-10°), aby došlo k snadnějšímu vyskladnění materiálu, často se následně používá i výplach vodou. [1]

1.3.3 LODNÍ PŘEPRAVA

Ukázka vykládání materiálů je na Obr. 10. Velké nákladní lodě mají vykládací systémy přímo na palubě. Nasávací hubice čerpají materiál. Diesellové kompresory ho pohánějí do zásobníku v docích, odkud je dále využíván. [1]



Obr. 10 Ukázka vykládání lodi v přístavu Los Angeles [9]



2 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI OVLIVŇUJÍCÍ PŘEPRAVU

Podle materiálových charakteristik se musí navrhnout daný pneumatický dopravní systém. Je třeba si uvědomit, že ne všechny materiály se dají přepravovat stejným způsobem. Může dojít k poškození zrn, k poškození dopravníku a dalším poruchám. Zde je uveden stručný přehled důležitých vlastností materiálu. [1]

2.1 SOUDRŽNOST, PŘILNAVOST

Tato charakteristická vlastnost působí největší problémy při vysypávání, dávkování do potrubí i při vlastním přenosu. Nejvhodnějším systémem jsou inovační systémy, například pulzující fázový systém viz 5.1. V běžném provozu bývá nejčastějším problémem přilnutí k povrchu rotačních ventilů, z toho důvodu se používají tzv. profukovací systémy viz 5.2 a 5.3. [1]

2.2 HOŘLAVOST

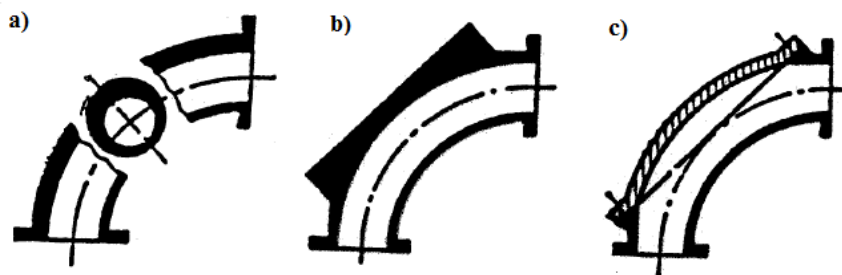
Mnoho materiálu má schopnost samovznícení a dobrého hoření při vyšších teplotách a za dostatečného přístupu vzduchu. Mezi takové materiály patří nejen uhlí a dřevo, ale i cukr, mouka, kakao, syntetické materiály jako jsou plasty, chemické a farmaceutické materiály, kovové prášky. Pokud se využívá uzavřený systém, poté je vhodnou alternativou použití dusíku. V případě využití otevřeného systému je třeba pneumatický dopravník opatřit adekvátními bezpečnostními opatřeními, např. ventily a jinými bezpečnostními prvky. [1]

2.3 ELEKTROSTATIKA

Při přenosu materiálu se na povrchu přenášených částic vždy vytváří elektrostatické napětí, nejčastěji z důvodu vysoké vzdušné vlhkosti. Tato situace nenastává pouze v uzavřených systémech. Pokud je přenášen hustější materiál, není potřeba upravovat vlhkost vzduchu, protože množství vzduchu mezi jeho molekulami je dostatečně nízké a elektrostatické napětí tam nevzniká. Toto je způsob, jak ušetřit peníze, protože nejsou potřeba žádné dodatečné úpravy vzduchu. [1]

2.4 EROZIVNÍ MATERIÁLY

Jestliže má přemísťovaný materiál vyšší tvrdost, než mají komponenty pneumatického dopravníku, hlavně kolena trubek, různé záhyby, ventily a podavače, pak vzniká mechanickým působením eroze na těchto součástkách. Největší vliv na erozi materiálu má rychlost proudění. Proto je snahou využívat systémy, které mají přenosovou rychlost o něco nižší. Dalším problematickým aspektem je sypký nebo zředěný materiál. V takovýchto případech by měly být vyztuženy nejvíce namáhané části. Ukázky vyztužení jsou na Obr. 11. [1]



Obr. 11 Ukázky vyztužení oblouků potrubí [2]

2.5 VLHKOST

Materiály, které obsahují vysokou vlhkost nebo jsou mokré, mají vysokou schopnost ucpávat potrubí a násypky. Nejlepším způsobem pro přepravu takovýchto materiálu je užívání předeřátého vzduchu, který tento problém dokáže částečně vyřešit. Vlhké materiály jsou opravdovým problémem pro plynulý přenos materiálu. [1]

2.6 DROBIVOST

Je důležité, aby během přenosu nedocházelo k degradaci přenášeného materiálu. Největším problémem při přenosu těchto materiálů je otírání materiálu o stěny přepravních systémů, k nejvyššímu otěru dochází v místech ohybů a změn směru. K velkým otěrům dochází i v místech, kde se materiál dostává do soustavy a kde soustavu opouští. [1]

2.7 ZRNITOST

Při přenosu příliš zrnitého materiálu proudící vzduch prochází kolem zrněk a v nedostatečné míře nadlehčuje přenášený materiál. Jestliže se využije ideálního zhoustnutí, pak je přenos rychlejší a dochází k menším ztrátám. [1]

2.8 HYGROSKOPICKÉ MATERIÁLY

Pro přenos tohoto typu materiálu se musí materiál prvně částečně usušit a až poté se může přenášet. Obvykle není zapotřebí využít uzavřeného systému. Jestliže se přenáší materiál jenom mírně hygroskopický, pak je nejlepší ho přemísťovat v husté formě. [1]

2.9 RADIOAKTIVITA A TOXICITA

Přenos radioaktivních a toxických materiálů musí probíhat za zvýšené bezpečnosti, tedy výhradně v uzavřených soustavách, kde se s těmito materiály dá lépe pracovat a jejich přenos lze kontrolovat. Nejčastěji jsou přepravovány podtlakovými systémy, kvůli zabránění úniku



do atmosféry. Z toho důvodu se používají jiné filtry než při běžné přepravě. Některé z těchto materiálu jsou velmi abrazivní a poškozují přenosovou soustavu. [1]

2.10 MATERIÁLY TAJÍCÍ PŘI NÍZKÝCH TEPLOTÁCH

Při přenosu materiálu dochází k tření mezi materiálem a přepravovací soustavou, v těchto místech dochází ke kumulaci tepelné energie a změně přepravních podmínek. Toto tření probíhá obvykle lokálně, v místech, kde je ohyb, zúžení nebo jakákoliv jiná změna směru. Některé materiály, jako nylon, polyetylen nebo polystyren jsou náchylné k tání. Pak v místech, kde dochází ke zvyšování teplot, se tvoří blokády. Je důležité, aby se při návrhu dopravníků pokud možno zredukovali tyto nebezpečná místa. [1]

Přepravní rychlost je nejdůležitější složkou při přepravě materiálů. Je nutné zvolit pro každý materiál vhodnou rychlost a přepravovat ho ve vhodném stavu. Některé materiály je vhodné přepravovat ve zředěné a některé v husté formě. [1]

Pro snížení vnitřního tření se může použít zdrsňení vnitřního povrchu přepravovací soustavy, poté nedochází k tak výraznému tření ve formě klouzání. [1]



3 VÝPOČTOVÉ VZTAHY

Pro výpočet je třeba znát vlastnosti materiálu:

- Materiálové charakteristiky,
- průtočné množství – Q_V s jednotkou [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$],
- délku trasy – l s jednotkou [m].

Pro přepravovaný materiál navrhne přenosovou soustavu, kde hledáme:

- Potřebné průtočné množství vzduchu nebo jiného plynu – V_V s jednotkou [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
- průměr potrubí – D s jednotkou [mm],
- tlak vzduchu – p s jednotkou [Pa],
- tlakové ztráty – Δp s jednotkou [Pa].

3.1 SMĚŠOVACÍ POMĚR

Označuje se δ , vyjadřuje poměr dopravovaného materiálu k průtočnému množství vzduchu. Hodnoty δ závisí na vedení trasy, na druhu dopravovaného materiálu a na rovnoměrnosti podávání. Součinitel δ je konstantní pro celou dopravní trasu. [2]

Rovnice směšovacího poměru [2]:

$$\delta = \frac{Q_V \cdot \rho}{3600 \cdot V_V \cdot \rho_{VZ}} \quad [-], \quad (1)$$

kde Q_V – dopravované množství materiálu [$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$],
 ρ – objemová hmotnost materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
 V_V – potřebné průtočné množství vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 ρ_{VZ} – měrná hmotnost vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

V příloze P 2 a P 3 jsou na diagramech hodnoty směšovacího poměru δ pro přetlakové a podtlakové systémy.

Pro orientační výpočet můžeme použít tyto hodnoty:

$\delta = 1-5$ pro podtlakovou a nízkotlakovou přetlakovou dopravu,
 $\delta = 5-30$ pro středotlakovou přetlakovou dopravu,
 $\delta = 30-100$ (až 400) pro vysokotlakovou přetlakovou dopravu.

3.2 EKVIVALENTNÍ (REDUKOVANÁ) DÉLKA POTRUBÍ

Ekvivalentní redukovaná délka je vyjádřena vztahem [2]:

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



kde l_{iR} – délka i-tého přímého úseku, [m],
 l_{j0} – ekvivalentní délka j-tého oblouku, [m], hodnoty jsou v Tab. 1,
 l_{kP} – ekvivalentní délka k-tého příslušenství, [m].

Tab. 1 Ekvivalentní délka l_{j0} (m) oblouků 90°

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

3.3 VZNÁŠECÍ RYCHLOST

označení v_{vz} . Vznášecí rychlost se obvykle určuje experimentálně, pokud je pro daný materiál dostačující, tak materiál se vznáší v proudu vzduchu.

Vzorec vznášecí rychlosti [2]:

$$v_{vz} = c_1 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_{vz}}} \cdot u_m \quad [m \cdot s^{-1}], \quad (3)$$

kde u_m – velikost zrn dopravovaného materiálu [m],
 c_1 – obtokový součinitel, závisí na tvaru, velikosti a povrchu částic [-], hodnoty jsou v Tab. 2.

Tab. 2 Hodnoty součinitele c_1 [2]

u_m	c_1 [-]
$1 \cdot 10^{-5} \text{ m}$	10
$1 \cdot 10^{-5} \text{ m} < u_m < 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$	$10 + 34000 u_m$
$5 \cdot 10^{-5} \text{ m} < u_m < 7 \cdot 10^{-5} \text{ m}$	170

Vznášecí rychlost se obvykle určuje experimentálně. Orientačně je pro:

Tab. 3 Vznášecí rychlost pro vybrané druhy materiálů [2]

Materiál	ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	v_{vz} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
obiloviny	650÷830	9,0
kuchyňská sůl	850	6,7



soda	950	13,0
hnědé uhlí	650	10,6

3.4 RYCHLOST VZDUCHU

Rychlost vzduchu není v potrubí konstantní, je nepřímo úměrná tlaku vzduchu [2]:

$$v_V \sim \frac{1}{p_V} \quad [m \cdot s^{-1}], \quad (4)$$

kde v_V – rychlost vzduchu [$m \cdot s^{-1}$],
 p_V – tlak vzduchu [Pa].

Tlak vzduchu vlivem tlakových ztrát klesá, což má za následek, že rychlost vzrůstá. V úseku, kde je tlak přibližně roven atmosférickému tlaku, se nachází výstupní část potrubí z přetlakových soustav a vstup do sací hubice z podtlakových soustav.

Rychlost vzduchu je vyjádřena vzorcem [2]:

$$v_V = c_2 \cdot \sqrt{\rho_{VZ} \cdot g} + c_3 \cdot l^2 \quad [m \cdot s^{-1}], \quad (5)$$

$$c_3 = (2 \div 5) \cdot 10^{-5} \quad [m^{-1} \cdot s^{-1}], \quad (6)$$

kde c_2 – součinitel zrnitosti [$m^2 \cdot kg^{-1/2}$],
 c_3 – součinitel, pro prašné a sypké materiály platí nižší hodnoty [$m^{-1} \cdot s^{-1}$],
 l – délka potrubí [m],
 ρ_{VZ} – měrná hmotnost vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$].

Tab. 4 Hodnoty součinitele zrnitosti c_2

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

Množství vzduchu potřebného pro dopravu materiálu se vyjádří ze vztahu [2]:

$$V_V = \frac{Q_V}{3600 \cdot \delta} \cdot \frac{\rho}{\rho_{VZ}} \quad [m^2 \cdot s^{-1}], \quad (7)$$

kde Q_V – dopravované množství materiálu [$m^3 \cdot h^{-1}$],
 ρ – objemová hmotnost materiálu [$kg \cdot m^{-3}$],
 ρ_{VZ} – měrná hmotnost vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$].



Průměr potrubí vypočítáme ze vztahu [2]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_v}{\pi \cdot v_v}} \quad [m], \quad (8)$$

kde V_v – množství vzduchu potřebného pro přenos [$m^3 \cdot s^{-1}$],
 v_v – rychlost vzduchu [$m \cdot s^{-1}$].

3.5 TLAK V POTRUBÍ

3.5.1 ABSOLUTNÍ TLAK

Je vždy na začátku potrubí u zdroje tlakového vzduchu, u přetlakových soustav platí [2]:

$$p_o = 10^5 \cdot \sqrt{1 + \frac{\vartheta \cdot \delta \cdot l \cdot v_v^2}{d}} + p_h \quad [Pa], \quad (9)$$

kde δ – směšovací poměr [-],
 l – délka potrubí [m],
 v_v – rychlost vzduchu [$m \cdot s^{-1}$],
 d – průměr potrubí [m],
 p_h – tlak [Pa].

Tlak p_h je popsán vztahem [2]:

$$p_h = h \cdot \rho_{vz} \cdot g \cdot \delta \quad [Pa], \quad (10)$$

kde h – dopravní výška [m],
 ρ_{vz} – měrná hmotnost vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$],
 g – tíhové zrychlení [$m^2 \cdot s^{-1}$],
 δ – směšovací poměr [-].

Závislost ϑ je vyjádřena vztahem [2]:

$$\vartheta = f(j), \quad (11)$$

kde

$$j = \frac{\delta \cdot l \cdot v_v^2}{d} \quad [m^2 \cdot s^{-2}], \quad (12)$$

kde δ – směšovací poměr [-],
 l – délka potrubí [m],



v_v – rychlost vzduchu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
 d – průměr potrubí [m].

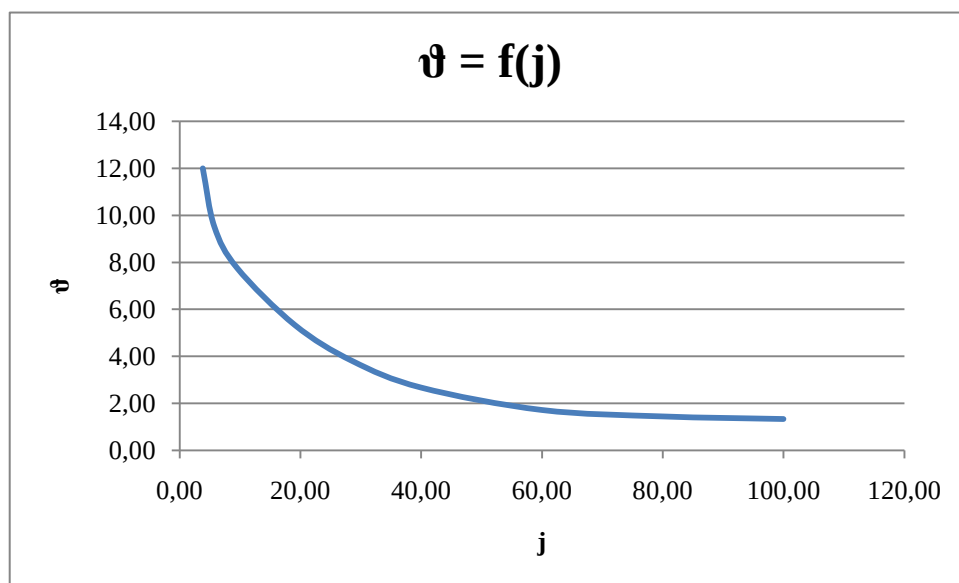


Diagram 1 Závislost $v=f(j)$ [2]

3.5.2 PRACOVNÍ TLAK

Je u přetlakových systémů popsán vztahem [2]:

$$p_P = p_0 + p_Z \quad [\text{Pa}], \quad (13)$$

kde p_0 – absolutní tlak [Pa],
 p_Z – tlaková ztráta mezi zdrojem tlaku a dávkovacím zařízením [Pa].

3.5.3 TLAKOVÉ ZTRÁTY U PNEUMATICKÝCH DOPRAVNÍKŮ

Při aerodynamickém výpočtu se musí určovat tlakové ztráty dopravního okruhu. Okruh se rozdělí na n -částí, vždy podle konkrétní situace. Ztráty se počítají jako součet místních ztrát a ztrát způsobených třením dle vztahu [2]:

$$p_Z = \sum_1^4 \left(\xi_{SM} \cdot \frac{v_V^2}{2} \cdot \rho_{VZ} \right) + \sum_1^4 \left[\lambda_{SM} \cdot \frac{l}{d_e} \cdot \frac{v_V^2}{2} \cdot \rho_{VZ} \cdot \left(\frac{T_n}{T_{ST}} \right)^{0,57} \right] \quad [\text{Pa}], \quad (14)$$

kde ξ_{SM} – součinitel místního odporu [-],
 v_v – rychlost proudění vzduchu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
 ρ_{VZ} – měrná hmotnost vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
 λ_{SM} – součinitel tření směsi [-],
 d_e – ekvivalentní průměr potrubí [m],



T_n – střední hodnota absolutní teploty nosného média v daném úseku [K],

T_{ST} – střední hodnota absolutní teploty stěny v daném úseku [K].

ξ_{SM} – součinitel místního odporu je popsán vztahem [2]:

$$\xi_{SM} = \xi \cdot (1 + 0,8 \cdot \delta) \quad [-], \quad (15)$$

kde ξ – součinitelé pro čisté, nosné médium (vzduch) jsou uvedeny v příloze P 4 a P 5,
 δ – směšovací poměr [-].

λ_{SM} – součinitel tření směsi je definován [2]:

$$\lambda_{SM} = \lambda \cdot (1 + \delta) \quad [-], \quad (16)$$

kde λ – součinitel tření vzduchu [-],
 δ – směšovací poměr [-].

Pro potrubí $d > 200\text{mm} \rightarrow \lambda=0,03$
 $d > 400\text{mm} \rightarrow \lambda=0,04$

d_e – ekvivalentní průměr potrubí je popsán vztahem [2]:

$$d_e = \frac{4 \cdot S}{o} \quad [m], \quad (17)$$

kde S – průměr potrubí [m^2],
 o – obvod potrubí [m].

3.5.4 PŘÍKON ZDROJE TLAKOVÉHO VZDUCHU

Příkon zdroje tlakového vzduchu se stanoví ze vztahu [2]:

$$P = \frac{A_i \cdot V_P}{\mu_C} \quad [W], \quad (18)$$

kde A_i – měrná práce při izotermické kompresi [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$],
 V_P – množství vzduchu potřebného pro příkon zdroje [m^3],
 μ_C – celková účinnost zdroje, obvykle 0,6-0,8 [-].

Pro přetlakové systémy platí [2]:

$$A_i = 225553 \cdot p_A \cdot \log \frac{p_P}{p_A} \quad [J \cdot m^{-3}], \quad (19)$$

kde p_A – atmosférický tlak = 101325 Pa.



Pro podtlakové systémy platí:

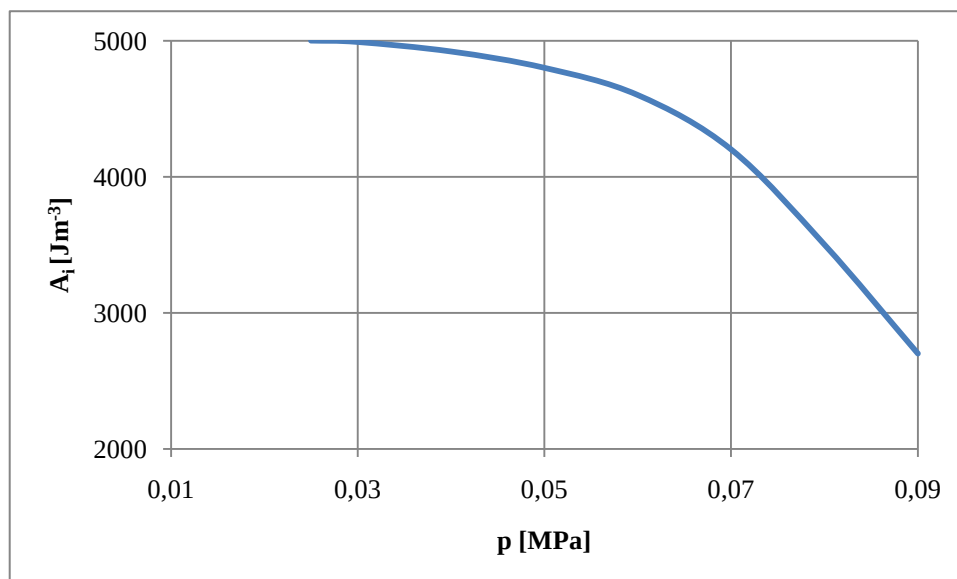


Diagram 2 Závislost $A_i=f(p)$ u podtlakových systémů. Měrná práce při izotermické kompresi u podtlakových systémů [2]

V_p – množství vzduchu potřebného pro příkon zdroje

$$V_p = 1,1 \cdot V_v \quad [m^3 \cdot s^{-1}], \quad (20)$$

kde V_v – množství vzduchu potřebného pro přenos $[m^3 \cdot s^{-1}]$.



4 POTRUBNÍ POŠTA

V současné době hojně využívaný přepravní systém, převážně ve zdravotnictví, lékárnách, průmyslových podnicích, supermarketech, peněžních ústavech a všude tam, kde je potřeba vzorky, léky, výrobky, dokumenty, peníze apod. přepravovat mezi objekty na různé vzdálenosti v budovách, v nadzemí, v podzemí, v kolektorech. [4]

Pneumatické dopravní systémy dopravující materiál v nádobách jsou známy pod označením „potrubní pošta“. Používají se pro různé účely. Pracovní rychlosti jsou od $0,2-15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Kódovací systémy umožňují zasílání zásilek na různé předem určené adresy. [2]

Pracovní rychlost $v = 0,2 - 15 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$.

Potrubní poštu vynalezl Denis Papin a první městský systém vznikl v Londýně v polovině devatenáctého století. Po Vídni či Paříži začala potrubní pošta fungovat v roce 1899 i v Praze. Vydržela až do povodní v roce 2002. [5]

4.1 PRINCIP FUNGOVÁNÍ

Princip potrubní pošty se příliš nezměnil ani po více než sto padesáti letech. Dmychadla podle potřeby ženou nebo naopak vysávají, vzduch v potrubí. [5]

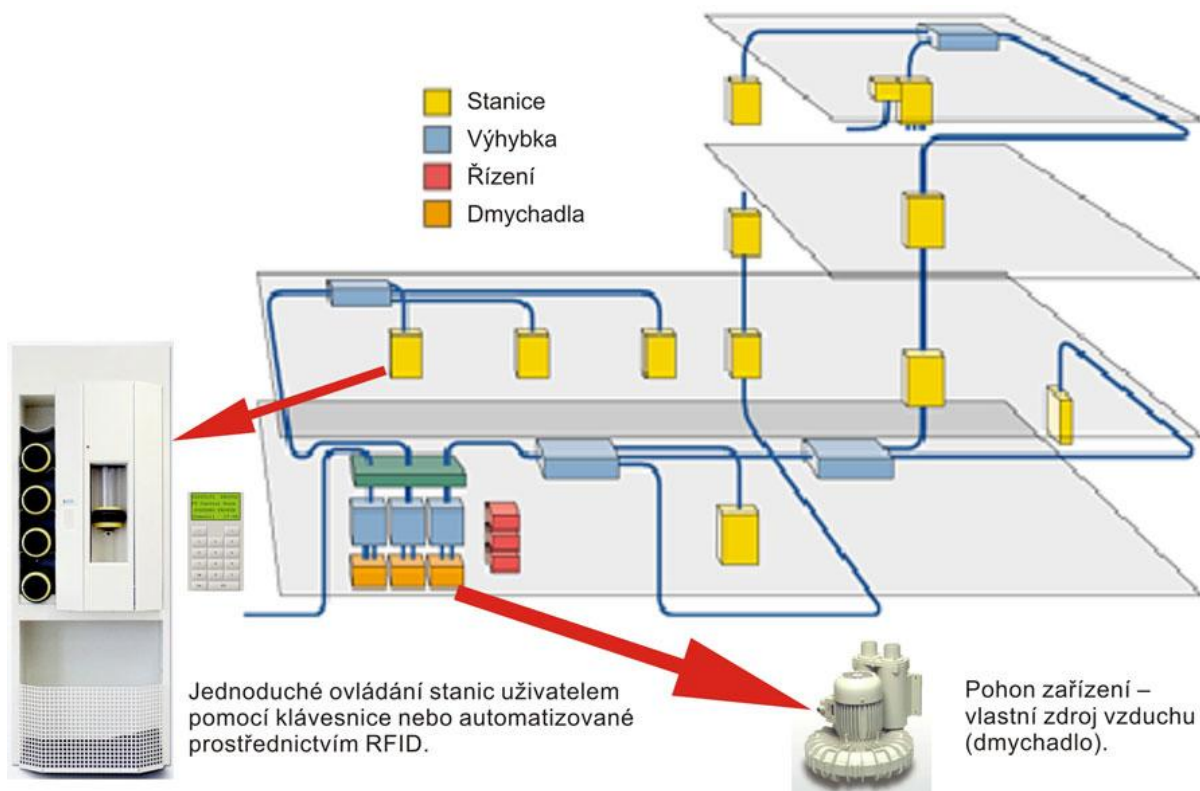
Např. Pražská potrubní pošta:

Ocelové roury potrubí mají vnitřní průměr 65 milimetrů, hliníkové pouzdro má vnější průměr 50 milimetrů a délku 215 milimetrů. Pracovní tlak vzduchu v potrubí je 0,14 až 0,16 MPa. V jednom pouzdře jde přepravovat náklad o hmotnosti až 3kg a může se pohybovat rychlostí až 36 km/h. Celková délka potrubí, které je skryto přibližně jeden metr pod úroveň terénu, je úctyhodných 55 kilometrů. [6]



Obr. 12 Pražská potrubní pošta [6]

4.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obr. 13 Schéma zapojení potrubní pošty [4]



Obr. 14 Hlavní rozvodná centrála [4]



Obr. 15 Ukázka vykládací stanice [4]

4.3 INOVACE

Kombinací prastaré potrubní pošty a moderní magnetické levitace neboli vznášení na magnetickém polštáři vzniká nový způsob dopravy. [7]

Výsledkem by měl být potrubní systém, který dopravuje menší náklady. Dal by se využít zejména ve starobylých městech, v nichž běžná doprava překáží v ulicích, v obchodních centrech a ve velkých podnicích pro urychlení přesunu zásilek, ale i pro přepravu zboží na delší vzdálenosti. [7]

Franco Cotana, profesor aplikované fyziky na italské univerzitě v Perugii, se potrubní poštou inspiroval. Ani on samozřejmě nepřemýšlí o posílání zpráv. Místo toho navrhuje systém s potrubím o průměru 60 centimetrů, v němž se mohou prohánět zásilky až o hmotnosti 50 kilogramů. Na to by stlačený vzduch nestačil, ale profesor Cotana s ním stejně nepočítá. Využívá systém magnetické levitace, známý pod zkratkou maglev zejména podle vlaků, které jezdí v čínské Šanghaji a v japonském Ajči a jež jsou v dalších zemích alespoň v pokusném provozu. [7]

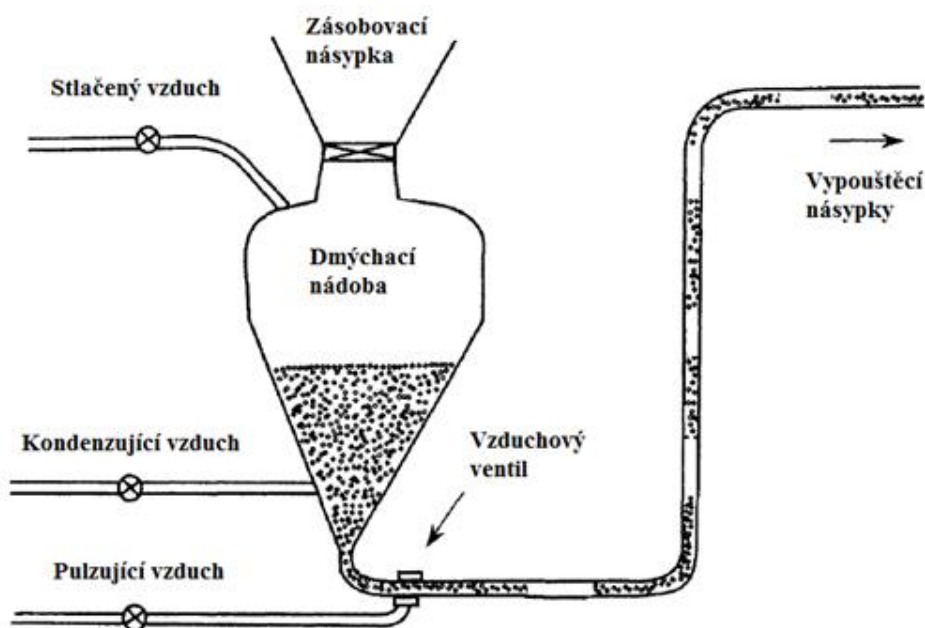
5 INOVAČNÍ SYSTÉMY V PNEUMATICKÉ DOPRAVĚ

Obvyklé metody uvedené výše nejsou vhodné pro přenos materiálů, které jsou abrazivní nebo drobné. Problémem přenosu těchto materiálů je forma, v které je přenášet. Často se totiž nedají ztuhnout natolik, aby je bylo možné přenášet. Jestliže se přenáší hořlavý materiál, pak kolena a celé potrubí jsou velmi namáhány. V případě, že je přenášen mírně hygroskopický materiál, pak se díky novým technologiím nemusí sušit. Je možné ho přenášet přímo v dané formě. Při přenosu potravin je nutné pozorovat, jestli nedochází k jejich degradaci, např. na chuť nebo ke ztrátě aroma. Inovační systémy vznikly jako důsledek vývoje pneumatických dopravníků. Jsou potřebné pro větší dopravní vzdálenosti, pro rychlejší přenos materiálu. [1]

Výhodou inovačních systémů je jejich možné zastavení a opětovné nastartování během přenosu. Toto není u obvyklých systémů možné, odstavení by mělo za následek ucpání potrubí a jeho složité a dlouhotrvající čištění. I když inovační systémy dokážou přenášet hustější materiály, jejich energetická náročnost je nižší než u systémů, které přenášejí zředěný materiál. Prvotní náklady na pořízení inovačních systémů jsou sice vyšší, ale mají širší spektrum užití a jsou energeticky méně náročné. [1]

5.1 PULZUJÍCÍ FÁZOVÉ (ZÁTKOVÉ) SYSTÉMY

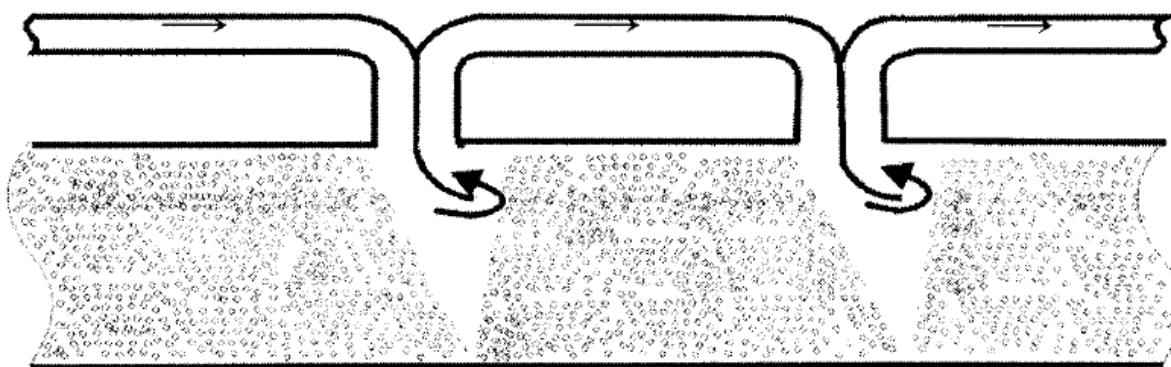
V 60. letech 20. století byly vymyšleny pulzující systémy. Typické schéma zapojení je ukázáno na Obr. 16. Na začátku potrubí je umístěn vzduchový ventil, který přerušovaně pouští vzduch do potrubí, což materiál hutní do jednotlivých tzv. zátek. Systém je navržen tak, že pro pohánění zátek v celé délce přenosu je nutné jen jedno dmychadlo. Tento typ dopravníku byl vymyšlen pro přenos soudržných, přilnavých pevných látek, ale později se ukázalo, že se takto dá přenášet daleko širší množství materiálů. [1]



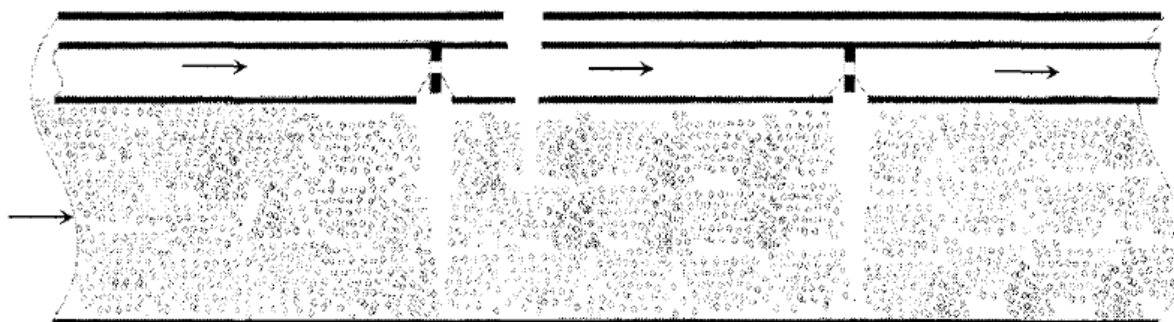
Obr. 16 Schéma pulzujícího fázového systému [1]

5.2 VYNECHÁVAJÍCÍ (BYPASS) SYSTÉMY

V případě tohoto druhu přenosu se využívá potrubí o menším průměru, které je vloženo do potrubí o větším průměru. Po celé délce menšího potrubí jsou v pravidelných intervalech od sebe malé otvory. Toto potrubí není připojeno k vnějšímu zdroji tlaku vzduchu. V případě, že je přenášen materiál, který je neprodyšný, pak tlak v potrubí způsobí jeho přesun. Výhodou přenosu je, že v případě ucpání potrubí se tlak vzduchu dostane za materiál a to způsobí rozdíl tlaků a materiál se pohne dál. Tato výhoda je možná jenom díky tomu, že se pro přenos využívá jen menšího potrubí. [1]



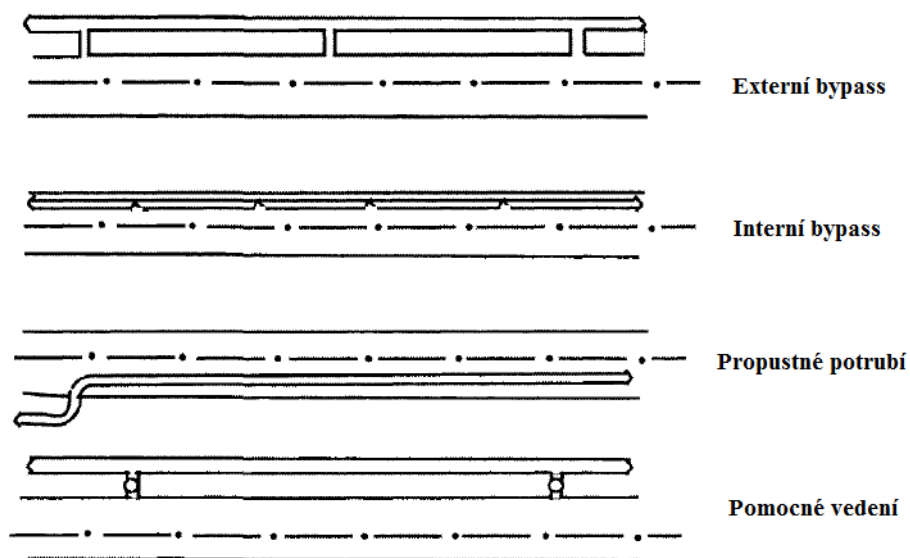
Obr. 17 Schéma proudění externího bypass systému [1]



Obr. 18 Schéma proudění interního bypass systému [1]

5.3 VSTŘIKUJÍCÍ (AIR INJECTION) SYSTÉMY

Pro přenos materiálů na větší vzdálenosti se využívá vstřikování vzduchu do potrubí. Je to z toho důvodu, aby v celé délce potrubí byl dostatečný tlak. Na Obr. 19 jsou ukázány nejčastější způsoby zapojení. Vynechávající systémy zajišťují dostatečnou prodyšnost hustých materiálů. Vstřikování vzduchu do potrubí se využívá pro udržení správné prodyšnosti po celé délce přenosu. Sériovým zapojením vstřikovacích ventilů dochází ke zvýšení průtokové rychlosti na konci potrubí. Z toho důvodu jsou v potrubí umístěny čidla, které udržují konstantní tlak po celé délce.[1]



Obr. 19 Ukázka systémů a jejich kontroly [1]



ZÁVĚR

Tato bakalářská práce rešeršního typu se zabývá studiem pneumatické dopravy materiálu. Je rozdělena do několika částí, které shrnují přehled poznatků v problematice přenosu materiálu pneumatickými dopravníky. Dále jsou v této práci uvedena schémata zařízení a popsány jejich konstrukční uspořádání. V poslední kapitole je ukázka inovačních systémů.

V první části je rozdělení pneumatických dopravníků na otevřené a uzavřené systémy. Dále jsou zde popsány způsoby, jakým se materiál převáží po vodě nebo souši.

Druhý oddíl popisuje přenos jednotlivých materiálů, jak se daný materiál při přenosu chová a jaká je nejlepší forma pro jeho přenos. Jsou zde uvedeny vhodné pneumatické dopravníky pro jednotlivé materiály.

V třetí části jsou výpočtové vztahy, díky kterým jsme schopni navrhnout vhodný dopravní systém i jeho jednotlivé části. Výpočty nám ukážou, na jakou délku můžeme materiál přenášet, jaký tlak zde bude působit, jakou rychlostí se daný materiál bude pohybovat a jaký je potřebný příkon pro daný pneumatický dopravník.

Ve čtvrté části je specifický přenos kusového materiálu, tzv. potrubní pošta. Je zde popsán historický vývoj, princip, jakým tyto systémy fungují. Dále je zde uvedeno schéma a popsáno možné využití těchto systémů.

V poslední kapitole jsou inovační systémy. Tato část obsahuje popis, schémata a jejich výhody. Je zde ukázáno, jakým způsobem se dají přenášet problematické materiály, např. hygroskopické nebo příliš husté, které rády ucpávají některé části potrubí. Jejich obrovskou výhodou je možnost vypnutí a zapnutí v průběhu přenosu.

V dnešní době, nejvíce používané pneumatické dopravníky jsou uzavřené kombinované, které mají nejširší spektrum využití. Výrobci pneumatických dopravních systémů se neustále snaží vylepšovat svá zařízení a tak vznikají inovační systémy. Je třeba říci, že slouží pro přepravu materiálů, které jsou velmi problematické, ať už z hlediska špatné nebo přílišné prodyšnosti nebo vlastní hygroskopičnosti.

Nejlepším možným vývojem pneumatických dopravníků je jejich kombinace s jinými typy dopravníků, např. kombinace pneumatických dopravníků a ohybných šnekových hřídelí pro přenos materiálů do větších dopravních výšek nebo možnosti využití magnetické levitace pro přenos daleko větších potrubních tubusů. Nejdůležitějším aspektem pro přenos materiálu je vždy poměr ceny a energie nutné pro přenos nebo ceny a rychlosti přenosu. Z toho důvodu je důležité snižovat cenu a energii při zachování nebo zvýšení přepravních rychlostí a množství přepravovaného materiálu.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

Knižní zdroje

- [1] MILLS, D., JONES, M., AGARWAL, V.: Handbook of Pneumatic Conveying Engineering, vyd. Marcel Dekker, New York (USA), 2004, ISBN: 0-8247-4790-9
- [2] DRAŽAN, František; JEŘÁBEK, Karel. *Manipulace s materiálem*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1979. 454 s.
- [3] PIVONKA, J. a kol.: Tekutinové mechanismy, SNTL Praha, 1987

Internetové zdroje

- [4] *Potrubka* [online]. 1994 [cit. 2011-04-24]. Přepavní systém potrubní pošta. Dostupné z WWW: <www.potrubka.cz>.
- [5] Potrubní pošta zažívá renesanci. *Sedmíčka* [online]. 17.5.2010, č.1, [cit. 2011-05-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.sedmicka.cz/hradec-kralove/clanek?id=167480>>.
- [6] Pražská potrubní pošta slaví 110. výročí. *Pražský deník* [online]. 2009-03-04, č.1, [cit. 2011-04-24]. Dostupný z WWW: <http://prazsky.denik.cz/zpravy_region/prazska-potrubni-posta-slavi-vyroci-20090304.html>.
- [7] Potrubní pošta ožívá, má přepravovat až půlmetrákové zásilky. *Mladá fronta* [online]. 13.2.2011, č.1, [cit. 2011-05-24]. Dostupný z WWW: <<http://vtm.zive.cz/aktuality/potrubni-posta-oziva-ma-prepravovat-az-pulmetrakove-zasilky>>.
- [8] *Zemědělské potřeby M+S s.r.o.* [online]. 2004 [cit. 2011-04-24]. Nasávací pneumatické dopravníky . Dostupné z WWW: <<http://www.akaska.cz/sdruzeni-ms/pneumaticke-dopravniky-nasavaci.php>>.
- [9] *Roliol* [online]. 2002 [cit. 2011-04-24]. Zařízení a konstrukční řešení systémů pro manipulaci se sypkými materiály . Dostupné z WWW: <<http://www.roliol.com/pages/systemy/manipulace/flexicon/flexicon.pdf?PHPSESSID=3a032a1d863c18fe5469d5b692a6b655>>.
- [10] *Visualphotos* [online]. 2001 [cit. 2011-04-24]. Image. Dostupné z WWW: <http://www.visualphotos.com/image/2x4505778/bulk_ship_with_tugs_and_conveyor_system_at_port_of>.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

μ_C	[-]	Celková účinnost zdroje
A_i	[J·m ⁻³]	Měrná práce při izotermické kompresi
c_1	[-]	Obtokový součinitel
c_2	[m ² ·kg ^{-1/2}]	Součinitel zrnitosti
c_3	[m ⁻¹ ·s ⁻¹]	Součinitel
D	[mm]	Průměr potrubí
d	[m]	Průměr potrubí
d_e	[m]	Ekvivalentní průměr potrubí
h	[m]	Dopravní výška
l	[m]	Délka
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_r	[m]	Ekvivalentní (redukovaná) délka potrubí
o	[m]	Obvod potrubí
p	[Pa]	Tlak vzduchu
P	[W]	Příkon zdroje tlakového vzduchu
p_0	[Pa]	Absolutní tlak
p_A	[Pa]	Atmosférický tlak
p_h	[Pa]	Tlak
p_p	[Pa]	Pracovní tlak
p_v	[Pa]	Tlak vzduchu
p_z	[Pa]	Tlaková ztráta mezi zdrojem tlaku a dávkovacím zařízením
Q_v	[m ³ ·h ⁻¹]	Průtočné množství
r	[mm]	Poloměr potrubí
S	[m ²]	Průřez potrubí
T_n	[K]	Střední hodnota absolutní teploty nosného média v daném úseku
T_{ST}	[K]	Střední hodnota absolutní teploty stěny v daném úseku
u_m	[m]	Velikost zrn dopravovaného materiálu
V_P	[m ³]	Množství vzduchu potřebného pro příkon zdroje
V_v	[m ³ ·s ⁻¹]	Průtočné množství vzduchu
V_v	[m ³ ·h ⁻¹]	Množství vzduchu potřebného pro dopravu materiálu

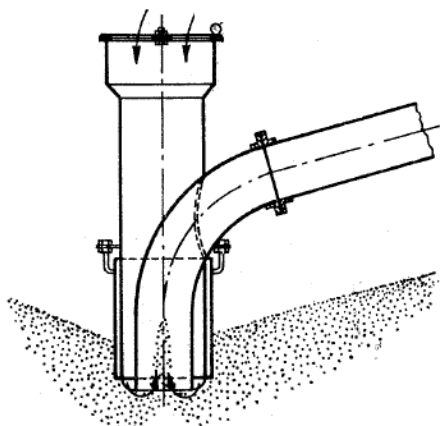


v_{vz}	$[m \cdot s^{-1}]$	Vznášecí rychlost
δ	$[-]$	Směšovací poměr
Δp	$[Pa]$	Tlakové ztráty
λ	$[-]$	Součinitel tření vzduchu
λ_{SM}	$[-]$	Součinitel tření směsi
ξ	$[-]$	Součinitel pro čisté, nosné médium (vzduch)
ξ_{SM}	$[-]$	Součinitel místního odporu
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	Objemová hmotnost materiálu
ρ_{vz}	$[kg \cdot m^{-3}]$	Měrná hmotnost vzduchu



SEZNAM PŘÍLOH

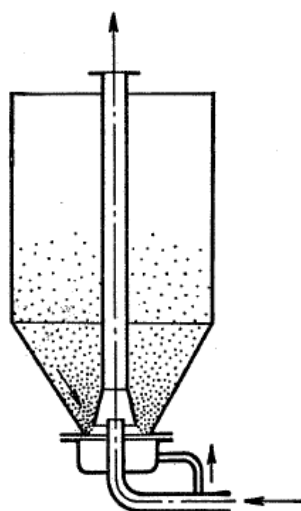
P 1



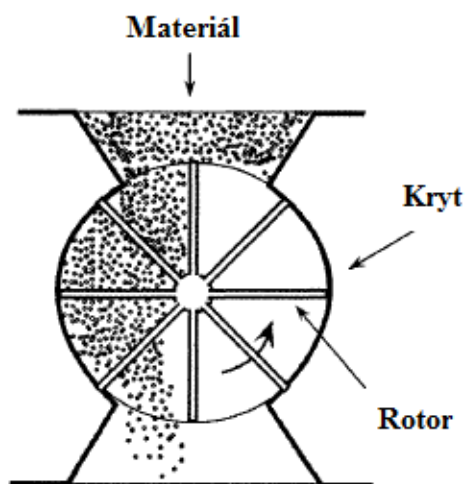
obr:P 1 Sací hubice [2]



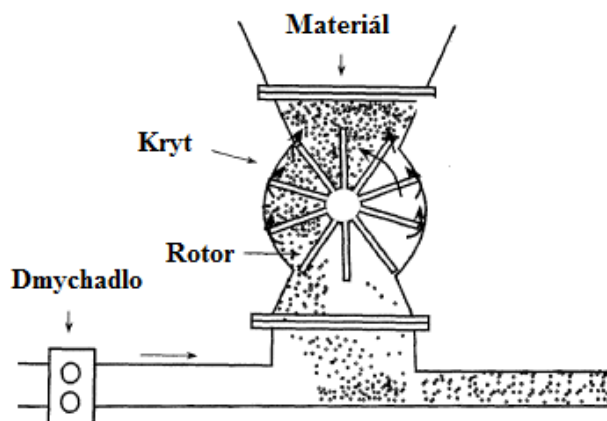
obr:P 2 Univerzální sací hubice [8]



obr:P 3 Gravitační směšovač[2]



obr:P 4 Propouštěcí rotační ventil [3]



obr:P 5 Princip fungování rotačních ventilů [1]



P 2

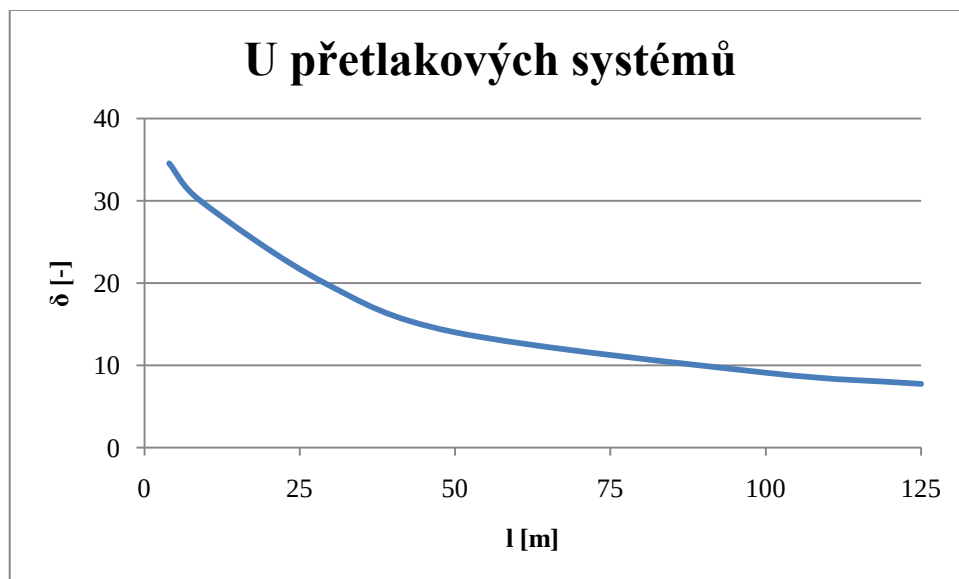


Diagram 3 Závislost směšovacího poměru na dopravní závislosti u přetlakových systémů [2]

P 3

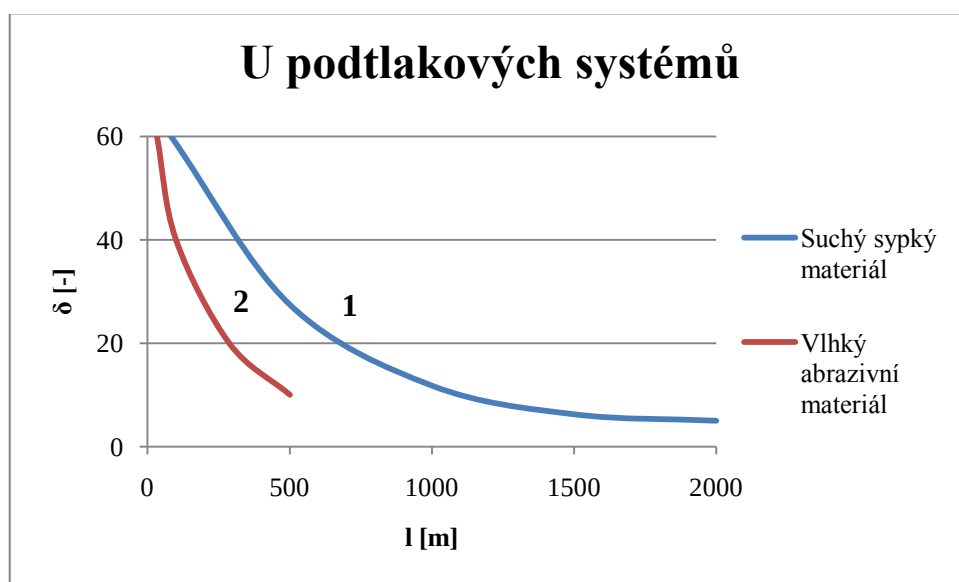


Diagram 4 Závislost směšovacího poměru na dopravní závislosti u podtlakových systémů [2]

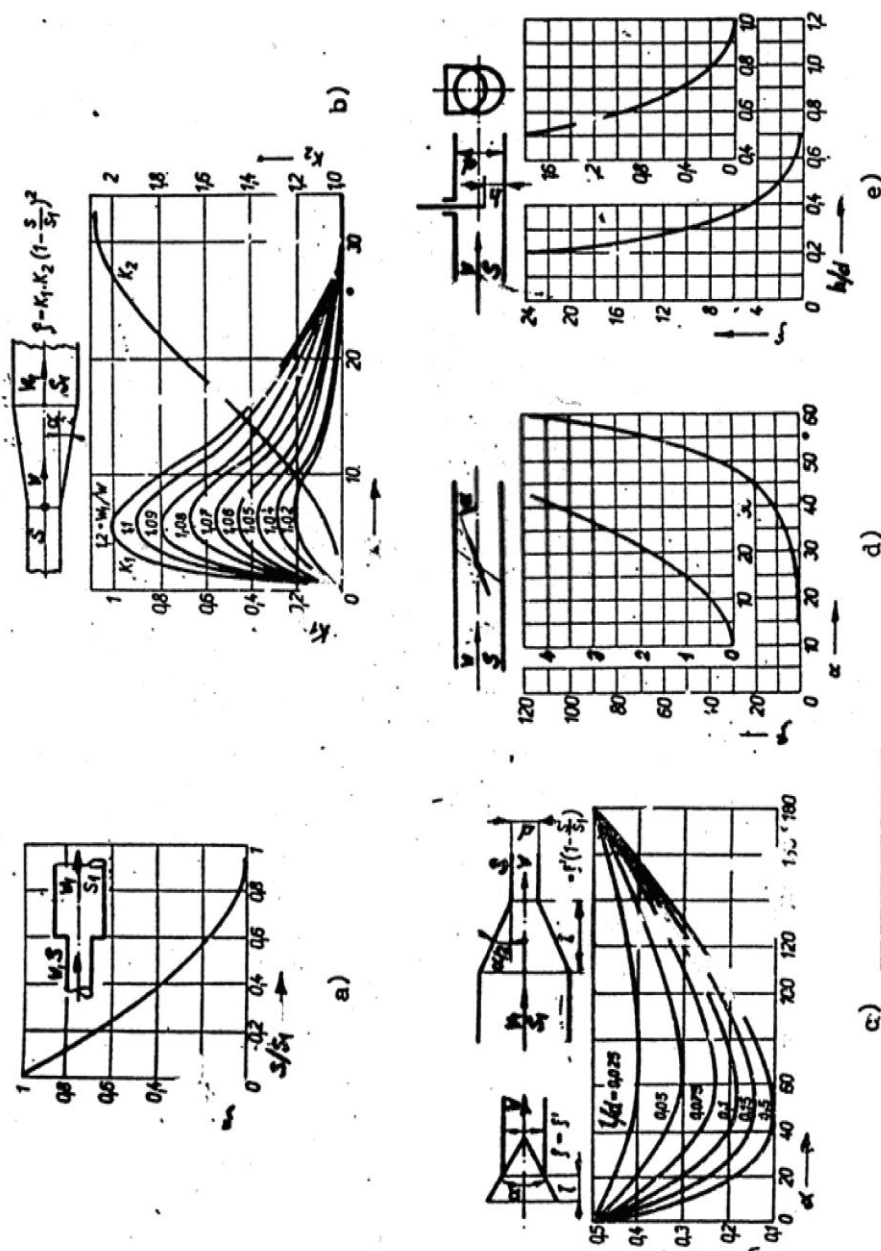


Diagram 4 - ξ Součinitelé tlakové ztráty
 a) při náhlém rozšíření potrubí, b) při pozvolném rozšíření potrubí,
 c) při pozvolném zúžení potrubí, d) regulační klapky, e) regulačního
 šoupátka



P 5

Tab. 16 - f

$a = b$ 	°				
	90	120	135	150	
$\alpha = 90^\circ, a \neq b$ $f = 1,1c$	1,1	0,55	0,35	0,2	
$\alpha = 90^\circ, a \neq b$ $f = 1,1c$	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
	1,5	1,0	0,7	0,47	0,4
$\alpha = 90^\circ$ 	0,1 b	0,25 b	0,5 b		
	0,75	0,4	0,25		