

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



Pneumatická doprava v potravinářském průmyslu

Pneumatic transport in the food industry

Diplomová práce

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Autor práce: Bc. Tomáš Novák

© 2018 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Novák

Technologická zařízení staveb

Název práce

Pneumatická doprava v potravinářském průmyslu

Název anglicky

Pneumatic transport in the food industry

Cíle práce

Cílem diplomové práce je navrhnout modernizaci pneumatické dopravy v podmínkách potravinářské výroby. Na základě zhodnocení a rozboru současného stavu navrhnout vhodné konstrukční řešení dopravního systému s lepšími provozními parametry.

Metodika

- 1 Úvod
- 2 Cíl práce
- 3 Metodika práce
- 4 Současný stav sledované problematiky
- 5 Vlastní řešení
- 6 Výsledky a diskuse
- 7 Závěr a doporučení
- 8 Seznam použitých zdrojů
- 9 Přílohy

Doporučený rozsah práce

50 až 60 stran textu

Klíčová slova

Dopravník; konstrukce; potravinářství; průtok vzduchu; tlak vzduchu.

Doporučené zdroje informací

Dražan, F.-Jeřábek, K.: Manipulace s materiálem. SNTL, Praha, 1979.

Dražan, F.-Kupka, L.: Transportní zařízení. SNTL, Praha, 1966.

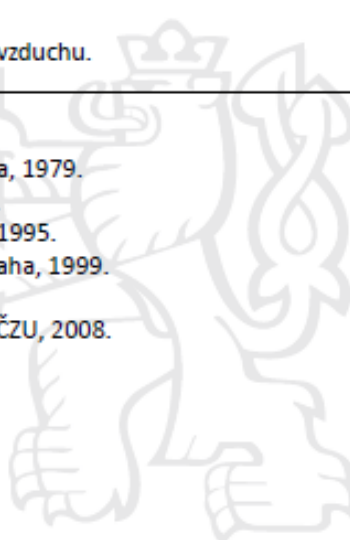
Řurkovič, O.: Dopravní a manipulační stroje. VŠZ, TF, Praha, 1995.

Hoffman, P.-Filková, I.: Výrobní linky potravinářské. ČVUT, Praha, 1999.

Jeřábek, K.: Logistika. ČVUT, Praha, 2000.

Kic, P.: Dopravní a manipulační stroje I. Základy logistiky. TF ČZU, 2008.

Urban, J.: Pneumatická doprava. SNTL, Praha, 1964.



Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 18. 1. 2017

doc. Ing. Jan Malašák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 02. 11. 2017

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Pneumatická doprava v potravinářském průmyslu, vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení §35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 1.4.2018

.....

podpis autora práce

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Pavlovi Kicovi, DrSc. za cenné připomínky a rady k vypracování této diplomové práce.

Pneumatická doprava v potravinářském průmyslu

Souhrn:

Cílem této diplomové práce bylo zhodnocení současné technologie pneumatické dopravy různých materiálů v podmínkách potravinářského průmyslu. Začátek této práce je věnován rozboru současných technologií a typů pneumatických dopravníků pro přepravu sypkých materiálů, včetně funkce a popisu jednotlivých komponentů celého systému. Dále je práce zaměřena na již existující dopravní systém mouky, v pekárně NoVy Vacov, spol. s r. o., sídlící v jižních Čechách v obci Vacov na Prachaticku. V následující části jsou vyhodnoceny požadavky podniku na provozní parametry dopravníku a technologické požadavky související s výrobou pekařských výrobků. V poslední části práce jsou navrženy úpravy a inovace stávajícího systému, vedoucí ke zlepšení spolehlivosti a k vyššímu stupni automatizace. Součástí poslední části je kalkulace nákladů na modernizaci.

Klíčová slova:

Dopravník, konstrukce, potravinářství, průtok vzduchu, tlak vzduchu

Pneumatic transport in the food industry

Summary:

The aim of the thesis is to evaluate the current pneumatic conveying technology of various materials in food processing industry. The beginning of the work deals with the analysis of the present technologies and types of pneumatic conveyors for the transport of loose materials including the functions and descriptions of individual components of the whole system. Further on, the work focuses on the existing flour transportation system in NoVy Vacov, spol. s r. o., a bakery based in the village of Vacov (Prachatice Region, South Bohemia). In the following part, the company requirements on the operating parameters of the conveyor and the technological requirements related to the production of bakery products are evaluated. In the last part of the work, adjustments and innovations of the existing system are proposed, to improve reliability and raise the level of automation. The last part includes the calculation of modernisation costs.

Key words:

Conveyor, construction, food industry, air flow, air pressure

Obsah

1. Úvod	10
2. Cíl práce	11
3. Metodika práce	12
4. Současný stav pneumatické dopravy	13
4.1. Definice pojmu „Manipulace s materiálem“	13
4.2. Pneumatická doprava materiálů	13
4.2.1. Rozdělení pneumatických dopravníků podle funkce	13
4.2.2. Rozdělení pneumatických dopravníků podle využití hnacího média	14
4.2.3. Rozdělení pneumatických dopravníků podle činnosti	15
4.2.4. Druhy stacionárních pneumatických dopravníků podle provozního tlaku	16
4.3. Přednosti a nedostatky pneumatických dopravníků	17
4.4. Vlastnosti přepravovaných materiálů	18
4.5. Komponenty pneumatického dopravníku	21
4.5.1. Hnací agregáty	21
4.5.1.1. Vývěvy	21
4.5.1.2. Kompresory	22
4.5.1.3. Dmychadla	23
4.5.1.4. Průmyslové ventilátory	24
4.5.2. Směšovače (podávače) materiálu	25
4.5.2.1. Rotační směšovač	25
4.5.2.2. Šnekový směšovač	26
4.5.2.3. Ejektorový (Venturiho) směšovač	26
4.5.2.4. Komorový směšovač	27
4.5.2.5. Průtokový směšovač	27
4.5.3. Dopravní potrubí	28
4.5.3.1. Materiály dopravního potrubí	29
4.6. Výpočet tlakových ztrát pneumatického dopravníku	30
4.6.1. Rovnice tlakového spádu při pneumatické dopravě	30
4.6.2. Pohybová rovnice částice a její řešení pro šikmou ustálenou dopravu	31
4.6.3. Součinitel tření dopravovaného materiálu	31
4.6.4. Poměrná rychlost $\beta = u / v$	32
4.6.5. Volba dopravní rychlosti	32
4.6.6. Součinitel dopravy	32
4.7. Výpočtové metody středotlaké pneumatické dopravy	33
4.7.1. Metoda aditivnosti	33
4.7.1.1. Princip metody aditivnosti	34
4.7.2. Modifikovaná metoda aditivnosti	35
4.7.2.1. První varianta modifikované metody aditivnosti	35
4.7.2.2. Druhá varianta modifikované metody aditivnosti	36
4.7.3. Urbanova metoda	36

5. Vlastní řešení.....	37
5.1. Vybraný podnik Pekárna NoVy Vacov, spol. s r. o.....	37
5.2. Popis současného systému pneumatické dopravy mouky	38
5.2.1. Dopravníky a přepravovaný materiál	38
5.2.2. Ovládání dopravníků	40
5.2.2.1. Vizualizační software	41
5.2.2.2. Konfigurace automatického provozu.....	41
5.2.2.3. Proces přepravy mouky pneumatickým dopravníkem.....	42
5.2.2.4. Ruční ovládání dopravníků.....	43
5.2.3. Komponenty současného pneumatického dopravníku.....	43
5.2.3.1. Mostová váha	43
5.2.3.2. Dmychadlo.....	43
5.2.3.3. Ovládací ventily dopravního potrubí	44
5.2.3.4. Dopravní potrubí.....	45
5.2.3.5. Přetlak v potrubí.....	45
5.2.3.6. Síla na mouku	46
5.2.3.7. Rotační směšovač	46
5.2.3.8. Prosévače mouky	46
5.2.3.9. Denní zásobníky	47
5.2.4. Technologické požadavky pekárny na pneumatickou dopravu	47
5.3. Naměřené hodnoty pneumatického dopravníku mouky	48
5.3.1. Postup měření.....	48
5.3.2. Zpracování naměřených hodnot	49
5.3.3. Vyhodnocení naměřených hodnot.....	51
5.4. Výpočet tlakové ztráty pneumatického dopravníku	52
5.4.1. Vstupní parametry pneumatického dopravníku č.2.....	52
5.4.2. Postup výpočtu	52
5.4.2.1. Výpočet tlaku na konci úseku.....	53
5.5. Návrh nového řešení systému pneumatických dopravníků	60
5.5.1. Doporučení	60
5.5.2. Kalkulace na provedení úpravy dopravníků.....	60
6. Závěr	61
Literatura	62
Seznam obrázků.....	63
Seznam tabulek	63
Seznam grafů	63
Seznam příloh	64
Seznam použitých zkratk	65
Přílohy	68

1. Úvod

Diplomová práce se zabývá zhodnocením a rozbořem současné technologie pneumatické dopravy různých materiálů v podmínkách potravinářského průmyslu. Začátek této práce je věnován rozboru současných technologií a typů pneumatických dopravníků pro přepravu sypkých materiálů, včetně funkce a popisu jednotlivých komponentů celého systému. Následně je celá tato práce zaměřena na již existující dopravní systém mouky, v pekárně NoVy Vacov, spol. s r. o., sídlící v jižních Čechách v obci Vacov.

Dopravní systém mouky je jednou z nejdůležitějších částí technologických linek, pro výrobu pečiva, kterou začíná téměř každý výrobní proces v pekařském průmyslu. Z tohoto důvodu jsou vysoké požadavky na spolehlivost celého moučného hospodářství, jehož porucha může pro podnik znamenat velkou komplikaci ve výrobním procesu, a to zejména zpoždění dodávky výrobků pro zákazníky, v krajním případě i finanční ztrátu a projev na dobrém jménu podniku. Jelikož se jedná o již starší strojní zařízení, je svou konstrukcí i softwarovým zpracováním relativně jednoduché, s čímž je spojena i jeho spolehlivost a nízká náročnost oprav v případě poruchy. V současné době již existují nové technologie a způsoby řízení pneumatických dopravníků, proto je tento stávající dopravní systém považován za morálně zastaralý a měl by z tohoto důvodu být v brzké době nahrazen, nebo alespoň modernizován novějšími komponenty a dosažení lepších provozních parametrů, lepších možností jeho řízení a vyššího stupně spolehlivosti. V diplomové práci je dopravník zhodnocen z hlediska spolehlivosti, technických závad v průběhu provozu a provozních parametrů. Dále jsou provedeny výpočty provozních parametrů současného systému, které mohou sloužit pro volbu vhodné součásti dopravníku. V následující části jsou vyhodnoceny požadavky podniku na provozní parametry dopravníku a technologické požadavky související s výrobou pekařských výrobků. V poslední části práce jsou navrženy úpravy a inovace stávajícího systému, vedoucí ke zjednodušení systému a zvýšení spolehlivosti.

K vypracování práce je použito znalostí z logistiky, dopravních a manipulačních strojů, projektování technologických zařízení staveb, technologie výroby potravin a technologických zařízení potravinářských staveb.

2. Cíl práce

Zhodnocení a rozbor současné technologie pneumatické dopravy různých materiálů v podmínkách potravinářského průmyslu, princip přepravy materiálu, popis a funkce jednotlivých komponentů pneumatického dopravníku. Dále vypočítat provozní hodnoty existujícího pneumatického dopravníku, které mohou být použity pro volbu komponentů dopravníku za účelem nahrazení stávajících morálně nebo fyzicky opotřeбенých.

Na základě výpočtů, naměřených hodnot, požadavků podniku a technologických požadavků při procesu výroby pečiva, navrhnout možnosti modernizace stávajícího pneumatického dopravníku mouky, zhodnotit přínos modernizovaného zařízení a vytvořit kalkulaci nákladů na provedení modernizace.

3. Metodika práce

Tato diplomová práce je vypracována dle následujících metodických kroků:

1. Shromáždění relevantních informačních zdrojů
2. Zhodnocení současné technologie pneumatické dopravy
3. Výběr a popis vhodného podniku pro měření reálných hodnot
4. Výpočet provozních parametrů pro zkoumaný dopravník
5. Naměření provozních hodnot a jejich zpracování
6. Návrh konstrukčního řešení dopravníku s lepšími provozními parametry
7. Formulování závěru na základě zhodnocení přínosu nového konstrukčního řešení pneumatického dopravníku mouky

4. Současný stav pneumatické dopravy

4.1. Definice pojmu „Manipulace s materiálem“

Jedná se o širší pojem souhrnu několika operací zahrnujících dopravu, skladování a přemísťování ve výrobnách, skladech, dílnách a podobně. Stručně lze manipulaci s materiálem charakterizovat jako organizovanou změnu polohy těžiště hmoty a její význam je dán především tím, že je nedílnou součástí každého výrobního procesu, spojuje jednotlivá výrobní odvětví, probíhá i mimo vlastní výrobu, a to jak před výrobou (zásobování a skladování vstupních materiálů), tak i po výrobě (skladování, balení, odbyt a doprava výrobků). [1]

4.2. Pneumatická doprava materiálů

Pneumatické dopravníky přemísťují potrubím materiály prašné, zrnité, vláknité, a po určité vlastnosti, i materiály kusové (podle objemové hmotnosti a vlastností). Přeprava materiálu probíhá působením přímých či nepřímých dynamických účinků proudu vzduchu na přepravované částice materiálu. Nosným médiem je nejčastěji vzduch, ve speciálních případech přepravy může jít o jiný plyn. [4]

4.2.1. Rozdělení pneumatických dopravníků podle funkce

Mobilní:

- přeprava sypkých materiálů mobilními prostředky (kontejnery, přepravníky, návěsy)
- snadné přemísťování dopravníků, mají širší využití
- délka dopravníku může být variabilní

Stacionární:

- pevně zabudované zařízení k určitému místu
- převážně jednoúčelová zařízení, bývá součástí určité výrobní linky
- v kombinaci s přepínacími ventily mohou mít více zdrojových nebo cílových míst pro přepravovaný materiál [4]

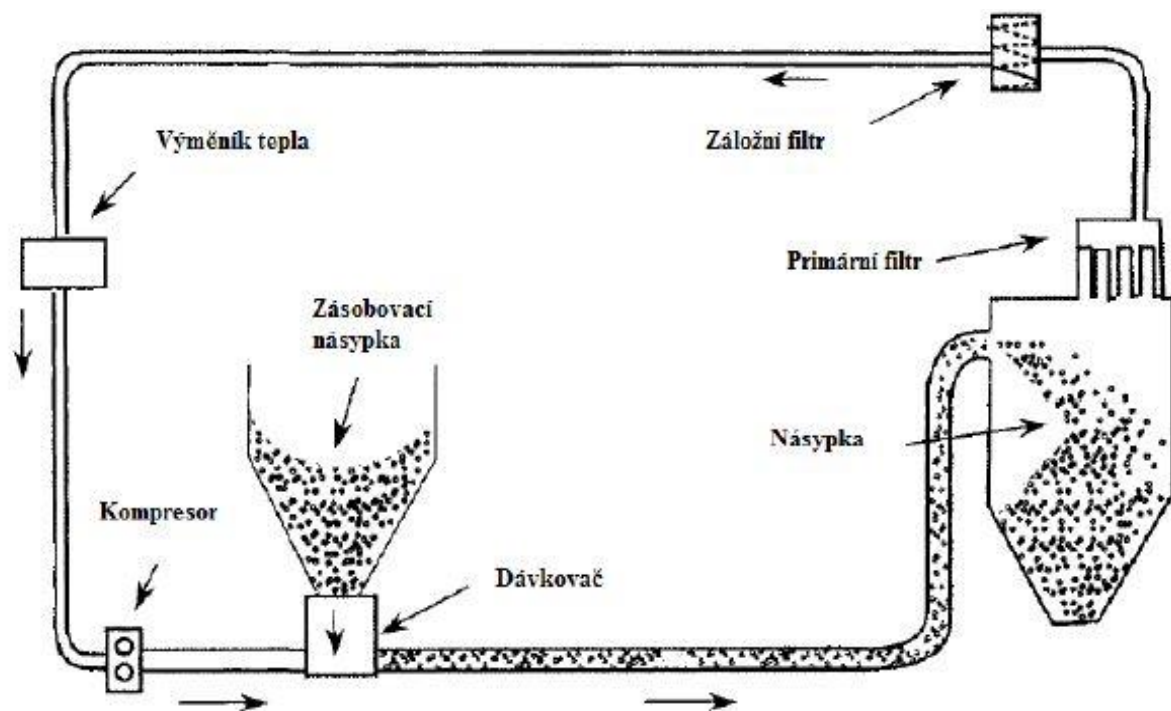
4.2.2. Rozdělení pneumatických dopravníků podle využití hnacího média

Otevřené systémy:

Hnacím médiem je vzduch, který je do hnacího agregátu nasáván z atmosféry a po splnění své funkce se vypouští zpět do volného prostoru. Otevřené systémy pneumatických dopravníků se používají pro přepravu běžných materiálů, které nemají žádné speciální požadavky na přepravní podmínky. Výhodou otevřeného systému je jednoduchost a nulové náklady na nosné médium. [2]

Uzavřené systémy (smyčky):

Hnacím médiem je vzduch nebo určitý technický plyn. Volba hnacího média se provádí na základě vlastností přepravovaného materiálu a požadavků na přepravní podmínky. Technický plyn se používá pro přepravu materiálu výbušných, hořlavých či jinak nebezpečných. Hnacím agregátem je dmychadlo nebo kompresor.



Obrázek 1. Schéma uzavřeného systému pneumatického dopravníku [3]

V uzavřeném systému pneumatického dopravníku musí být oproti systému otevřenému, zařazen chladič (výměník tepla), pro chlazení hnacího média, které při provozu cykluje v okruhu. Systém musí být utěsněný, aby nevznikaly ztráty následkem unikání technického plynu. Filtrace hnacího média je zde komplikovanější než u systému otevřeného a je zde řešena primárním a záložním filtrem, aby bylo zajištěno, že se částice přepravovaného materiálu

nedostanou do hnacího agregátu. Schéma uzavřeného systému pneumatického dopravníku je znázorněno na obrázku 1. [2]

4.2.3. Rozdělení pneumatických dopravníků podle činnosti

Sací pneumatické dopravníky:

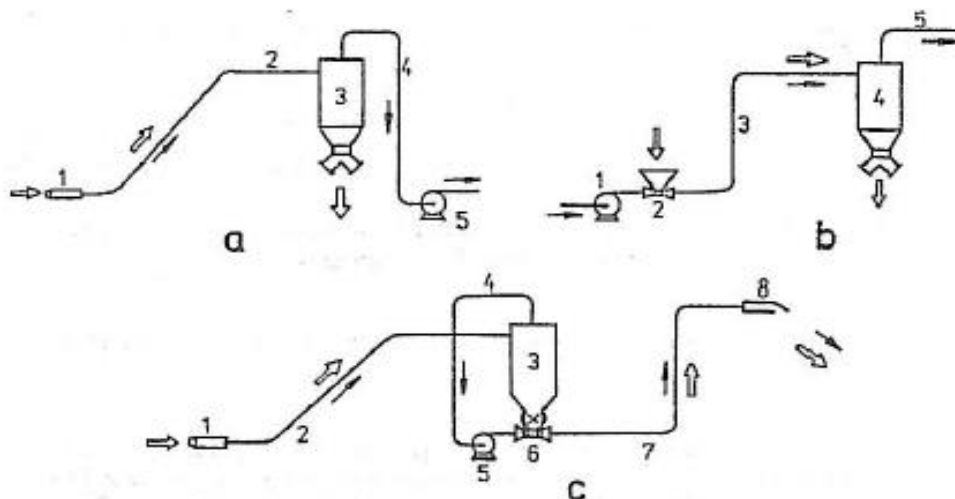
Jedná se o nejjednodušší systém pneumatických dopravníků materiálu. Přepřavovaný materiál je tažen a unášen podtlakovým proudem vzduchu v přepravním potrubí. Na stejném principu je založena i většina běžných domácích či průmyslových vysavačů. Sací pneumatické dopravníky pracují s podtlakem vzduchu 2 až 4 MPa a rychlostí proudění 15 až 45 m.s⁻¹. Proud a podtlak vzduchu vytváří ventilátor (5), přes spojovací potrubí (4), umístěný za odlučovačem vzduchu (3). Jako směšovací zařízení přepravního vzduchu a přepřavovaného materiálu, se zde používá sací jehla (1), která je nejčastěji montována na pružnou hadici (2). Sací jehla se umísťuje například do volně loženého materiálu, určeného k přepravě. Tento typ dopravníku je vhodný pro nakládání sypkých, zrnitých a prašných materiálů, které jsou převážně volně ložené. Schéma dopravníku je znázorněno v části A, na obrázku 2. [2]

Výtlačné pneumatické dopravníky:

Jsou konstruovány ve třech různých provedeních, a to jako nízkotlaké, středotlaké, nebo vysokotlaké. Rozdíl v těchto provedeních je zejména ve výkonnosti a funkci hnacího agregátu, kterým může být ventilátor, dmychadlo, vývěva nebo kompresor. Proud a tlak dopravního vzduchu vytváří hnací agregát (1), který je umístěn na počátku celého systému. Směšování přepravního vzduchu s přepřavovaným materiálem zajišťuje směšovač (2), odkud směs dále pokračuje výtlačným potrubím (3), do odlučovače (4). Celý systém může být zakončen odlučovačem nebo v případě nutnosti potrubím pro odvod vzduchu z odlučovače (5). Schéma dopravníku je znázorněno v části B, na obrázku 2. [2]

Kombinované pneumatické dopravníky:

Jsou kombinací dvou předchozích konstrukcí. První část dopravníku pracuje jako sací, která je zakončena odlučovačem, odkud je přepřavovaný materiál dávkován směšovačem (6), do výtlačného potrubí (7). Celý tento systém může být zakončený odlučovačem nebo usměrňovací koncovkou (8), pro volně ložený materiál. Schéma dopravníku je znázorněno v části C, na obrázku 2. [2]



Obrázek 2. Rozdělení pneumatických dopravníků [2]

a – sací, b – výtlačný, c – kombinovaný

4.2.4. Druhy stacionárních pneumatických dopravníků podle provozního tlaku

Nízkotlaké:

Hnacím agregátem je vysokotlaký ventilátor, jehož umístěním na začátek či konec dopravníku je určeno, zdali systém bude pracovat jako sací nebo výtlačný. Směšování vzduchu s přepravovaným materiálem zajišťují nejčastěji ejektorové směšovače. Dopravní vzdálenosti těchto dopravníků jsou limitovány především tlakem či podtlakem dopravního vzduchu, který dosahuje maximálně 15 kPa. Výkonnost nízkotlakých dopravníků se pohybuje v rozmezí $0,1-2 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$, při dopravní vzdálenosti 30–40 m. Jedná se o kontinuální druh přepravy materiálu. Pro nízkotlaké dopravníky je charakteristický velký průměr přepravního potrubí, velký objemový tok a nízký tlak přepravního plynu. [2]

Středotlaké:

Hnacím agregátem je nejčastěji dmyhadlo, které se umísťuje na začátek dopravníku a systém pracuje jako výtlačný. Provozní tlak přepravního plynu dosahuje maximálně 0,1 MPa. Pro směšování přepravního plynu a přepravovaného materiálu se používají speciální směšovače, které dávkují kontinuálně přepravovaný materiál do proudu přepravního plynu. Jedná se o kontinuální dopravu materiálu. Výkonnost těchto pneumatických dopravníků je závislá na průměru dopravního potrubí, tlaku přepravního vzduchu a dopravní vzdálenosti, která může u středotlakého typu dopravníku dosahovat až sto metrů. Pro středotlaké dopravníky je charakteristický nižší průměr přepravního potrubí (obvykle 30 až 150 mm), a vyšší objemový tok a tlak přepravního plynu. [2]

Vysokotlaké:

Tento princip pneumatické dopravy využívá menšího množství přepravního vzduchu k přemístění velkého objemu sypkého materiálu. Proces dopravy se spíše podobá protlačování. Jedná se o cyklickou dopravu materiálu v plném průřezu potrubí, při nízké dopravní rychlosti 3 až 5 m.s⁻¹. Hnacím agregátem je kompresor, který zajišťuje tlak přepravního plynu až 0,6 MPa v zásobní tlakové nádobě, odkud se následně reguluje na nižší hodnotu tlaku, nejčastěji v rozmezí 0,1 až 0,6 MPa. Dopravní vzdálenost může dosahovat až tisíc metrů, při dopravním výkonu až 300 t.h⁻¹. Systém se skládá z kompresoru, tlakové nádoby, vstupního plnicího uzávěru, uzávěru odprášení a uzávěru vstupu dopravního plynu. Součástí systému je také pneumatický rozvaděč, snímače tlaku a koncových poloh přepínacích armatur. Systém umožňuje možnost navržení variabilního počtu plnicích a příjmových míst. Pro tento typ dopravníku je charakteristický vysoký tlak přepravního plynu s nízkým objemovým tokem. [2]

4.3. Přednosti a nedostatky pneumatických dopravníků

Přednosti:

- Jednoduchost, spolehlivost;
- Nízká náročnost údržby;
- Nosným médiem je nejčastěji vzduch;
- Široké spektrum dopravovaných materiálů, sypkých, případně i kusových;
- Možnost dopravy materiálu ve všech rovinách, i do těžce přístupných míst;
- Nízké opotřebení součástí celého systému;
- Materiál není při přepravě kontaminován cizími látkami;
- Možnost aplikace do výrobní linky jak automatizované zařízení.

Nedostatky:

- Vyšší energetické nároky na jednotku přepravovaného materiálu (4–6 krát vyšší než mechanické dopravníky);
- Vznik statické elektřiny při tření částic materiálu o povrch přepravního potrubí;
- Nevhodné pro abrazivní materiály;
- Nevhodné pro materiály s vyšší měrnou hmotností;
- Nevhodné pro materiály lepidivé a přilnavé;
- Vysoká hlučnost hnacích agregátů;
- Velký přesun objemu vzduchu;

- Riziko kondenzace vlhkosti při přechodu potrubí prostředími o různých teplotách;
- Vysoká prašnost u systémů s volně loženým materiálem v cílovém prostoru. [4]

4.4. Vlastnosti přepravovaných materiálů

Pro navrhování pneumatického dopravníku jsou stěžejními kritérii vlastnosti materiálu, k jehož přepravě bude dopravník sloužit, jelikož ne všechny materiály mohou být přepravovány za stejných podmínek a stejným způsobem. Při nevhodném návrhu dopravníku může docházet k poškození přepravovaného materiálu, nadměrnému opotřebení dopravníku nebo vysoké poruchovosti celého systému. [2]

Soudržnost, přilnavost

Jedná se o vlastnost, která působí největší potíže při dávkování přepravovaného materiálu do potrubí ze zásobníku. Tento problém je do určité míry řešitelný například provzdušňovacím nebo vibračním zařízením, které rozrušuje vazby mezi částicemi soudržného materiálu. Pro vysoce soudržné či přilnavé materiály je vhodné zvolit jiný druh dopravníku. [1, 2]

Velikost

Velikost částic dopravovaného materiálu výrazně ovlivňuje jejich vznosnou rychlost, s čímž souvisí i střední rychlost částic a střední rychlost proudu plynu. Při dopravě materiálu s velmi jemnými částicemi hrozí riziko vyššího stupně zanášení potrubí, zejména v částech oblouků. U dopravy materiálů zrnitých, při vysoké rychlosti dopravy hrozí v místech změny směru dopravy, drcení částic přepravovaného materiálu následkem nárazů do stěn přepravního potrubí. [1, 2]

Hořlavost

U mnoha materiálů může docházet k samovznícení a následnému hoření při vyšších teplotách. Mezi tyto materiály patří například mouka, cukr, kakao, plasty, kovové prášky a podobně. Tomuto nebezpečí lze předcházet například užitím uzavřeného systému pneumatického dopravníku a jako přenosové médium použít například dusík. [1]

Hygroskopičnost

Jsou sypané hmoty s vlastností pohlcovat vlhkost okolního prostředí. [1]

Vytváření nebo vázání statické elektřiny

Při tření částic přepravovaného materiálu o povrch přepravního potrubí může docházet k přenosu nábojů a vzniku elektrického napětí, které se indukuje do komponentů pneumatického dopravníku. Mezi nedostatečně elektricky spojenými komponenty systému může dojít k jiskření, které může mít za následek zažehnutí materiálu či výbuch prachového oblaku přepravovaného materiálu (mouka, cukr a podobně). Toto riziko lze minimalizovat dostatečným uzemněním všech částí dopravníku a použitím antistatických materiálů pro komponenty dopravníku. [1, 2]

Zrnitost

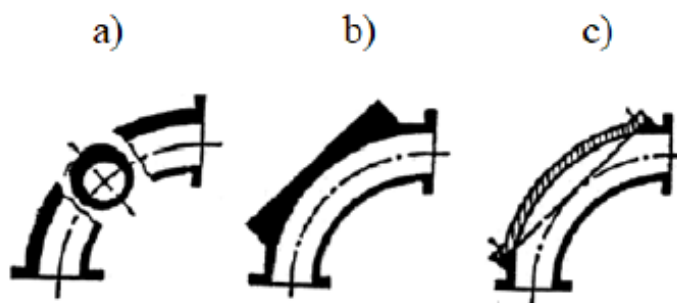
Při přepravě zrnitého materiálu může docházet k nedostatečnému nadlehčení částic tohoto materiálu. Následkem jsou vyšší ztráty a nižší výkonnost přepravy. [1]

Prašnost

Jedná se o sypké hmoty, jejichž částice jsou natolik malé, že dochází k jejich vznosu. [1]

Abrazivní materiály

V případě, že přepravovaný materiál má povrch svých částic o vyšší tvrdosti, než je tvrdost materiálu přepravního potrubí, může docházet k vyššímu stupni opotřebení potrubí. Tímto opotřebením jsou postiženy zejména kolena, záhyby, zúžení a různé přechody v přepravním potrubí. Stupeň opotřebení lze snížit například volbou materiálu přepravního potrubí s vyšší tvrdostí, zesílením vnější stěny oblouku (a), vyztužením vnější strany oblouku jiným materiálem (b), aplikací výměnného dílu na vnější stranu oblouku z materiálu s vyšší tvrdostí a otěrovou odolností (c). Příklady vyztužení oblouků přepravního potrubí jsou vyznačeny na obrázku 3. Další možností je úprava provozních parametrů dopravníku, například snížením rychlosti proudění vzduchu. [1, 2]



Obrázek 3. Příklady vyztužení oblouků dopravního potrubí [9]

Vlhkost

Materiály s vyšším obsahem vody mají sklon k ulpívání na stěnách potrubí a následnému nahromadění a ucpání systému. Tento problém lze částečně řešit předehřevem přenosového média na vyšší teplotu. Nežádoucím účinkem může být vysušování přepravovaného materiálu. Z tohoto důvodu se přeprava materiálů vlhkých či lepivých řeší převážně jiným typem dopravníku. [2]

Drobivost

Je vlastnost sypkých hmot zmenšovat rozměr zrn mechanickými vlivy nebo samovolně. Vlivem drobnosti může docházet ke změnám vlastností sypných hmot při dopravě i při jejich použití. Během přepravy může vlivem nárazů částic přepravovaného materiálu do stěn potrubí docházet k nežádoucí degradaci tohoto materiálu. [1]

Radioaktivita a toxicita

Přeprava radioaktivních a toxických materiálů musí probíhat za zvýšené bezpečnosti. Pro přepravu těchto materiálů se využívá výhradně uzavřených systémů pneumatické dopravy, aby se zamezilo únikům nežádoucích látek, či projevů látek do prostředí. [1]

Tepelná stálost

Při tření přepravovaného materiálu o stěny přepravního potrubí dochází k akumulaci tepelné energie a změně přepravních podmínek. V místech přepravního potrubí, kde je tření vyšší (záhyby, kolena, zúžení), dochází k vyššímu stupni zahřívání. Materiály náchylné k tání mohou v těchto místech degradovat či ulpívat na stěnách potrubí. [2]

Shlukování

Je vlastnost sypkých hmot vytvářet za normálních podmínek prostředí shluky nebo vrstvy spojených zrn. [1]

Korozivnost

Jedná se o materiály, které chemicky působí na jiná tělesa a při vzájemném styku zapříčiňují jejich korozi. [1]

4.5. Komponenty pneumatického dopravníku

4.5.1. Hnací agregáty

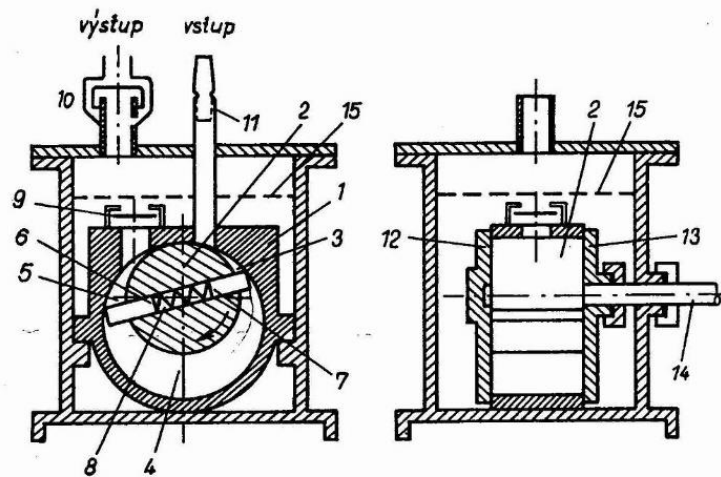
Slouží ke změně mechanické energie na kinetickou. Název agregátu je závislý na velikosti přetlaku nebo podtlaku, který je schopen stroj maximálně na svém vstupu či výstupu vyvinout. Největší přetlak jsou schopny vyvíjet kompresory, které pracují s menším průtokem plynu, ale vyšším stupněm stlačení (více než 0,3 MPa). Další skupinou jsou dmyhadla, která na rozdíl od kompresorů pracují s vyšším průtokem plynu a nižším dosažitelným tlakem (podtlakem), na svém výstupu (vstupu), tyto hodnoty se pohybují v rozmezí 0,01 až 0,3 MPa. Třetí skupinou hnacích agregátů jsou ventilátory, jejichž úkolem je pouze dodat plynu kinetickou energii, tlak plynu není příliš důležitý a dosahuje nízkých hodnot (do 0,01 MPa). Pro podtlakové systémy se využívají vývěvy, které mají schopnost tvorby velkého podtlaku na svém vstupu. Volba vhodného typu hnacího agregátu závisí na celkové charakteristice a konstrukci pneumatického dopravního systému. [4,11]

4.5.1.1. Vývěvy

V pneumatické dopravě materiálů mohou být použity pro tvorbu podtlaku v sacím potrubí podtlakových systémů dopravníků. Jsou schopny dosahovat velkého podtlaku při nižším průtoku plynu, z tohoto důvodu se pro pneumatickou dopravu používají spíše dmyhadla nebo ventilátory.

Olejové rotační vývěvy

Rotor vývěvy opatřený lamelami je uložen excentricky ve statoru, čímž vzniká srpkovitý pracovní prostor vývěvy. Lamely dělí tento prostor na komory, jejichž objem se při otáčení rotoru zvětšuje a následně zmenšuje, čímž dochází k sání a výtlačku plynu. Tok plynu je téměř plynulý. Dále jsou tyto vývěvy opatřeny mazacím mechanismem, který uvnitř vývěvy slouží ke snížení tření a opotřebení lamel, olej pracuje jako chladicí médium a slouží k dotěsnění lamel proti statoru. Nevýhodou je, že vyfukovaný plyn obsahuje tento olej, proto musí být na výtlačné části umístěno zařízení pro odloučení oleje a po následné filtraci je odloučený olej přepouštěn zpět do mazacího okruhu. Regulace výkonu vývěvy se provádí změnou otáček rotoru nebo některé konstrukce mají stavitelný stator vůči rotoru, čímž dojde ke změně excentricity a velikosti pracovních prostorů. Schéma vývěvy s proměnným pracovním prostorem je znázorněno na obrázku 4. [4, 11]



Obrázek 4. Olejová rotační vývěva s proměnným pracovním prostorem [13]

Popis obrázku 4:

1. Pohyblivý stator; 2. Rotor; 3. Sací prostor; 4. Pracovní prostor; 5. Výtlačný prostor; 6. Lamela; 7. Lamela; 8. Pružina; 9. Zpětný ventil; 10. Odlučovač oleje; 11. Filtrace; 12. Blok statoru; 13. Blok statoru; 14. Hřídel; 15. Hladina oleje

Další druhy vývěv:

Grafitové, zobákové, šroubové, pístové, Rootsovy. [11]

4.5.1.2. Kompresory

V pneumatické dopravě se používají jako hnací agregáty pro vysokotlaké pneumatické dopravníky. Součástí je tlaková nádoba, která slouží jako zásobník pro stlačený plyn.

Pístové kompresory:

Plyn je stlačován v pracovním prostoru, vymezeném stěnou válce, dnem pístu a hlavou válce, ve které je umístěn sací a výtlačný ventil pro přepouštění plynu. Pohyb pístu zajišťuje klikový mechanismus, který může být poháněn elektromotorem nebo spalovacím motorem.

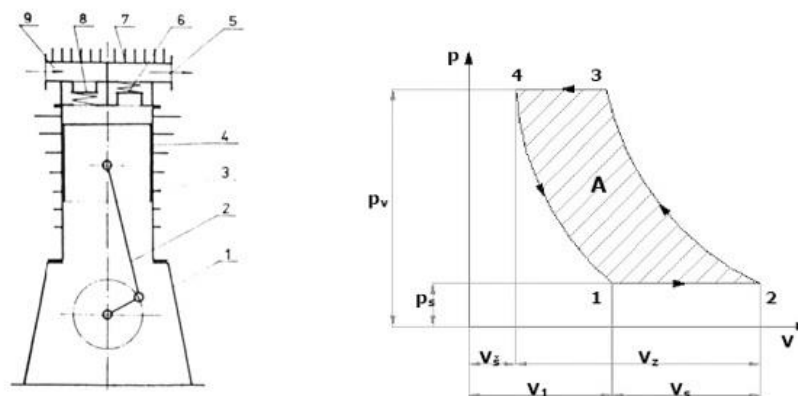
Popis p–V diagramu na obrázku č. 4:

1-2 Sání – pohyb pístu z HÚ do DÚ, při otevřeném sacím ventilu;

2-3 Komprese - pohyb pístu z DÚ do HÚ, s uzavřenými ventily;

3-4 Výtlač – otevření výtlačného ventilu při určitém přetlaku;

4-1 Expanze – všechen plyn nelze vytlačit z válce, musí dojít ke změně na podtlak při pohybu z HÚ do DÚ.



Obrázek 5. Schéma pístového kompresoru a jeho p-V diagram [17]

Popis obrázku č.4:

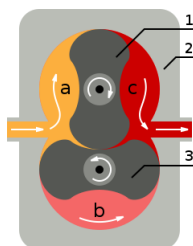
1 – kliková skříň, 2 – klikový mechanismus, 3 – píst, 4 – válec, 5 – výtlačné potrubí, 6 – výtlačná ventil, 7 – hlava válce, 8 – sací ventil, 9 – sací potrubí. [14]

4.5.1.3. Dmyhadla

V pneumatické dopravě materiálů se používají jako hnací agregáty pro středotlaké systémy dopravníků. Mají schopnost tvorby přetlaku, podtlaku nebo kombinaci přetlaku a podtlaku plynu.

Rootsova dmyhadla:

Jedná se o nejpoužívanější typ dmyhadel k pohonu pneumatických dopravníků. Během činnosti nedochází ke kontaktu rotorů se statorem. Ve statoru se protiběžně otáčejí dva trojcípé nebo dvojcípé písty. Čerpané médium se uzavře mezi rotory a statorem, kde dochází ke stlačení a přesunu plynu do prostoru výtaku z výstupu dmyhadla. Nedochází ke kontaminaci vytlačovaného média olejem, jelikož rotory jsou sucho-běžné. Olejová náplň se nachází pouze v převodové skříni, kde jsou dvě ozubená kola zajišťující vzájemnou polohu a pohyb rotorů. K regulaci výkonu se používají nejčastěji frekvenční měniče, které regulují otáčky třífázového hnacího elektromotoru a zároveň zajišťují plynulý rozběh dmyhadla. [4, 11]



Obrázek 6. Rootsovo dmyhadlo [15]

Popis obrázku 4:

1 – rotor, 2 – stator, 3 – rotor, a – fáze sání, b – fáze stlačení, c – fáze výtlačku

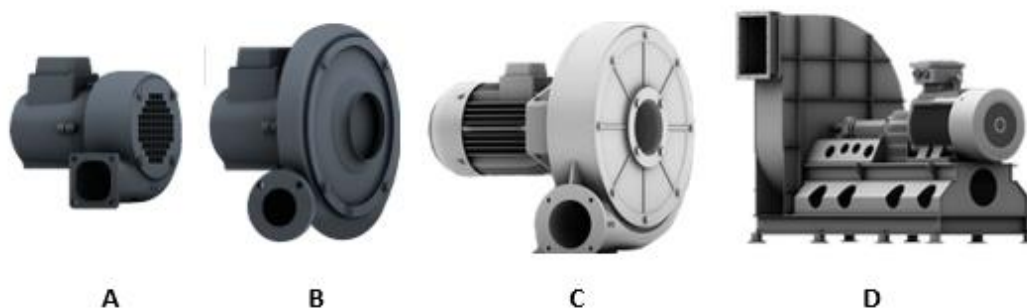
Dmychadla s bočním kanálem:

Tato dmychadla mají menší výkonnost než Rootsova. Používají se pro menší pneumatické dopravníky, nebo jako zdroj tlakového vzduchu pro systém čerání materiálu nad směšovačem u větších pneumatických dopravníků. Skládá se z elektromotoru, na němž je přímo nasazeno oběžné kolo, jehož otáčením vzniká proud vzduchu a je z oběžného kola usměřován blokem dmychadla do výtlačného potrubí. Tato dmychadla se vyrábí jednostupňová, nebo vícestupňová a mohou mít na straně sání i výtlačku integrovány tlumiče pro snížení hlučnosti. [11]

4.5.1.4. Průmyslové ventilátory

Využívají se pro nízkotlaké systémy pneumatických dopravníků, pro které je charakteristický velký objemový tok přepravního plynu pod nízkým tlakem, ve velkém průměru přepravního potrubí. Vyrábějí se ve standartní verzi, ve speciálním provedení z nerezové oceli, či v plynotěsném provedení nebo verze do výbušného prostředí. Ventilátor bývá umístěn přímo na hřídeli hnacího elektromotoru. Vyrábějí se v několika výkonnostních variantách:

- A) Nízkotlaké ventilátory – zdroj tlaku nebo podtlaku plynu do 2 200 Pa
- B) Středotlaké ventilátory – zdroj tlaku nebo podtlaku plynu do 10 500 Pa
- C) Vysokotlaké ventilátory – zdroj tlaku nebo podtlaku plynu do 17 300 Pa
- D) Velkoobjemové ventilátory – nízkotlaké, středotlaké nebo vysokotlaké s objemovým tokem plynu 25 000 – 400 000 m³.h⁻¹ [11]



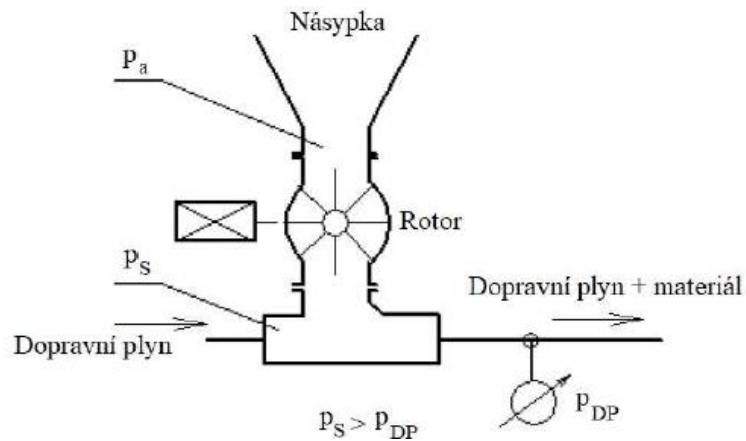
Obrázek 7. Varianty průmyslových ventilátorů [11]

4.5.2. Směšovače (podávače) materiálu

Slouží ke směšování přepravního plynu s přepravovaným materiálem v požadovaném směšovacím poměru. U přetlakových systémů pneumatických dopravníků slouží směšovač jako tzv. tlakový uzávěr, který překonává tlak vzniklý odporem dopravního potrubí při přepravě. To znamená, že musí zabránit nebo alespoň minimalizovat únik tlaku přepravního plynu mimo přepravní potrubí, směrem do násypky s materiálem určeným k přepravě. S únikem tlaku přepravního plynu je nutné počítat a zahrnout ho do výpočtu tlakových ztrát dopravníku pomocí ztrátového součinitele. Jednotlivé druhy podavačů pro přetlakové systémy se liší svou konstrukcí, principem činnosti nebo použitím. Pro kontinuální pneumatickou dopravu se používají směšovače rotační, šnekové, ejekční nebo průtokové, naopak pro diskontinuální přepravu se používají podavače komorové. U podtlakových systémů nehrozí žádný únik přepravního plynu v místě směšování, tudíž je přepravovaný materiál jednoduše dávkován do přepravního potrubí při atmosférickém tlaku. [10]

4.5.2.1. Rotační směšovač

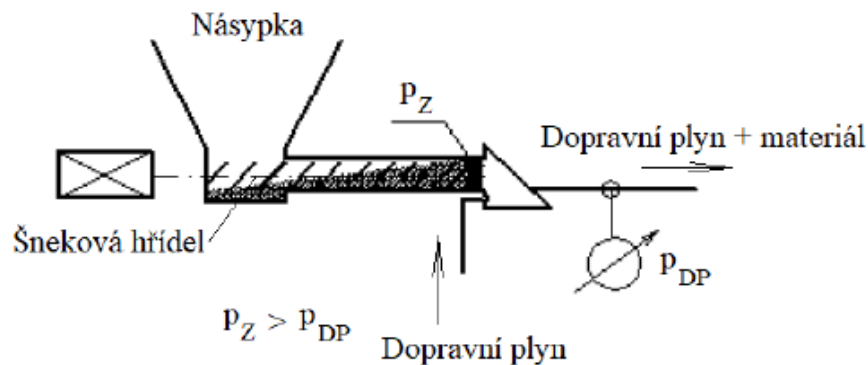
Funkci tlakového uzávěru tvoří odpor rotoru směšovače, jehož lopatky dosedají na blok statoru v axiálním i radiálním směru. Ztráta energie pro vytvoření tlakového uzávěru je u tohoto typu směšovače zapříčiněna energií, spotřebovanou pro pohon rotoru a úniky přepravního plynu, který uniká netěsnostmi mezi rotorem a státorem směšovače do zásobníku s materiálem. Pro pohon se používá nejčastěji třífázový elektromotor s odpovídajícím převodovým poměrem, řízený frekvenčním měničem, jehož úkolem je, pomocí změny otáček rotoru směšovače, zajistit takový směšovací poměr přepravovaného plynu a materiálu, aby bylo dosaženo požadovaného plnicího tlaku přepravního plynu před směšovačem. Pohon směšovače by měl být opatřen pojistnou spojkou nebo jiným mechanismem, který v případě přetížení rotoru směšovače přeruší činnost a zabráni tak jeho poškození. K přetížení může dojít například přítomností cizího tělesa v přepravovaném materiálu, které vlivem velikosti svých rozměrů nebo konzistence není schopno, prostorem mezi lopatkami směšovače, projít. Schéma rotačního směšovače je uvedeno na obrázku č. 8. [10]



Obrázek 8. Schéma rotačního směšovače [10]

4.5.2.2. Šnekový směšovač

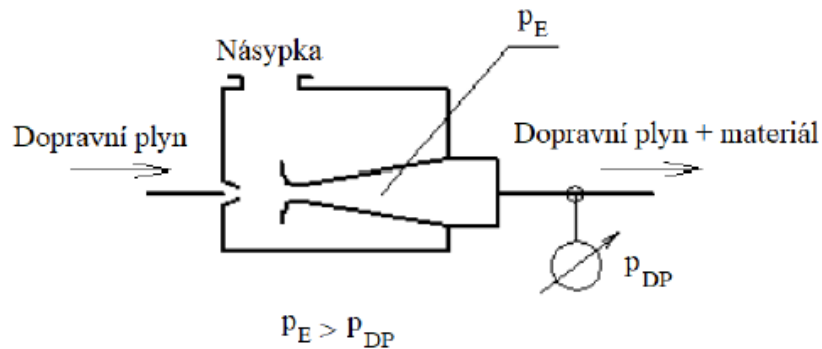
Funkci tlakového uzávěru tvoří odpor materiálové zátky tvořené šnekem směšovače. Energetická ztráta pro vytvoření tlakového uzávěru je dána spotřebou energie pro pohon šnekové hřídele směšovače. Pro pohon směšovače se používá nejčastěji třífázový elektromotor s odpovídajícím převodem velikosti otáček. Schéma směšovače je znázorněno na obrázku č. 9. [10]



Obrázek 9. Schéma šnekového směšovače [10]

4.5.2.3. Ejektorový (Venturiho) směšovač

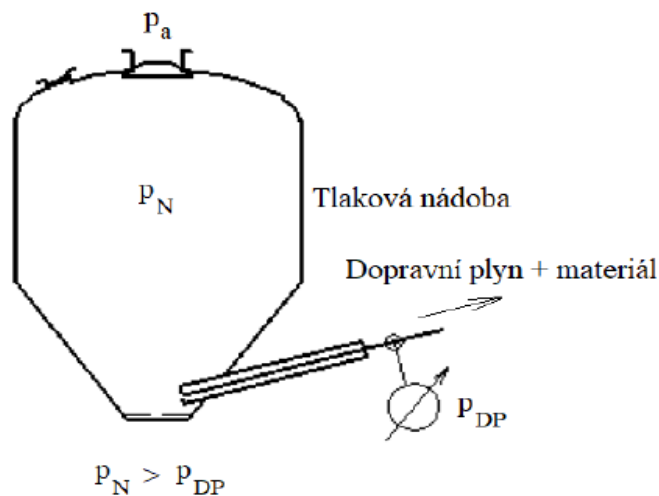
Funkci tlakového uzávěru plní ejekční účinek proudu dopravního plynu. U tohoto typu směšovače je energetická ztráta pro vytvoření tlakového uzávěru rovna velikosti energie, potřebné k vytvoření ejekčního účinku. Schéma ejektorového směšovače je znázorněno na obrázku č.10. [10]



Obrázek 10. Schéma ejekčního (Venturiho) směšovače [10]

4.5.2.4. Komorový směšovač

Využívá se zejména pro pneumatické dopravníky pracující diskontinuálně. Funkci tlakového uzávěru plní tlaková nádoba. Energetická ztráta pro vytvoření tlakového uzávěru je u tohoto směšovače tvořena odvzdušněním nádoby směšovače na atmosférický tlak při fázi plnění z plného provozního tlaku při fázi dopravy. Schéma komorového směšovače je znázorněno na obrázku č. 11. [10]



Obrázek 11. Schéma komorového směšovače [10]

4.5.2.5. Průtokový směšovač

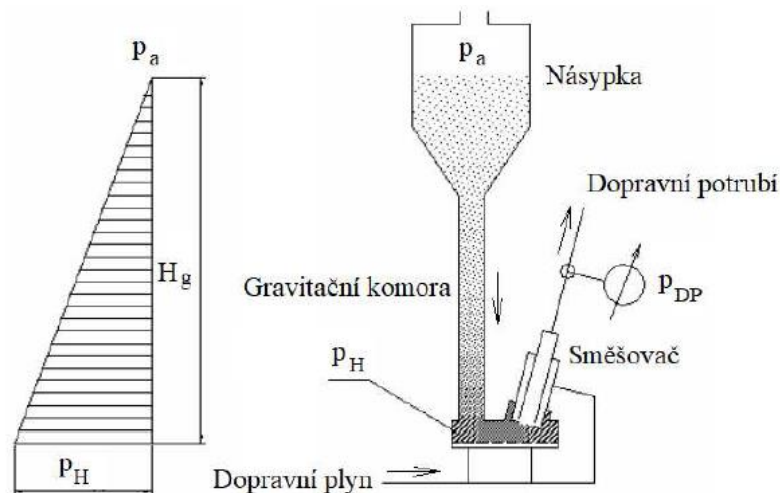
K vytvoření tlakového uzávěru využívá potenciální energii shromážděného materiálu v zásobníku směšovače. Z výše uvedených směšovačů mají nejnižší ztráty energie, jsou tedy z hlediska energetické náročnosti nejvýhodnější. Princip funkce směšovače je znázorněn na obrázku 12. Tlakový uzávěr je tvořen hydrostatickým tlakem p_f [Pa], sloupce provzdušněného materiálu o hustotě ρ_f [kg.m⁻³], v gravitační komoře směšovače. Hydrostatický tlak je téměř úměrný výšce sloupce provzdušněného materiálu H_g [m], podle vzorce

$$p_f = H_g \cdot \rho_f \cdot g \quad (4.1)$$

, kde g [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$] je tíhové zrychlení. Výška sloupce materiálu musí být taková, aby výsledný hydrostatický tlak byl v rovnováze s odporem dopravního potrubí, tedy rovnal se celkové ztrátě dopravního potrubí

$$p_f = \Delta p_z \quad (4.2)$$

Potřebná výška vrstvy materiálu a rovněž výška gravitační komory zásobníku je závislá na tlakové ztrátě dopravního potrubí, dispozičním řešením dopravní trasy, sypané hmotnosti přepravovaného materiálu a na průměru dopravního potrubí. [10]



Obrázek 12. Schéma průtokového směšovače [10]

Výhodou průtokového směšovače je zejména jeho dlouhá životnost a nízké náklady na údržbu, jelikož nemá žádné pohyblivé části, které přicházejí do styku s přepravovaným materiálem. [10]

4.5.3. Dopravní potrubí

Pro mobilní pneumatické dopravní systémy se používá většinou kombinace trubek a antistatických hadic, aby byla zajištěna variabilita systému a možnost manipulace se sací jehlou či výtlačným potrubím.

Pro stacionární pneumatické dopravníky se používají trubky, vzájemně spojované svařováním, přesuvnými sponami nebo kombinací svarů a spon. Pružné hadice se používají pouze ve speciálních případech, kdy je nutný pohyb nebo manipulace s určitou částí

dopravníku. Pro změnu směru dopravy ve vertikálním či horizontálním směru, slouží již předem tvarované oblouky. V současné době je montáž pneumatických dopravníků velice snadná a rychlá, jelikož komponenty jsou dopravníku dodávány jako „stavebnice“, sestávající se z potrubí, oblouků, redukci, spojek, přípojek, uzavíracích nebo přepínacích armatur a podobně.

4.5.3.1. Materiály dopravního potrubí

Nerezavějící ocel:

Pro dopravní potrubí se používají běžně dostupné bezešvé nerezové trubky, které se vyrábějí v široké škále rozměrů. Potrubí z nerezavějící oceli působí esteticky dobrým vzhledem a za běžných podmínek nejsou ani po delší době náchylné k povrchovým změnám. Výhodou potrubí z tohoto materiálu je hladký povrch, dobré otěrové vlastnosti a jsou vhodné pro použití v potravinářském průmyslu. Pro spojování potrubí se používají šroubovací přesuvné spojky.

Sklo:

Skleněné dopravní potrubí se vyznačuje především vysokou odolností vůči abrazivním materiálům, má až desetkrát delší životnost než standartní nerezové potrubí. Další výhodou je průhlednost potrubí a snadná kontrola dopravníku. Nevýhodou je křehkost potrubí a obtížnější spojování spojkami. Pro výrobu tohoto potrubí se používá borosilikátové sklo 3,3. Po vnější stěně oblouku a stěně trubek je vedený měděný uzemňovací pás.

Ocel:

Snadno cenově dostupný materiál, vyrábí se v široké škále rozměrů. Ocelové trubky se mohou spojovat svařováním, spojkami nebo pomocí přírub.

Hliník:

Snadno dostupný, ale cenově náročnější materiál, vyrábí se v široké škále rozměrů. Vyznačuje se nižší otěrovou odolností a nízkou hmotností. Používá se spíše pro části pneumatického dopravníku, se kterými manipuluje obsluha (oblouky, redukce, směšovací jehly, apod.)

Plast:

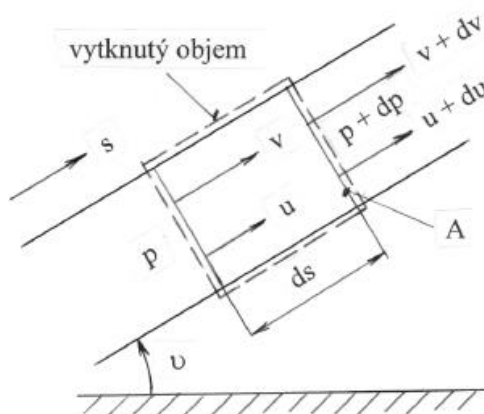
Používá se pouze specificky z důvodu nižší otěrové odolnosti. Jedná se zejména o pružné hadice, nebo speciální části dopravníku, se kterými je nutná manipulace obsluhy. Tyto části

musejí být antistatické a uzemněné, aby případné výboje indukované statické elektřiny nepřecházely na obsluhu stroje. [16]

4.6. Výpočet tlakových ztrát pneumatického dopravníku

4.6.1. Rovnice tlakového spádu při pneumatické dopravě

Rovnice slouží k výpočtu tlakového spádu, tlakové ztráty potrubí a celkové ztráty celé trasy pneumatického dopravníku. Rovnice pro výpočet tlakového spádu vychází z aplikace věty o změně hybnosti ve vytknutém kontrolním objemu potrubí podle obrázku 13, která uvádí, že změna hybnosti proudící směsi na počátku a na konci kontrolního objemu je rovna součtu sil působících na kontrolní objem.



Obrázek 13. Vytknutý kontrolní objem [2]

Rovnice má následující tvar:

$$\dot{M}dv + \dot{M}_m du = -Adp - \pi d ds(\tau - \tau_m) - A ds C_M g \sin \nu - A ds \varepsilon \rho g \sin \nu \quad (4.3)$$

Na levé straně rovnice (4.1), je součet hybnosti a materiálu a proudu plynu, na pravé straně rovnice jsou výsledné síly působící na kontrolní objem (tlaková síla, třecí síla, gravitační síla způsobená hmotností přepravovaného materiálu a gravitační síla způsobená hmotností přepravního plynu).

Rovnice po úpravě v konečném stavu:

$$-\frac{dp}{ds} = \lambda \frac{1}{d} \frac{v^2}{2} \rho \left(1 + \frac{\tau_m}{\tau}\right) + \left(\frac{\varepsilon \rho \mu}{\beta} + \varepsilon \rho\right) g \sin \nu + \varepsilon \rho \frac{1}{2} \frac{d(v^2)}{ds} + C_M \frac{1}{2} \frac{d(u^2)}{ds} \quad (4.4)$$

Rovnice (4.2), se nazývá obecnou diferenciální rovnicí tlakového spádu. Na pravé straně rovnice jsou členy, které vyjadřují tlakový spád třením materiálu a plynu, tlakový spád zdvihem

materiálu a plynu, tlakový spád urychlením materiálu a plynu. Neznámá veličina $\beta = u / v$, kterou lze vypočítat z řešení pohybové rovnice částice nacházející se v dopravním potrubí. [2]

4.6.2. Pohybová rovnice částice a její řešení pro šikmou ustálenou dopravu

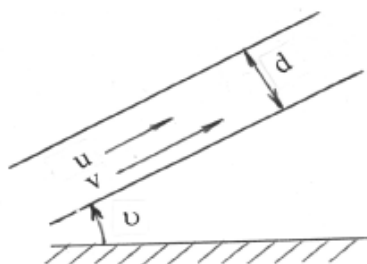
Pohyb částice, nacházející se v šikmém dopravním potrubí znázorněným na obrázku 14, je popsán obecnou vektorovou pohybovou rovnicí:

$$M_{\check{c}} \frac{d\check{u}}{dt} = \check{F}_a + \check{F}_b + \check{F}_T \quad (4.5)$$

,kde \check{F}_a [N] – aerodynamický odpor částice přepravovaného materiálu;

\check{F}_b [N] – gravitační síla působící na částici přepravovaného materiálu;

\check{F}_T [N] – odporová síla působící na částici přepravovaného materiálu;



Obrázek 14. Šikmé dopravní potrubí [2]

Dalšími úpravami rovnice (4.3) lze získat pohybovou rovnici ve tvaru:

$$\frac{du}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = \frac{(v-u)^2}{u_{vz}^2} g - g \sin \nu - \xi_v \frac{1}{d} \frac{u^2}{2} \quad (4.6)$$

V této upravené rovnici se vyskytuje veličina, která je v pneumatické dopravě velmi důležitá. Jedná se o veličinu vyjadřující vznosnou rychlost částice v přepravním potrubí u_{vz} [m.s⁻¹]. Tato rychlost je definována jako rychlost proudění dopravního plynu v [m.s⁻¹], ve vertikálním dopravním potrubí, při které se částice o určité velikosti a hmotnosti bude vznášet ($u = 0$ m.s⁻¹). [2]

4.6.3. Součinitel tření dopravovaného materiálu

Je zjišťován experimentálně a jeho hodnoty se uvádějí v odborné literatuře [7]. Pokud nebyla hodnota dopravovaného materiálu zjištěna a stanovena experimentálně, lze obecně využívat přibližnou hodnotu stanovenou odhadem (pro tuto práci zvoleno $\xi_y = 0,005$).

4.6.4. Poměrná rychlost $\beta = u / v$

Dosazením do uvedeného vzorce lze teoreticky stanovit hodnotu poměrné rychlosti β . Základní veličinou pro stanovení poměrné rychlosti je rychlost vznosu u_{vz} [$m \cdot s^{-1}$], kterou lze zjistit empiricky nebo na základě zkušeností. Pro stanovení poměrné rychlosti existují také, mimo teoretického výpočtu, praktická doporučení v podobě jednoduchých vztahů, která jsou uvedena v odborné literatuře [9] a lze se jejich aplikací vyhnout složitým výpočtům. [8]

4.6.5. Volba dopravní rychlosti

Základním parametrem pneumatické dopravy je dopravní rychlost. Doporučení vycházející z teoretických výpočtů udává minimální dopravní rychlosti $v > \cong 1,1 u_{vz}$ [$m \cdot s^{-1}$]. Dalším kritériem pro volbu dopravní rychlosti jsou zkušenosti projektanta, který se při jejím stanovení musí řídit obecnými doporučeními na základě praktických zkušeností s provozem pneumatické dopravy. Při jejím stanovení je také důležité brát v úvahu orientaci pneumatické dopravy (horizontální, vertikální nebo šikmá) a druh dopravovaného materiálu. Špatně zvolená dopravní rychlost může mít za následek sklony k ucpání potrubí, nebo naopak lokální abrazi materiálu v potrubí či degradaci přepravovaného materiálu, v místech změny směru toku v dopravním potrubí. Dopravní rychlost se projevuje také zejména na spolehlivosti provozu, dále pak v provozních a investičních nákladech.

4.6.6. Součinitel dopravy

V obecné diferenciální rovnici tlakového spádu (4.2), je tlakový spád způsobený třením, vyjádřen pomocí tečného napětí plynu na stěně potrubí τ [Pa] a tečného napětí vlivem dopravovaného materiálu τ_m [Pa]. Poměr těchto napětí je možné vyjádřit pomocí závislosti na směšovací poměru μ [-] rovnicí

$$\frac{\tau_m}{\tau} = k\mu \quad (4.7)$$

,kde k [-] je konstanta úměrnosti, pojmenovaná podle autora Gasterstädtův součinitel dopravy. Tento součinitel je ovlivněn druhem dopravovaného materiálu a úhlem dopravy, přičemž klesá s růstem rychlosti dopravního plynu, a naopak roste s rostoucím průměrem dopravního potrubí. Bez známé hodnoty tohoto součinitele nelze přesně stanovit tlakový spád způsobený třením, který má v pneumatické dopravě zásadní vliv. Dosazením do obecné rovnice tlakového spádu (4.2), za poměr napětí na stěně τ_m/τ vyjádření (4.3-1) dostaneme následující tvar rovnice tlakového spádu

$$-\frac{dp}{ds} = \lambda \frac{1}{d} \frac{v^2}{2} \rho (1 + k\mu) + \left(\frac{\varepsilon\rho\mu}{\beta} + \varepsilon\rho \right) g \sin v + \varepsilon\rho \frac{1}{2} \frac{d(v^2)}{ds} + C_M \frac{1}{2} \frac{d(u^2)}{ds} \quad (4.8)$$

Pro určení součinitele dopravy existuje mnoho empirických vztahů, které jsou závislé na druhu dopravovaného materiálu a úhlu pneumatické dopravy. Univerzálním, teoretickým vztahem pro získání součinitele dopravy je vztah [6]

$$k = \frac{2 \frac{uVZ}{v} \cos v}{\lambda \frac{u}{vFr}} + \frac{\xi_y u}{\lambda v} \quad (4.9)$$

, kde Fr [-], je Froudeho číslo přepravního potrubí a λ [-], součinitel tření plynu o stěny potrubí za předpokladu hydraulicky hladkého potrubí. Při provozu pneumatického dopravníku dochází ve velmi krátké době k abrazi, způsobené dopravovaným materiálem a tím k vyhlazení vnitřního povrchu dopravního potrubí. Výpočet součinitele tření plynu v dopravním potrubí je pak možné provést pomocí Blasiova vztahu

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (4.10)$$

Blasiův vztah platí za předpokladu, že $Re \in (2,10^3; 10^5)$. Jsou-li hodnoty Re vyšší, lze použít následující vztah

$$\lambda = \frac{0,184}{Re^{0,2}} \quad (4.11)$$

, který je platný v rozsahu $Re \in (105; 106)$. [2]

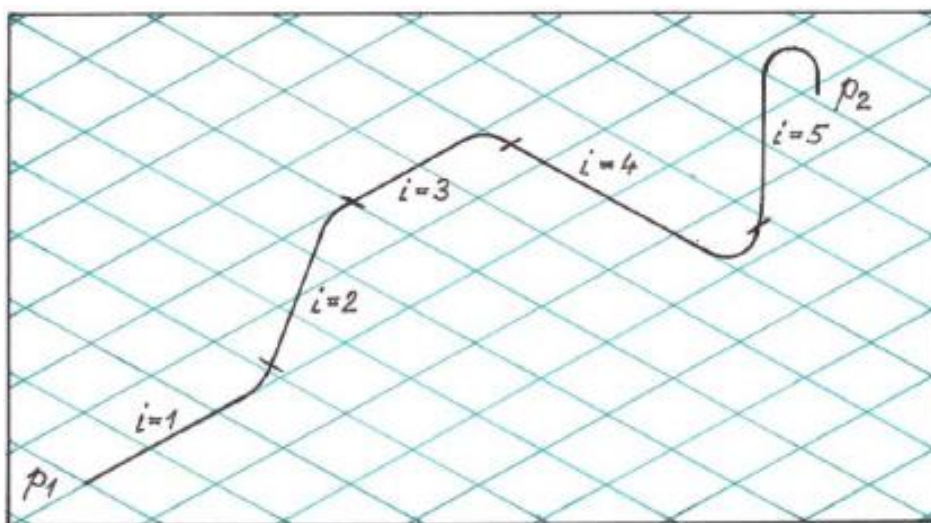
4.7. Výpočtové metody středotlaké pneumatické dopravy

Pro výpočet středotlakého a vysokotlakého dopravníku nelze na rozdíl od středotlakého dopravníku zanedbat expanzi a změnu hustoty ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], plynu v celé délce přepravního potrubí, která způsobuje změnu rychlosti proudění v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Pro středotlakou a vysokotlakou dopravu je tlakový spád dp/ds funkcí veličin, které v průběhu dopravy mění svou hodnotu po celé délce dopravního potrubí. Aby mohla být úloha řešitelná, musí se uvážit určitá zjednodušení. Pro výpočet pneumatických dopravníků existuje několik metod.

4.7.1. Metoda aditivnosti

Princip metody aditivnosti spočívá v rozdělení celkové trasy dopravníku na několik kratších úseků. O celkovém počtu i , přičemž oblouky jsou brány jako samostatné úseky. Rozdělení dopravního potrubí na jednotlivé úseky je znázorněno v obrázku 15.

V každém i -tém úseku se předpokládá konstantní hustota plynu ρ_i [kg.m⁻³], a izotermická změna stavu plynu. Tlaková ztráta úseku Δp_i [Pa], se vypočte využitím principu aditivnosti a pomocí vztahů uvedených v **tabulce**. Tato tlaková ztráta Δp_i [Pa], způsobuje změnu počátečního tlaku v dopravním potrubí $\Delta p_{i,poc}$ [Pa], na tlak na konci potrubí $\Delta p_{i,kon}$ [Pa], který se uvažuje jako počáteční tlak dalšího úseku dopravního potrubí. Uvažujeme-li úsek i , s počátečním tlakem $p_{i,poc}$ [Pa], pak tomuto tlaku dle stavové rovnice odpovídá hustota plynu ρ_i [kg.m⁻³]. Za předpokladu izotermické změny plynu v délce potrubí i , lze stanovit dle stavové rovnice při izotermické změně $p_i \cdot v_i = \text{konstantní}$, rychlost plynu na počátku úseku v_i [m.s⁻¹]. Při proudění dochází ke změnám rychlosti přepravního plynu v_i [m.s⁻¹], a přepravovaného materiálu u_i [m.s⁻¹], při konstantní hodnotě směšovacího poměru $\beta = u_i / v_i = \text{konst.}$ Současně se změnou dopravní rychlosti plynu se mění v jednotlivých úsecích dopravního potrubí součinitel dopravy k_i [-]. Tyto veličiny jsou tedy pro výpočet tlakové ztráty úseku Δp_i [Pa], pro daný úsek konstantní. Uvedené veličiny se v délce dopravního potrubí vlivem poklesu tlaku rázovitě mění. Pro výpočet jsou zanedbávány tlakové ztráty na urychlení přepravního planu a přepravovaného materiálu, proto je možné tuto metodu použít pouze pro středotlaké dopravníky o tlakových ztrátách maximálně $\Delta p_{\max} = 25$ kPa.



Obrázek 15. Rozdělení pneumatického dopravníku na jednotlivé úseky [2]

4.7.1.1. Princip metody aditivnosti

Metoda využívá předpokladu, že tlaková ztráta směsi dopravovaného materiálu a přepravního plynu je rovna součtu tlakové ztráty při proudění samotného plynu a tlakové ztráty způsobené samotnou přítomností dopravovaného materiálu. Tyto složky tlakové ztráty

lze získat řešením odpovídající části obecné rovnice tlakového spádu (4.2), a celková ztráta je součtem těchto dílčích složek. Odvození složek je popsáno v literatuře [2]

Složka tlakové ztráty	Čistý přepravní plyn	Materiál
Počáteční urychlení	$p_d = \frac{v^2}{2} \rho$	$2\mu \frac{u}{v} p_d$
tření	$\frac{\lambda}{d} s p_d$	$k\mu \frac{\lambda}{d} s p_d$
zdvih	$\varepsilon \rho g H \cong \rho g H \cong 0$	$\varepsilon \rho \mu \frac{v}{u} g H \cong \rho \mu \frac{v}{u} g H$
Místní ztráty	$\sum \zeta p_d$	$\mu \frac{v^2}{2} \rho \sum \gamma \zeta = \mu p_d \sum \gamma \zeta$

Tabulka 1. Přehled odvozených vztahů z rovnice tlakového spádu [2]

4.7.2. Modifikovaná metoda aditivnosti

Při užití této metody se celá trasa pneumatického dopravníku rozdělí na několik kratších úseků a oblouky se přiřazují vždy k předcházející rovné části potrubí (viz obrázek 15). Počet úseku dopravní trasy, na které je celý dopravník rozdělen závisí na stupni požadované přesnosti výpočtů tlakové ztráty. Aby mohla být metoda aditivnosti použitelná pro výpočet středotlaké dopravy, musí být vzorce uvedené v tabulce 1, doplněny o ztrátu na urychlení plynu a ztrátu na urychlení materiálu. V následující kapitole jsou popsány metody výpočtu tlakových ztrát se zohledněním změny hustoty plynu v délce dopravní trasy. Modifikovaná metoda aditivnosti může být aplikována ve dvou variantách.

4.7.2.1. První varianta modifikované metody aditivnosti

Tuto variantu lze použít pouze pro výpočet středotlaké pneumatické dopravy materiálu. Modifikace metody spočívá v začlenění korekce do výpočtu na celkové urychlení plynu a celkové urychlení materiálu k tlakové ztrátě dopravního potrubí. Je-li počáteční rychlost přepravního plynu v prvním úseku rovna v_1 [m.s⁻¹], a v posledním úseku rovna v_2 [m.s⁻¹], jsou tlakové ztráty na celkové urychlení plynu $\Delta p_{u,v}$ [Pa] a celkové urychlení materiálu $\Delta p_{u,m}$ [Pa] stanoveny použitím následujících vztahů

$$\Delta p_{u,v} = \varepsilon \rho_1 v_1 (v_2 - v_1) \quad (4.12)$$

$$\Delta p_{u,m} = \varepsilon \rho_1 \mu v_1 (u_2 - u_1) = \varepsilon \rho_1 \mu v_1 \beta (v_2 - v_1) \quad (4.13)$$

4.7.2.2. Druhá varianta modifikované metody aditivnosti

Tuto variantu lze použít pro výpočet tlakových ztrát pro středotlaké i vysokotlaké pneumatické dopravníky. Modifikace spočívá v korekci pro postupné urychlování plynu a postupné urychlování materiálu v délce přepravního potrubí. Oproti první variantě modifikované metody aditivnosti se u této varianty přičítají korekce podle vztahů (4.12) a (4.13) postupně k tlakovým ztrátám jednotlivých úseků dopravního potrubí. Index 1 ve vztazích (4.12) a (4.13), označuje podmínky na počátku uvažovaného úseku a index 2 označuje podmínky na konci uvažovaného úseku. Vypočítané tlakové ztráty $\Delta p_{u,v}$ [Pa] a $\Delta p_{u,m}$ [Pa], se přičítají k ostatním složkám tlakové ztráty počítaného úseku dopravního potrubí. Tímto se získá nová výsledná hodnota ztráty úseku, kterou je zpřesněn výpočet tlaku a tím i rychlosti plynu na konci počítaného úseku v_2 [m.s⁻¹].

4.7.3. Urbanova metoda

Jedná se o relativně přesnou a rychlou metodu výpočtu pneumatických dopravníků. Celková tlaková ztráta dopravního potrubí je dána tlakovým spádem

- třením dopravního plynu a dopravovaného materiálu
- místní ztrátou plynu a materiálu (vznik při změně směru proudění v dopravním potrubí)
- urychlením plynu a materiálu v délce dopravního potrubí

Tlaková ztráta počátečním urychlením a zdvihem materiálu se přičítá k celkové tlakové ztrátě. Aby mohla být Urbanova metoda použita k výpočtu, musí se předpokládat konstantní hodnota součinitele dopravy $k = \text{konst.}$, izotermická změna stavu přepravního plynu a konstantní průměr přepravního potrubí $d = \text{konst.}$ Postup řešení upravené rovnice tlakového spádu, která je odvozena z rovnice (4.8), se liší pro přetlakovou a podtlakovou pneumatickou dopravu materiálů. Podle typu přepravy se tedy volí postup výpočtu. Pro přetlakovou dopravu materiálu se předpokládá známá tlaková podmínka na konci dopravního potrubí, např. $p_2 = p_b$ [Pa], zatímco pro podtlakovou pneumatickou dopravu materiálu se předpokládá známá tlaková podmínka na začátku přepravního potrubí např. $p_1 = p_b$ [Pa]. Nevýhodou této metody, pro výpočet přetlakové dopravy, je volba vstupních parametrů, zejména pak hodnoty dopravního součinitele k [-]. Přesnost výpočtu je proto závislá především na zkušenostech a dobrém odhadu projektanta, který se při chybné volbě dopravního součinitele může dopustit velké nepřesnosti ve výpočtu celkové tlakové ztráty dopravního trasy. [2]

5. Vlastní řešení

Pro praktickou část diplomové práce a názornost, byla vybrána pekárna NoVy Vacov, spol. s r.o., která má systém přepravy mouky v rámci podniku řešenou právě středotlakými pneumatickými dopravníky. Pekárna pro měření poskytla počítač, který slouží k ovládání dopravníků, informace o množství spotřebované mouky za určité časové období a informace o zkušenostech s provozem pneumatických dopravníků.

5.1. Vybraný podnik Pekárna NoVy Vacov, spol. s r. o.

Historie

Stavba pekárny byla zahájena v roce 1958. Do provozu byla uvedena v srpnu 1960. Od svého vzniku zásobovala svými výrobky území tehdejšího okresu Vimperk. Mezi spotřebiteli si získala velice brzy dobré jméno díky kvalitě svých výrobků, mezi něž patřil především tehdy běžný tříkilový kulatý chléb. Pekárna ovšem vyráběla i na tehdejší dobu poměrně široký sortiment jak běžného, tak především jemného pečiva. Výrobu a distribuci tehdy zajišťovalo zhruba 27 zaměstnanců. V letech 1974–80 prošla řadou modernizací a přestaveb, které pekárně daly základ současného charakteru. Původní parní pec nahradily průběžné pásové pece. Rozšířeny byly expediční i skladové prostory, vybudováno bylo zázemí pro údržbu vozového parku s řadovými garážemi pro rozvozová vozidla. Celá tato etapa byla dovršena vybudováním moučného hospodářství s pneumatickou dopravou mouky z venkovních ocelových sil. Tím se pekárna Vacov stala ve své době jedním z nejmodernějších pekařských provozů na jihu Čech a v této podobě přetrvala bez podstatných změn až do privatizace v roce 1993. [12]

Současnost

V roce 1993 byla pekárna privatizována společností NoVy Vacov, spol. s r.o. Ve své novodobé historii navázala na dobrou pověst a zaměřila se na další zkvalitňování a rozšiřování služeb v oblasti dodávek pekařských výrobků. Postupně rozšířila dodávky svých výrobků do podstatné části jižních Čech i přilehlé části západních Čech. Protože pekárna je dlouhodobě zaměřena na výrobky s vysokou kvalitou, odpovídá tomu i struktura obchodních partnerů, ke kterým zásadně nepatří ti, jež především preferují nízkou cenu. Tato filosofie je i základem dosavadní dobré ekonomické prosperity. V současnosti pekárna vyrábí ucelený sortiment chleba, běžného a jemného pečiva. Nejoblíbenějšími a nejprodávanějšími výrobky jsou chléb z klasicky vedeného žitného kvasu „Šumava“ a "Žitovec", které v roce 2017 doplnil

chléb "Žitňák", dále chléb „Bobík“ a specifický „vacovský rohlík“. Převážný objem výroby chlebů a běžného pečiva probíhá na výrobních linkách s minimálním podílem ruční práce. Jemné a celozrnné pečivo je vyráběno z podstatné části klasickým ručním tvarováním a plněním. Výroba a distribuce je v současnosti zajišťována zhruba 100 zaměstnanci. [12]

5.2. Popis současného systému pneumatické dopravy mouky

První pneumatický dopravník mouky byl do pekárny NoVy Vacov, spol. s r.o., instalován již v roce 1980. Následně pak koncem roku 2000 prošel modernizací, kdy byl zvýšen stupeň automatizace dopravy mouky, byly změněny pozice a systém odběru mouky z denních zásobníků a celková inovace jednotlivých komponentů dopravního systému. V tomto stavu až na výjimky setrval do současnosti. Během provozu se dopravní systém jevil doposud jako spolehlivý s minimální četností závad. V případě výskytu závady, byla údržba podniku schopna velmi rychle dopravník uvést alespoň do částečně provozuschopného stavu a zajistit tak nezbytně nutné množství mouky v denním zásobníku.

5.2.1. Dopravníky a přepravovaný materiál

Druhy používané mouky a její spotřeba v měsíci srpnu 2017:

T512	pšeničná mouka hladká, světlá	95 000 kg
T930	žitná mouka tmavá, chlebová	50 000 kg
T1050	pšeničná mouka hladká, chlebová	55 000 kg

Pneumatická doprava mouky je v pekárně rozdělena na dopravníky, z nichž každý dopravuje jiný druh mouky.

Dopravníky č. 1 a 2 mají společné některé komponenty, tudíž musejí být do systému zařazeny prepínací ventily, které udávají směr toku přepravního vzduchu nebo směsi přepravního vzduchu a přepravovaného materiálu. Tyto dva dopravníky mají společné hnací dmyhadlo, proto jsou bezprostředně za ním zařazeny dva pneumatické ventily (3 a 4), které uzavírají nebo naopak vpouštějí proud vzduchu z dmyhadla do odpovídajícího dopravníku. Další společnou částí těchto dvou dopravníků jsou dva paralelně spojené prosévače mouky (8 a 9), tudíž musejí být před nimi a za nimi zařazeny prepínací ventily (7 a 10). Poslední společnou částí těchto dvou dopravníků je dmyhadlo čerání (14), jehož činnost je ovládána dvojicí elektromagnetických ventilů (5), umístěných ve spodní části patřičného sila. Schéma těchto dopravníků je uvedeno na obrázku č. 16.

Dopravník č.1:

Přepravuje mouku T930 ze sil E a F do denního zásobníku Z1. Tento dopravník má společnou část s dopravníkem č.2 dlouhou devět metrů, na jejíž konci jsou umístěné prosévače mouky.

Parametry dopravníku:

délka dopravníku od dmyhadla k prvnímu směšovači:	23 m (8 oblouků)
délka dopravníku od prvního směšovače do Z1:	27 m (4 oblouky)
přetlak v potrubí při vypnutém směšovači:	11,2 kPa
nastavený dopravní tlak:	45 kPa

Dopravník č.2:

Přepravuje mouku T1050 ze sil B a C do denního zásobníku Z2.

Parametry dopravníku:

délka dopravníku od dmyhadla k prvnímu směšovači:	27 m (9 oblouků)
délka dopravníku od prvního směšovače do Z2:	32 m (4 oblouky)
přetlak v potrubí při vypnutém směšovači:	12 kPa
nastavený dopravní tlak:	45 kPa

Dopravník č.3:

Přepravuje mouku T512 do zásobníků Z3 a nejvzdálenějšího zásobníku Z3. V bezprostřední blízkosti zásobníku Z4 je umístěn přepínací ventil, který určuje trasu k zásobníku Z3 nebo Z4.

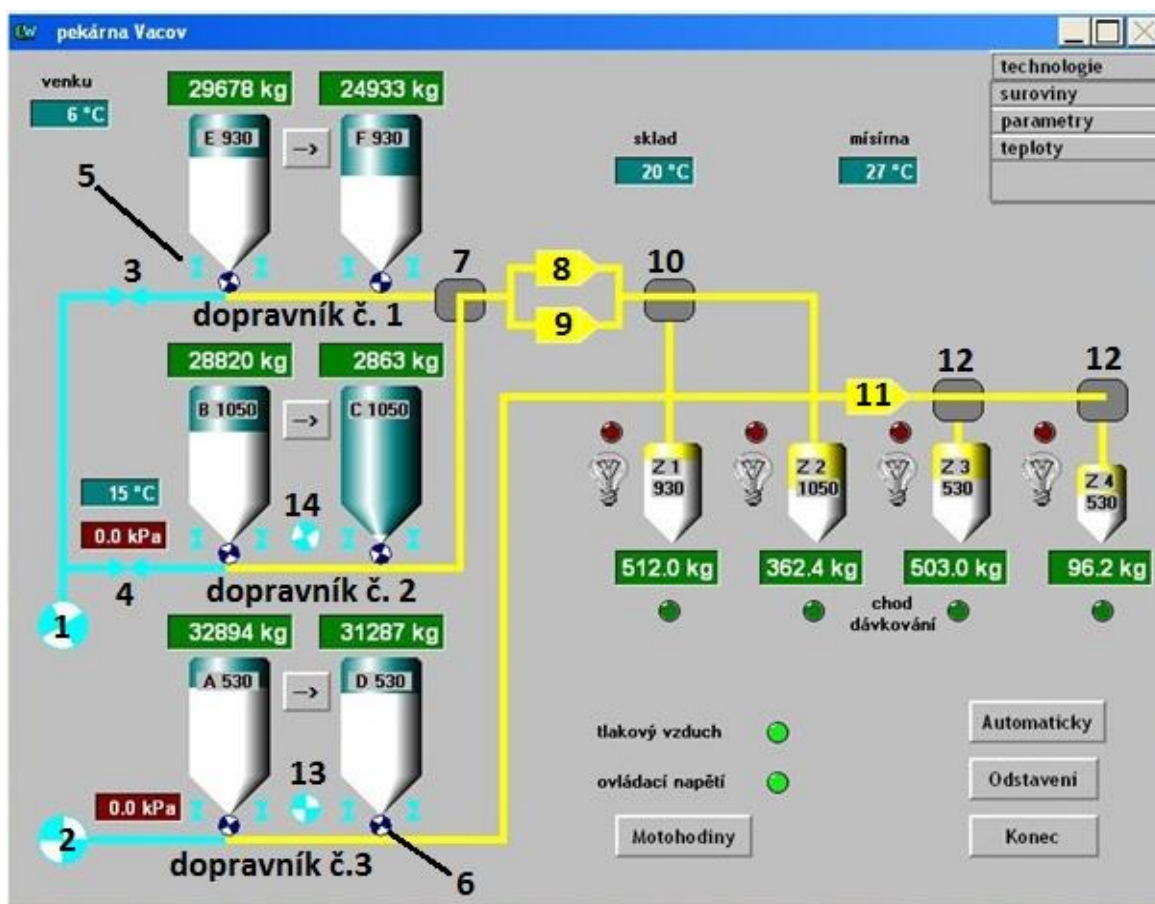
Parametry dopravníku:

délka dopravníku od dmyhadla k prvnímu směšovači:	25 m (9 oblouků)
délka dopravníku od prvního směšovače do Z3:	41 m (6 oblouků)
délka dopravníku od prvního směšovače do Z4:	75 m (9 oblouků)

přetlak v potrubí při vypnutém směšovači (do Z3):	14 kPa
přetlak v potrubí při vypnutém směšovači (do Z4):	18 kPa
nastavený dopravní tlak (do Z3):	40 kPa
nastavený dopravní tlak (do Z4):	43 kPa

5.2.2. Ovládání dopravníků

Všechny tři větve pneumatických dopravníků jsou řízeny automatem umístěným v elektrické rozvodné skříni. Provoz dopravníků je plně automatizován a není mu nutné při provozu věnovat vyšší pozornost. V případě závady není proces přepravy vůbec spuštěn a závada je ohlášena varovným zvukovým signálem a rozsvícením červeného kontrolního světla.



Obrázek 16. Vizualizační software pro ovládání pneumatických dopravníků mouky

Popis obrázku 16:

1 – nejnovější dmychadlo, 2 – starší dmychadlo; 3, 4 – elektropneumatické ventily; 5 – elektromagnetické ventily čerění; 6 – rotační podavače; 7, 10, 12 – přepínací ventily (hnané třífázovým elektromotorem); 8, 9, 11 – rotační prosevače mouky; 13, 14 – dmychadla čerění

5.2.2.1. Vizualizační software

K ručnímu ovládání i nastavení hodnot pro automatický provoz slouží vizualizační software, který dále zobrazuje i aktuální hodnoty množství mouky v zásobních silech, aktuální množství mouky v denních zásobnících, přepravní tlaky v potrubí, venkovní teplotu a teplotu ve vybraných prostorech pekárny. Ve schématickém znázornění v ovládacím softwaru, jsou schematicky vykresleny všechny komponenty dopravníků a při jejich skutečné činnosti je zahájena jejich animace. Program je možné přepnout do ručního ovládání, odkud je možné každou komponentu systému dopravníku ovládat samostatně. Vizualizační software je znázorněn na obrázku č. 16.

5.2.2.2. Konfigurace automatického provozu

Aby mohl systém dopravníků pracovat automaticky, je nutné do ovládacího automatu zadat hodnoty, kterými se bude automat při svém provozu řídit. Tyto hodnoty se mohou v průběhu času postupně měnit, například výměnou nějaké komponenty dopravníku může dojít ke změně provozního tlaku nebo v závislosti na požadavku zvýšení výkonu dopravníku bude nutné zvýšit požadovaný plnicí tlak. K této konfiguraci slouží záložka „parametry“, kterou obsahuje vizualizační software. Záložka „technologie“ slouží pro naskladnění mouky do ocelových sil, do které se zadává hodnota rozdílu hmotnosti plného a prázdného nákladního automobilu, která je získána pomocí mostové váhy. Tato konfigurační tabulka je znázorněna na obrázku 17.

Popis obrázku 17:

minimum [kg] – hmotnost v denním zásobníku, při které se spouští proces dopravy mouky

maximum [kg] – hmotnost v denním zásobníku, při které se ukončuje proces dopravy mouky

požadované tlaky pseudopravy [kPa] - požadovaný plnicí tlak do denních zásobníků

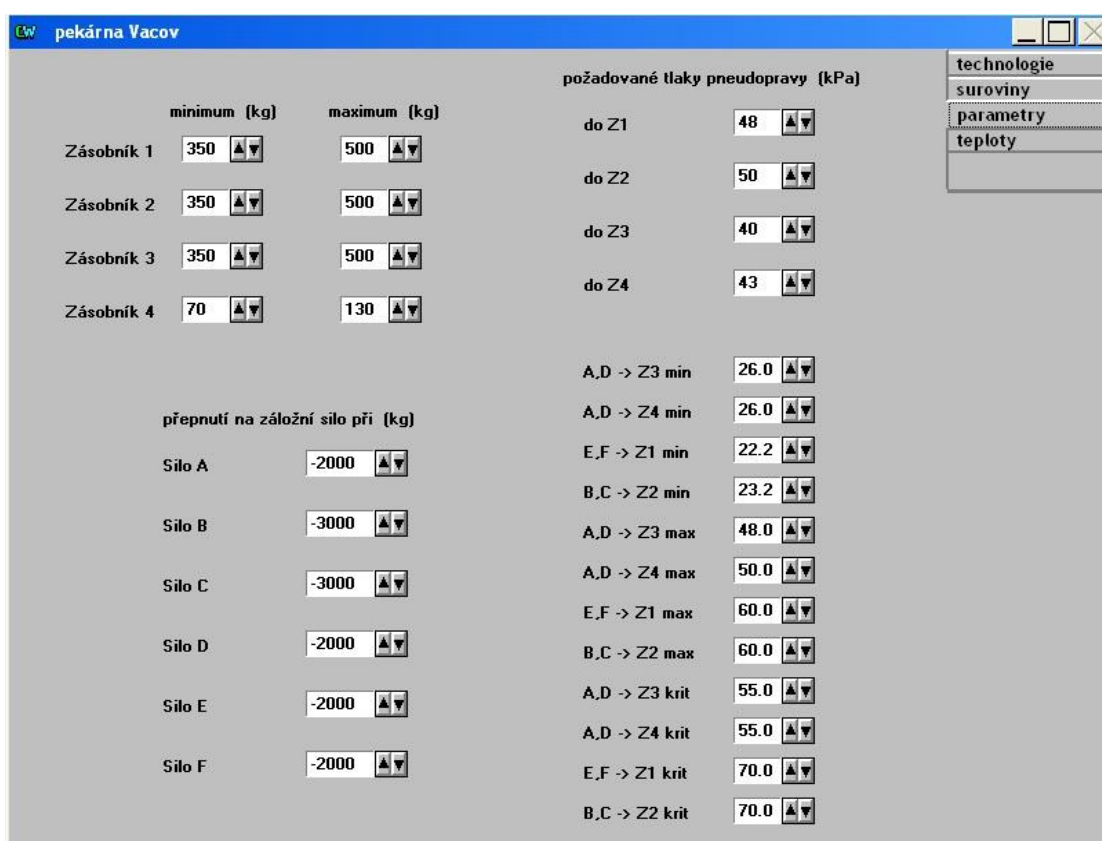
přepnutí na záložní silo [kg] – hmotnost mouky v sile, při které je přepnuto na druhé silo

min. tlak – tlak, který musí být při přepravě překonán. Nedosažení tohoto tlaku může způsobit prázdné zdrojové silo, netěsnost dopravního potrubí, porucha dmychadla, porucha směšovače

a podobně. Není-li tento tlak po určité době dosažen, dochází k odstavení celého systému pneumatické dopravy a poruchovému hlášení.

max. tlak – tlak, který nesmí být při přepravě dlouhodobě překonán. Přesažení tohoto tlaku může způsobit ucpání systému a je řešeno zastavením činnosti směšovače.

krit. tlak – tlak který nesmí být při přepravě dosažen. V případě dosažení tohoto tlaku je celý systém pneumatické dopravy odstaven.



Obrázek 17. Vizualizační software – konfigurace

5.2.2.3. Proces přepravy mouky pneumatickým dopravníkem

V případě, že hmotnost mouky v denním zásobníku klesne pod nastavenou hodnotu, spustí se proces přepravy materiálu. Nejprve se přepínací ventily na potrubí přestaví do odpovídající polohy, následně se spustí hnací dmychadlo, prosévačky a dmychadlo čeření. Dále probíhá kontrola tlaku v potrubí. Je-li stav systému vyhodnocen v pořádku, spustí se plynule rotační směšovač, který je řízen na základě okamžitého tlaku na začátku potrubí, frekvenčním měničem tak, aby bylo dosaženo nastaveného plnicího tlaku. V případě dosažení maximální nastavené hodnoty tlaku vypne ovládací systém rotační směšovač a čeká, až tlak poklesne,

pokud tlak dosáhne kritické hodnoty, vyřadí se celý systém z činnosti. Při dosažení nastavené hmotnosti mouky v denním zásobníku se nejprve vypne rotační směšovač a následně dochází k vytlačení zbylé mouky z potrubí, z tohoto důvodu jsou denní zásobníky zpravidla o 5-10 kg přeplňovány oproti nastavené hodnotě. Je-li vše v pořádku, vypne se prosévačka, dmychadlo čerání a naposled dmychadlo hnací. Přepínací ventily potrubí se přestaví do základní polohy a systém je připraven na další cyklus přepravy mouky.

5.2.2.4. Ruční ovládání dopravníků

V případě že nastane závada v automatickém provozu dopravníků, nebo je z nějakého důvodu nutno dopravníky ovládat ručně (údržba, servis apod.), je zde možnost ručního ovládání k dispozici. Ruční ovládání jednotlivých dopravníků je možné dvěma způsoby.

Prvním způsobem je přepnutí vizualizačního software do ručního režimu, kdy se u jednotlivých schématických značek komponentů zobrazí tlačítka, pomocí který lze plnohodnotně tyto komponenty ovládat prostřednictvím myši počítače.

Druhou možností je použití mechanických přepínačů, umístěných na plechových dveřích elektrické rozvodné skříně dopravníků.

5.2.3. Komponenty současného pneumatického dopravníku

5.2.3.1. Mostová váha

Vzhledem k tomu, že ocelová sila pro skladování mouky nejsou opatřena žádným snímačem hmotnosti či objemu naskladněné mouky, musí být informace o skutečném množství uvnitř sila získána externím způsobem. Nákladní automobil, který zásobuje pekárnu moukou je vážen v naplněném stavu a následně ve stavu po vyprázdnění. Vzhledem k tomu, že vyprázdnění automobilu trvá více než hodinu a pro vyprazdňování je použito dmychadla, které je součástí automobilu, musí být počítáno i s hodnotou úbytku paliva v automobilu.

5.2.3.2. Dmychadlo

Jako hnací agregáty jsou zde použita tři Rootsova dmychadla, z nichž dvě jsou v aktivní činnosti. Nejnovější dmychadlo obsluhuje denní zásobníky Z1 a Z2, starší, repasované dmychadlo zásobníky Z3 a Z4 a nejstarší dmychadlo slouží jako záložní pro případ poruchy jednoho z předchozích. Třífázový elektromotor o výkonu 18,5 kW, pro pohon dmychadla je spouštěn pomocí automatického spouštěče hvězda-trojúhelník. Přenos točivého momentu mezi elektromotorem a dmychadlem je proveden pomocí dvou klínových řemenů. Převodový poměr

řemenic je navržen tak, aby dmychadlo procouvalo s provozními otáčkami 2250 ot.min⁻¹. Vzduch do dmychadel je nasáván přímo z prostoru, ve kterém jsou umístěna a sací potrubí je opatřeno filtrem s papírovou filtrační vložkou. Přívod vzduchu do prostoru dmychadel je zajištěn otvorem u stropu místnosti (u země ve dvoře areálu pekárny), o rozměrech 40 x 40 cm, opatřen žaluziemi. Dmychadla jsou umístěna v místnosti, která je z větší části pod úrovní terénu, vysoká hlučnost při chodu dmychadel je tedy do značné míry utlumena. Obrázek dmychadel je umístěn v příloze.

Specifikace dmychadla (1):

Typové označení:	DRESSER ROOTS™ 56 U-RAI DSL HM
maximální průtok vzduchu:	540 CFM
maximální přetlak vzduchu na výstupu:	13 psi
maximální podtlak vzduchu na výstupu:	15 Hg
maximální otáčky dmychadla:	2850 ot.min ⁻¹
minimální otáčky dmychadla:	763 ot.min ⁻¹
hmotnost:	81,8 kg

5.2.3.3. Ovládací ventily dopravního potrubí

V celém systému dopravníků je celkem pět ventilů, z nichž dva (3 a 4), jsou umístěny bezprostředně za dmychadlem (1), které slouží pro volbu dopravní trasy mezi dopravníky číslo 1 a 2. Jedná se o pneumaticky ovládané ventily. Další tři ventily (7, 10 a 12), slouží k přeměrování směsi proudícího vzduchu a mouky do potřebné větve potrubí. Tyto ventily jsou ovládané elektromotorem. Schéma umístění ventilů je znázorněno na obrázku 16.

Ventily pro volbu dopravní trasy mezi dopravníky č. 1 a 2:

Tyto ventily jsou ovládané elektromagnetickými ventily, které do nich vpouštějí stlačený vzduch, jehož rozvod je zabezpečen po celém prostoru pekárny, jelikož pneumaticky ovládaných strojů je v tomto provozu velké množství. Příruba ventilu má na svém obvodu několik otvorů pro šrouby a montuje se mezi standartní topenářské příruby, jejichž poloha otvorů pro šrouby by vždy měla korespondovat s některými z připravených otvorů na přírubě ventilu. Těsnost spojení zabezpečují pryžové O-kroužky.

Při vpuštění tlaku do pneumatického mechanismu je přestavena plechová klapka ventilu o 90° a tím je ventil plně otevřen. Nejsou zde možné žádné mezi-polohy, pouze plně otevřeno

nebo plně zavřeno. Dále jsou ventily opatřeny koncovými spínači, které signalizují jejich skutečnou polohu do řídicího automatu. Během své funkce projevily tyto ventily vysokou provozní spolehlivost. Případné závady nastaly například v poruše koncového spínače nebo zatuhnutí přepínacího mechanismu, obě tyto závady byly během několika desítek minut diagnostikovatelny a odstranitelné. Obrázek ventilu je umístěn v příloze.

Specifikace ventilu:

Typové označení:	PRISMA P1
Maximální ovládací tlak vzduchu:	8 bar

Ventily pro přesměrování směsi dopravního vzduchu a mouky:

Jedná se o přepínací ventily, které směřují tok směsi přepravního vzduchu a mouky ze zdrojového potrubí do jednoho nebo druhého potrubí či naopak. Přestavení ventilu zajišťuje třífázový elektromotor se šnekovým převodem. Ventil je opatřen koncovými spínači, které signalizují skutečnou polohu ventilu do řídicího automatu. Tyto ventily jsou již starší, není u nich znám výrobce ani technické parametry. Svou funkci plní spolehlivě bez vyšší četnosti závad. Náhradní díly pro ně již nejsou ale dostupné. Obrázek ventilu je umístěn v příloze.

5.2.3.4. Dopravní potrubí

V délce dopravní trasy se vyskytují dva průměry dopravních potrubí. Spojovací potrubí od dmyhadla k prvnímu silu je ocelové, svařované o průměru 120 mm. V těsné blízkosti před směšovačem prvního silu je tento průměr redukován na 90 mm a dále je potrubí z nerezavějící oceli, spojované přesuvnými spojkami. Od prvního silu pokračuje potrubí do směšovače druhého silu, následně pomocí dvou oblouků do výšky tří metrů nad úroveň směšovačů, kde prochází obvodovou stěnou pekárny do prostoru skladu surovin. Za průchodem stěnou jsou na dopravních potrubích oblouky, které změny směr potrubí na rovnoběžný se stěnou a následně je trasa dopravníků č. 1 a 2 sloučena pomocí přepínacího ventilu. Společná trasa těchto dvou dopravníků pokračuje devět metrů a následuje rozdělené potrubí směřující do dvou paralelně zařazených prosévačů mouky, za kterými se potrubí opět spojuje. Dále potrubí prochází stěnou do prostoru mísírny těsta, kde je trasa dopravované mouky přesměrována do denního zásobníku Z1 nebo Z2.

5.2.3.5. Přetlak v potrubí

Pro sledování přetlaku je bezprostředně za dmyhadlem umístěn na potrubí univerzální elektronický snímač tlaku TMG 518 R3F. Snímač je napájen 24 V DC a změna tlaku v potrubí

je snímačem převedena na změnu elektrického napětí na výstupním kontaktu tohoto snímače. Tyto hodnoty vyhodnocuje řídicí automat, který je převádí na číselné hodnoty přetlaku. Rozsah měření snímače je omezen do 100 kPa. Obrázek snímače je umístěn v příloze.

5.2.3.6. Sila na mouku

Pekárna vlastní šest ocelových sil, každé z nich o kapacitě až čtyřicet tun, ale z bezpečnostních důvodů se plní maximálně třiceti pěti tunami mouky. Sila jsou v horní části opatřena textilními odlučovači vzduchu, pro pneumatické plnění z přepravních cisteren na mouku. Hnacím agregátem pro plnění sila je nejčastěji dmyhadlo, které je přímo součástí zásobovacího automobilu, nebo lze případně využít i dmyhadla určeného pro přepravu mouky ze sil do denních zásobníků. Ve spodní části sil jsou umístěny rotační směšovače pro dávkování mouky do dopravního potrubí. Plynulý odběr mouky zajišťuje systém čerání, který je tvořen dmyhadlem s bočním kanálem a dvěma elektromagnetickými ventily, které střídavě vpouštějí tlakový vzduch z protilehlých míst nad rotační směšovač do kuželové části sila.

V ocelových silech jsou uskladňovány tři druhy mouky. Z technologických a kapacitních důvodů jsou ocelová sila rozdělena do dvojic, ve kterých je vždy stejný typ mouky, přičemž jedno silo z dvojice slouží k aktuální spotřebě a ve druhém síle mouka na základě technologických požadavků, pro pekařskou výrobu, určitý čas zraje. Sila jsou válcového tvaru, mají průměr pláště tři metry, výšku patnáct metrů a jsou umístěna na betonové, vyvýšené ploše, ve dvou řadách a označena písmeny A, B, C, D, E a F. Sila nejsou opatřena žádným snímačem množství ani hmotnosti naskladněné mouky. Pro určení množství naskladněné mouky slouží mostová váha umístěna ve dvoře pekárny.

5.2.3.7. Rotační směšovač

Pro směšování přepravované mouky a přepravního vzduchu slouží rotační směšovač umístěný v dolní části ocelového sila. Pro pohon směšovače je použit třífázový motor s převodovou skříní, pro dosažení nižších otáček na výstupu a vyššího točivého momentu. Otáčky motoru rotačního směšovače jsou řízené frekvenčním měničem, který se změnou frekvence elektrického proudu snaží dosáhnout a udržet co nejpřesnější hodnotu nastaveného plnicího tlaku ve vizualizačním softwaru.

5.2.3.8. Prosévače mouky

Součástí všech okruhů pneumatických dopravníků mouky v pekárně jsou rotační prosévače mouky, jejichž úkolem je zachycení hrubších nečistot v mouce. Jedná se o hrncové

děrované síto, které při svém provozu rotuje a odstředivou silou je mouka prosévána. Nejčastěji se v prosévači zachycují kameny, kovové součástky ze strojů na výrobu nebo přepravu mouky nebo hrudky vzniklé navlhnutím mouky.

5.2.3.9. Denní zásobníky

Z ocelových sil je mouka pneumatickým dopravníkem dopravována do tří denních zásobníků o kapacitě 500 kg, ve vzdušné vzdálenosti přibližně 20 až 25 metrů od ocelových sil, dále do jednoho zásobníku o kapacitě 150 kg, ve vzdušné vzdálenosti přibližně 60 metrů od ocelových sil. Význam denních zásobníků spočívá zejména v technologickém požadavku na teplotu mouky před spotřebou. Všechny denní zásobníky jsou zavěšeny na tenzometrických snímačích, které pomocí převodníku určují aktuální hmotnost denního zásobníku. Informace o hmotnosti zásobníku slouží pro regulaci množství dávkované mouky do díže mísícího stroje pro výrobu těsta a také pro ovládací software pneumatického dopravníku, ve kterém se nastavují hodnoty spínacích a vypínacích hmotností, pro doplnění denních zásobníků.

5.2.4. Technologické požadavky pekárny na pneumatickou dopravu

Pro správné kynutí a zrání těsta je důležitá jeho teplota. Tato teplota je ovlivněna teplotou jednotlivých surovin a dosažení požadované teploty je regulováno teplotou přidávané vody do těsta. V zimních měsících musí být těsto dohříváno teplou vodou, naopak v letním období musí být těsto chlazeno ledem, který v pekárně zabezpečují dva výrobce ledu. Pro kvalitu těsta je vždy nejlepší, aby rozdíly potřebné teploty těsta a teploty jednotlivých surovin byly co nejmenší. Pro úpravu teploty mouky před spotřebou slouží denní zásobníky, které jsou umístěny u stropu mísírny těsta, kde se teplota vzduchu celoročně pohybuje v rozmezí požadované teploty mouky před její spotřebou. Mouka je tedy ohřívána přes ocelovou stěnu zásobníku. Aby měla mouka v denním zásobníku co nejvíce času na přestup tepla, je doplňování zásobníku nastaveno tak, aby množství mouky v těchto zásobnících nekleslo pod 70 % kapacity. Maximální odběr mouky v jednom cyklu do jedné díže je sto kilogramů.

Spínací hodnoty pro jednotlivé denní zásobníky jsou nastaveny následovně:

Označení denního zásobníku	Spínací hodnota doplnění [kg]	Kapacita zásobníku [kg]
Z1	350	500
Z2	350	500
Z3	350	500
Z4	70	130

Tabulka 2. Spínací hodnoty doplňování denních zásobníků

Další požadavky:

Jelikož výroba těsta musí být dokončena v určitý čas s velmi malým časovým intervalem, je nutné, aby vyšší prioritu měl odběr mouky z denních zásobníků než jejich doplňování. V případě požadavku odběru mouky z denního zásobníku musí být přerušeno doplňování pneumatickým dopravníkem a vyčkáno na dokončení odběru, jelikož právě tenzometrické snímače, na kterých jsou denní zásobníky zavěšeny jsou zdrojem informací pro množství nadávkované mouky do díže.

5.3. Naměřené hodnoty pneumatického dopravníku mouky

Měření bylo provedeno dne 4.2.2018 na pneumatických dopravnících č. 1 a 2 pro přepravu mouky T930 a T1050. Tyto dva okruhy se liší pouze minimálně ve svém provedení a mají společnou část, kde jsou umístěny dva paralelně spojené prosévače mouky. Vzdálenost přepravy mouky u těchto dvou dopravníků je závislá také na aktuálně používaném ocelovém zásobním síle.

5.3.1. Postup měření

Pomocí vizualizačního, ovládacího software byly nastavovány hodnoty plnicího tlaku a měřen čas, ze který je dopravník schopen doplnit dvacet kilogramů mouky do denního zásobníku. Vzhledem k tomu, že nastaveného tlaku není dosaženo ihned po spuštění pohonu směšovače, jelikož každá změna otáček směšovače a tím i změna směšovacího poměru se na tlaku v přepravním potrubí projeví s určitým časovým zpožděním, muselo být vždy po zahájení měření vyčkáno na dosažení požadovaného plnicího tlaku a následně zahájit měření času přepravy určitého množství materiálu. Jelikož denní zásobníky nemají příliš vysokou kapacitu

a již před samotným zahájením měření (hlavně u vyšších nastavených tlaků), trvalo příliš dlouho a bylo přepraveno velké množství mouky, než byla dosažena a ustálena hodnota plnicího tlaku, byla pro měření zvolena hodnota přírůstku dvaceti kilogramů mouky do denního zásobníku. Pro zjednodušení měření byla použita videokamera, k pořízení videozáznamu monitoru počítače s vizualizačním softwarem. Záznam byl proveden vždy zpravidla s větším množstvím přepravené mouky, při dosažení nastaveného plnicího tlaku než, sledovaných dvacet kilogramů. Z videozáznamu byly následně odečteny časy pro přepravu dvaceti kilogramů mouky z nevhodnějšího časového úseku.

5.3.2. Zpracování naměřených hodnot

Každá hodnota času pro přepravu dvaceti kilogramů mouky při různých plnicích tlacích, byla pro oba dopravníky měřena třikrát. Hodnoty byly zaznamenány do tabulky, z nichž výsledná hodnota byla stanovena jejich průměrem. Tato průměrná hodnota byla následně přepočítána na hodnotu hmotnostního toku materiálu. Z hodnot závislosti hmotnostních toků mouky na velikosti plnicího tlaku byl vytvořen bodový graf se spojnicemi, pro oba dopravníky.

Naměřené hodnoty

Přeprava mouky T1050 ze sila B do zásobníku Z2					
Tlak v potrubí [kPa]	čas potřebný k přepravě 20 kg mouky [s]				hmotnostní tok [t/h]
	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	
25	88	89	88	88,3	0,82
30	51	52	50	51,0	1,41
35	36	37	36	36,3	1,98
40	27	28	27	27,3	2,63
45	21	22	21	21,3	3,38
50	18	18	18	18,0	4,00
55	11	12	11	11,3	6,35

Tabulka 3. Přeprava mouky T1050 ze sila B do zásobníku Z2

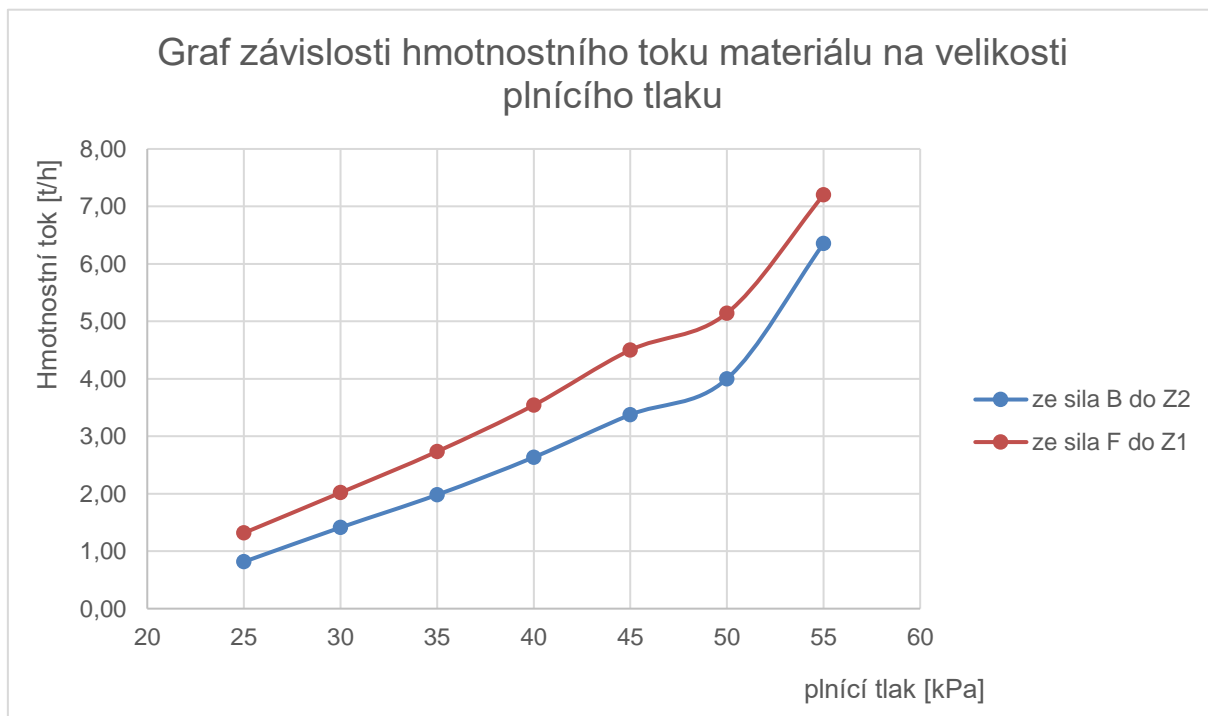
Přeprava mouky T930 ze sila F do zásobníku Z1					
Tlak v potrubí [kPa]	čas potřebný k přepravě 20 kg mouky [s]				hmotnostní tok [t/h]
	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	
25	55	54	55	54,7	1,32
30	36	35	36	35,7	2,02
35	26	26	27	26,3	2,73
40	20	21	20	20,3	3,54
45	16	16	16	16,0	4,50
50	14	14	14	14,0	5,14
55	10	10	10	10,0	7,20

Tabulka 4. Přeprava mouky T930 ze sila F do zásobníku Z1

Legenda k tabulkám 1 a 2:

Zeleně jsou vyznačeny aktuálně používané hodnoty plnicího tlaku

Graf závislosti hmotnostního toku materiálu na velikosti plnicího tlaku:



Graf 1. Závislost hmotnostního toku materiálu na velikosti plnicího tlaku

5.3.3. Vyhodnocení naměřených hodnot

Z grafů závislosti hmotnostního toku materiálu na velikosti plnicího tlaku je zřetelné, že hodnota hmotnostního toku přepravovaného materiálu roste s hodnotou plnicího tlaku téměř exponenciálně. Rozdíl v poloze křivek dopravníků č. 1 a 2 je způsoben rozdílnou vzdáleností přepravy mouky, jelikož v den měření bylo mouka odebírána ze sila B, které je vzdálenější na delším dopravníku č.2 a ze sila F, které je bližší na kratším dopravníku č.1. Rozdíl vzdálenosti dopravní trasy mezi těmito dvěma dopravníky je přibližně deset metrů. Dále se na rozdílné poloze křivek mohly projevit i rozdílné vlastnosti mouk T930 a T1050.

Přesnost měření:

Přesnost měření byla do značné míry ovlivněna přesností aktuální hodnoty zobrazené hmotnosti mouky v denním zásobníku, jelikož přírůstek při doplňování zásobníku neprobíhal plynule, ale skokovitě. Vyšší přesnosti bylo dosaženo při nižších hodnotách plnicího tlaku, kdy přírůstek hodnoty hmotnosti mouky v denním zásobníku byl po několika desetínách kilogramu naopak nižší přesnosti měření bylo dosaženo pro vyšší nastavené plnicí tlaky, kdy přírůstek hmotnosti mouky v zásobníku byl po více než kilogramu.

5.4. Výpočet tlakové ztráty pneumatického dopravníku

Pro výpočet parametrů pneumatického dopravníku byla zvolena modifikovaná metoda aditivnosti s korekcí na postupné urychlování dopravního plynu a postupné urychlování materiálu. Z metod uvedených v bodě 4.7., je tato metoda nejpřesnější.

5.4.1. Vstupní parametry pneumatického dopravníku č.2

Celková délka dopravní trasy	$l_c = 27 \text{ m}$
Délka prvního úseku	$l_1 = 3 \text{ m}$
Celkové převýšení dopravní trasy	$h_c = 4 \text{ m}$
Hmotnostní tok materiálu	$\dot{M}_m = 4 \text{ t.h}^{-1}$
Hustota materiálu	$\rho_m = 593 \text{ kg/m}^3$
Sypná hmotnost materiálu	$\rho_s = 600 \text{ kg.m}^{-3}$
Barometrický tlak okolí	$p_b = 98\,000 \text{ Pa}$
Přetlak na počátku potrubí	$p_p = 45\,000 \text{ Pa}$
Tlak na počátku dopravní trasy	$p_0 = 143\,000 \text{ Pa}$
Rychlost dopravního plynu na počátku trasy	$v_0 = 18 \text{ m.s}^{-1}$
Rychlost vznosu materiálu	$u_{vz} = 3 \text{ m.s}^{-1}$
Základní hodnota součinitele odporu	$\xi_y = 0,005$
Teplota nasávaného vzduchu	$t_0 = 11 \text{ °C}$
Teplota dopravovaného materiálu	$t_m = 5 \text{ °C}$
Měrná tepelná kapacita dopravovaného materiálu	$c_m = 0,8 \text{ kJ.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Vnitřní průměr potrubí dopravní trasy	$d = 0,09 \text{ m}$

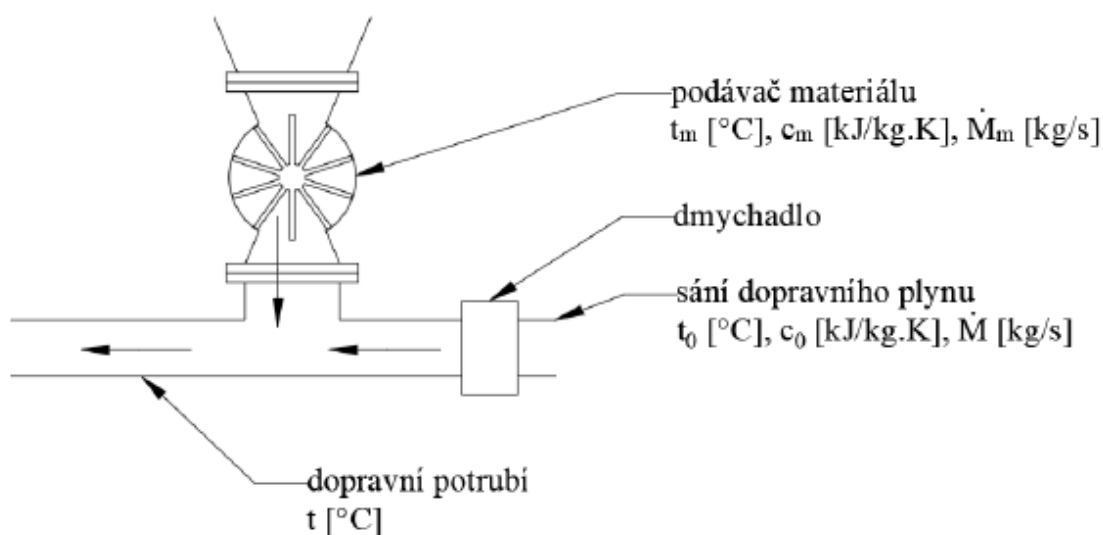
5.4.2. Postup výpočtu

V této kapitole je pro názornost uveden postup výpočtu prvního úseku dopravního potrubí. Po celé délce trasy se uvažuje konstantní vnitřní průměr potrubí d [m] a izotermická změna stavu. Vzhledem k tomu, že pro ostatní úseky dopravního potrubí se princip výpočtu a použité vzorce stále opakují, nebudou parametry dalších úseků počítány.

5.4.2.1. Výpočet tlaku na konci úseku

1) Výpočet hmotnostního průtoku dopravního plynu a materiálu

Jelikož je dopravována mouka o počáteční teplotě 5 °C přepravním plynem o teplotě 11 °C, je nutné vypočítat teplotu směsi za směřovačem. Výsledná teplota směsi vzduchu a přepravovaného materiálu se velmi rychle ustálí a lze pro zjednodušení počítat od začátku trasy s touto ustálenou teplotou. Vzhledem k délce dopravní trasy a rychlosti přepravy materiálu lze zanedbat tepelné ztráty do okolí dopravního potrubí. Pro výpočet je tedy uvažována izotermická změna stavu a je počítáno s konstantní teplotou směsi v celé délce dopravní trasy. Výpočet výsledné teploty směsi materiálu a přepravního vzduchu byl proveden podle obrázku 18.



Obrázek 18. Schéma k výpočtu výsledné teploty směsi za směšovačem

Hustota vzduchu před směšovačem:

$$\rho_0 = \frac{p_0}{r \cdot T_0} = \frac{143000}{287 \cdot 284,15} = 1,753 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Plocha průřezu potrubí před směšovačem:

$$S_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,12^2}{4} = 0,0113 \text{ m}^2$$

Hmotnostní tok vzduchu před směšovačem:

$$\dot{M} = \dot{V}_0 \cdot \rho_0 = S_0 \cdot v_0 \cdot \rho_0 = 0,0113 \cdot 18 \cdot 1,753 = 0,357 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Hmotnostní tok materiálu:

$$\dot{M}_m = 4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1} = 1,111 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Teplota směsi za směřovačem:

$$t_1 = \frac{c_m \dot{M}_m t_m + c_0 \dot{M} t_0}{c_m \dot{M}_m + c_0 \dot{M}} = \frac{0,8 \cdot 1,111 \cdot 5 + 1,01 \cdot 0,357 \cdot 11}{0,8 \cdot 1,111 + 1,01 \cdot 0,357} = 6,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Hustota vzduchu na začátku úseku:

$$\rho_1 = \frac{p_1}{r \cdot T_1} = \frac{142000}{287 \cdot 279,85} = 1,768 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Plocha průřezu potrubí (konstantní v celé délce trasy):

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,09^2}{4} = 0,00635 \text{ m}^2$$

Hmotnostní tok plynu (konstantní v celé délce trasy):

$$\dot{M} = \dot{V} \rho_1 = S \cdot v_1 \cdot \rho_1 = 0,00635 \cdot 18 \cdot 1,768 = 0,202 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

2) Výpočet směšovacího poměru

$$\mu = \frac{\dot{M}_m}{\dot{M}} = \frac{1,111}{0,202} = 5,5$$

3) Výpočet Freudeho čísla materiálu

$$Fr_{\check{c}} = \frac{gd}{u_{vz}^2} = \frac{9,81 \cdot 0,09}{3^2} = 0,981$$

4) Výpočet převrácené hodnoty Freudeho čísla materiálu

$$Fr_s = \frac{1}{Fr_{\check{c}}} = \frac{1}{0,981} = 1,019$$

5) Výpočet poměrné rychlosti

Sklon osy dopravního potrubí

$$u = \sin^{-1} \left(\frac{4}{27} \right) = 8,51 \sim 9^\circ$$

Poměrná rychlost

$$\beta_v = \frac{1 - \sqrt{1 - \left(1 - \frac{\xi_y}{2} Fr_s\right) \left(1 - \frac{u_{vz}^2}{v_1^2} \sin v - \frac{u_{vz}^3}{v_1^3} \cos^2 v\right)}}{1 - \frac{\xi_y}{2} Fr_s}$$
$$= \frac{1 - \sqrt{1 - \left(1 - \frac{0,005}{2} 1,019\right) \left(1 - \frac{3^2}{18^2} \sin 9 - \frac{3^3}{18^3} \cos^2 9\right)}}{1 - \frac{0,005}{2} 1,019} = 0,952$$

6) Výpočet součinitele dopravy

Kinematická viskozita plynu

$$\nu = \frac{\eta}{\rho_1} = \frac{0,00002001}{1,768} = 0,00001132 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Reynoldsovo číslo

$$Re = \frac{v_1 \cdot d}{\nu} = \frac{18 \cdot 0,09}{0,00001132} = 143\,110$$

Součinitel tření

$$\lambda = \frac{0,184}{\sqrt[5]{Re}} = \frac{0,184}{\sqrt[5]{143110}} = 0,01713$$

Freudeho číslo potrubí

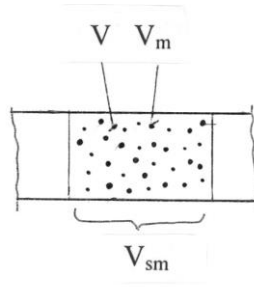
$$Fr = \frac{g \cdot d}{v_1^2} = \frac{9,81 \cdot 0,09}{18^2} = 0,00273$$

Součinitel dopravy:

$$k = \frac{2 \cdot \frac{u_{vz}}{v_1} \cdot \cos v}{\lambda \cdot \beta_v \frac{1}{Fr}} + \frac{\xi_y}{\lambda} \cdot \beta_v = \frac{2 \cdot \frac{3}{18} \cdot \cos 9}{0,01713 \cdot 0,952 \frac{1}{0,00273}} + \frac{0,005}{0,01713} \cdot 0,952 = 0,333$$

7) Výpočet porézności

Porézność je poměr objemu plynu V [m³], a objemu směsi V_{sm} [m³]. Objem směsi je součet objemu plynu V [m³], a objemu materiálu V_m [m³], ve vytknutém elementu, jak je znázorněno na obrázku 19.



Obrázek 19. Vytknutý element a veličiny pro definici poréznosti [2]

$$\varepsilon = \frac{V}{V + V_m} = \frac{V}{V_{sm}}$$

Výpočet poréznosti:

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \frac{\rho_1 \cdot \mu}{\beta_v \cdot \rho_m}} = \frac{1}{1 + \frac{1,768 \cdot 5,5}{0,952 \cdot 593}} = 0,983$$

8) Výpočet ztrátového součinitele

V hodnotách výsledného ztrátového součinitele ζ [-], není zahrnuta tlaková ztráta třením. V případě hladkého oblouku kruhového potrubí o úhlu α [°], pro $d \leq 0,2$ m a $r/d = 3$ pro výpočet ztrátového součinitele oblouku platí vztah [5]

$$\zeta = C_\alpha \cdot \zeta_1.$$

Výpočet základní hodnoty ztrátového součinitele:

$$\zeta_1 = \frac{0,21}{\sqrt{\frac{r}{d}}} = \frac{0,21}{\sqrt{\frac{0,25}{0,09}}} = 0,126$$

Korekce úhlu oblouku:

$$C_\alpha = 0,9 \sin \alpha \quad \text{pro } \alpha < 45^\circ$$

$$C_\alpha = -1,53 + 1,3 \log \alpha \quad \text{pro } 45^\circ \leq \alpha < 180^\circ$$

Úsek č. 1 má na svém konci oblouk o úhlu $\alpha = 90^\circ$. Pro výpočet korekce na úhel oblouku použijeme vztah pro podmínku $45^\circ \leq \alpha < 180^\circ$

Výpočet korekce na úhel oblouku:

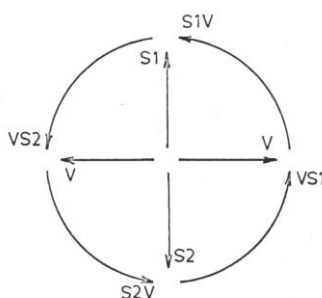
$$C_{\alpha} = -1,53 + 1,3 \log \alpha = -1,53 + 1,3 \log 90 = 1,011$$

Výpočet ztrátového součinitele oblouku:

$$\zeta = C_{\alpha} \cdot \zeta_1 = 1,011 \cdot 0,126 = 0,127$$

9) Součinitel polohy oblouku:

V přesném výpočtu tlakové ztráty vlivem změny směru potrubí je nutné uvažovat polohu oblouku. Způsob výpočtu je uveden v [6]. Třecí síla o stěny oblouku je způsobená nejen působením odstředivé síly, ale také působením gravitační síly. Po průchodu částice obloukem dojde k jejímu zpomalení a výsledný vztah pro výpočet tlakové ztráty při průchodu materiálu místními odpory, je závislý na kombinaci těchto sil, a tedy i na poloze oblouku. Jednotlivé polohy se označují dle schématu na obrázku 20.



Obrázek 20. Schéma označení polohy oblouku [2]

Popis obrázku 20:

S1 – svisle vzhůru, S2 – svisle dolů, V – vodorovně, VS1 – z vodorovného do svislého směru (směr vzhůru), S1V – ze svislého (směr vzhůru) do vodorovného směru, VS2 – z vodorovného do svislého směru (směr dolů), S2V – ze svislého (směr dolů) do vodorovného směru.

Při výpočtu tlakové ztráty při průchodu materiálu místními odpory Δp_{m3} [Pa], bude v následující kapitole použit zjednodušený vztah podle [6]. V tomto vztahu je použit součinitel polohy oblouku, který nabývá dvou hodnot. Pro nejméně výhodnou polohu oblouku VS1 je to hodnota $\gamma = 4$ a pro všechny ostatní polohy oblouku je to $\gamma = 1$. Na konci úseku číslo 1 je oblouk odpovídající poloze V, tudíž je ve výpočtu počítáno se součinitelem polohy $\gamma = 1$.

10) Výpočet dynamického tlaku

$$p_d = \frac{\rho_1}{2} v_1^2 = \frac{1,768}{2} \cdot 18^2 = 286,416 \text{ Pa}$$

11) Výpočet tlakové ztráty třením plynu

$$\Delta p_{v1} = \frac{\lambda}{d} (l + l_0) p_d = \frac{0,01713}{0,09} (3 + 0,3) \cdot 286,416 = 179,898 \text{ Pa}$$

12) Výpočet tlakové ztráty třením materiálu

$$\Delta p_{m1} = \frac{\lambda}{d} k\mu (l + l_0) p_d = \frac{0,01713}{0,09} \cdot 0,333 \cdot 5,5 \cdot (3 + 0,3) \cdot 286,416 = 329,483 \text{ Pa}$$

13) Výpočet tlakové ztráty zdvihem plynu

$$\Delta p_{v2} = \varepsilon \rho_1 g (l \sin v) = 0,983 \cdot 1,768 \cdot 9,81 \cdot (3 \cdot \sin 9) = 8,0 \text{ Pa}$$

14) Výpočet tlakové ztráty zdvihem materiálu

$$\Delta p_{m2} = \varepsilon \rho_1 \mu \frac{1}{\beta_v} g (l \sin v) = 0,983 \cdot 1,768 \cdot 5,5 \cdot \frac{1}{0,952} \cdot 9,81 \cdot (3 \cdot \sin 9) = 48 \text{ Pa}$$

15) Výpočet tlakové ztráty místními odpory při průchodu plynu

$$\Delta p_{v3} = \sum \zeta \cdot p_d = 0,127 \cdot 286,416 = 36,375 \text{ Pa}$$

16) Výpočet tlakové ztráty místními odpory při průchodu materiálu

$$\Delta p_{m3} = \mu p_d \sum \gamma \zeta = 5,5 \cdot 286,416 \cdot 1 \cdot 0,127 = 200,062 \text{ Pa}$$

17) Výpočet tlaku na konci úseku bez korekce na urychlení plynu a materiálu

$$\begin{aligned} \Delta p_z &= \sum \Delta p_{v,i} + \sum \Delta p_{m,i} = (\Delta p_{v1} + \Delta p_{v2} + \Delta p_{v3}) + (\Delta p_{m1} + \Delta p_{m2} + \Delta p_{m3}) \\ &= (179,898 + 8 + 36,375) + (329,483 + 48 + 200,062) = 801,818 \text{ Pa} \end{aligned}$$

18) Výpočet hustoty plynu na konci úseku

$$p_{kon} = p_1 - \Delta p_z = 142\,000 - 801,818 = 141\,198,182 \text{ Pa}$$

$$\rho_2 = \frac{p_{kon}}{rT_1} = \frac{141\,198,182}{287 \cdot 279,85} = 1,758 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

19) Výpočet rychlosti proudění plynu na konci úseku

$$v_2 = \frac{\dot{M}}{\rho_2 S} = \frac{0,202}{1,758 \cdot 0,00635} = 18,09 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

20) Výpočet tlakové ztráty na urychlení plynu

$$\Delta p_{u,v} = \varepsilon \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} v_1 (v_2 - v_1) = 0,983 \cdot \frac{1,768 + 1,758}{2} 18 \cdot (18,09 - 18) = 28,075 \text{ Pa}$$

21) Výpočet tlakové ztráty na postupné urychlení materiálu

$$\begin{aligned} \Delta p_{u,m} &= \varepsilon \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \mu v_1 \beta_v (v_2 - v_1) = \\ &= 0,983 \cdot \frac{1,768 + 1,758}{2} \cdot 5,5 \cdot 18 \cdot 0,952 (18,09 - 18) = 147,0 \text{ Pa} \end{aligned}$$

22) Výpočet tlaku na konci úseku s korekcí na urychlení plynu a materiálu

$$p_2 = p_{kon} - (\Delta p_{u,v} + \Delta p_{u,m}) = 141198,182 - (28,075 + 147,0) = 141023,107 \text{ Pa}$$

Další postup:

Použitím shodných vzorců a shodného principu výpočtu by byly vypočítány hodnoty v ostatních úsecích dopravníku. Tyto vypočítané hodnoty lze využít například k volbě vhodných komponent do systému.

5.5. Návrh nového řešení systému pneumatických dopravníků

Současný instalovaný systém pneumatické dopravy mouky v pekárně NoVy Vacov, spol. s r.o., plně vyhovuje požadavkům z hlediska výkonnosti, stupně automatizace a technologických požadavků. Rozsáhlejší modernizace dopravníků není tedy nutná, jelikož moderní komponenty pro pneumatické dopravníky se liší pouze z hlediska estetického, při srovnatelných provozních parametrech. V případě požadavku vyšší výkonnosti dopravníku, může být pouze upravena hodnota požadovaného plnicího tlaku, jelikož dopravník je již v současnosti dimenzován s určitou výkonnostní rezervou.

5.5.1. Doporučení

Dopravníky č. 1 a 2 na obrázku 16, mají společnou část s rotačními prosévači. Těmito prosévači protékají dva druhy mouky. Do systému musejí být kvůli této společné části instalovány dva přepínací ventily umístěné před a za prosévači. Toto řešení vychází pravděpodobně ze snahy snížení nákladů v době instalace pneumatických dopravníků, kdy bylo finančně výhodnější instalovat dva přepínací ventily a dva prosévače než čtyři prosévače mouky.

Systém dopravníků by se výrazně zjednodušil, kdyby tyto přepínací ventily byly odstraněny a trasy dopravníků č. 1 a 2 byly zcela odděleny a opatřeny vlastními prosévači mouky. Toto řešení by mělo dopad i na spolehlivost systému, jelikož v případě poruchy jednoho z přepínacích ventilů dojde k vyřazení z činnosti obou dopravníků. Další výhodou tohoto řešení je snížení tlakové ztráty dopravníku o odpor dvou přepínacích ventilů. Také by nedocházelo k mísení dvou druhů mouky, protože v dopravním potrubí nebo v prosévačkách může malé množství mouky zbývat.

5.5.2. Kalkulace na provedení úpravy dopravníků

Tato úprava vyžaduje demontáž přepínacích ventilů, montáž nového potrubí v délce přibližně deseti metrů, montáž nových prosévačů mouky a úpravu řídicího softwaru počítačovým programátorem. Celá tato úprava by neměla přesáhnout investici ve výši 30 000 Kč (odhadem).

6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zhodnocení současné technologie pneumatické dopravy různých materiálů v podmínkách potravinářského průmyslu. Začátek této práce byl věnován rozboru současných technologií a typů pneumatických dopravníků pro přepravu sypkých materiálů, včetně funkce a popisu jednotlivých komponentů celého systému.

V praktické části se práce zabývala již existujícím pneumatickým, dopravním systémem mouky, v pekárně NoVy Vacov, spol. s r. o., sídlící v jižních Čechách v obci Vacov na Prachaticku. Dopravní systém byl popsán z hlediska funkčnosti, spolehlivosti a principu ovládání. V následující části byly vyhodnoceny požadavky podniku na provozní parametry dopravníku a technologické požadavky související s výrobou pekařských výrobků.

Na existujícím systému pneumatických dopravníků v pekárně NoVy Vacov, spol. s r. o., byly naměřeny hodnoty hmotnostních toků přepravovaného materiálu v závislosti na změně velikosti plnicího tlaku. Pro první část dopravníku č.2, byly vypočítány tlakové ztráty dopravníku. Vzhledem ke skutečnosti, že stejný postup výpočtu se opakuje i pro ostatní části dopravníku, byly provedeny výpočty pouze pro první část. V poslední části práce jsou navrženy úpravy stávajícího systému, vedoucí ke zlepšení spolehlivosti a zjednodušení celého dopravního systému mouky.

Sledované pneumatické dopravníky v pekárně NoVy Vacov, spol. s r. o., i přes své stáří lze považovat stále za moderní zařízení. Rozsáhlejší modernizace tohoto zařízení není tedy nutná. Současná moderní technologie se liší převážně a pouze v estetickém vzhledu a funkčnost jednotlivých komponent je téměř srovnatelná s již instalovanými komponenty. Součástí poslední části je zjednodušená kalkulace nákladů na úpravu pneumatických dopravníků.

K vypracování této diplomové práce bylo využito znalostí z logistiky, dopravních a manipulačních strojů, projektování technologických zařízení staveb, technologie výroby potravin a technologických zařízení potravinářských staveb. Dále informací poskytnutých pekárnou NoVy Vacov, spol. s r. o.

Literatura

- [1] KIC, P.: Dopravní a manipulační stroje I., Základy logistiky, TF ČZU, 2008
- [2] HEMERKA, J.: Teoretické základy pneumatické dopravy, Fakulta strojní ČVUT v Praze, 2017
- [3] MILLS, D., JONES, M., AGARWAL, V.: Handbook of Pneumatic Conveying Engineering, vyd. Marcel Dekker, New York (USA), 2004, ISBN 0-8247-4790-9
- [4] ĎURKOVIČ, O.: Dopravní a manipulační stroje. VŠZ, TF, Praha, 1995
- [5] CHYSKÝ, J., HEMZAL K. a kol.: Větrání a klimatizace, třetí vydání, Česká Matice technická, Praha, 1993, ISBN 80-901574-0-8
- [6] HEJMA, J., BUDINSKÝ, K., VÁVRA, A., DRKAL, F.: Vzduchotechnika v dřevozpracujícím průmyslu, SNTL, Praha, 1981
- [7] URBAN, J.: Pneumatická doprava, SNTL, Praha, 1964
- [8] VÁVRA, A.: Rychlost částice při pneumatické dopravě, 1 – Teoretické řešení, Zemědělská technika 11, separátní výtisk, MZL VH, Praha, 1965
- [9] DRAŽAN, F., JEŘÁBEK K.: Manipulace s materiálem, SNTL, Praha, 1979
- [10] RAYMAN, P.: Progresivní způsob pneumatické dopravy sypkých materiálů ze sil a z výsypek tkaninových filtrů a elektroodlučovačů, Kladno, firemní podklady
- [11] <http://www.vakuum-bohemia.cz/produkty>
- [12] <http://www.pekarnavacov.cz/xxl-1-69-historie-a-soucasnost-pekarny-vacov>
- [13] https://cs.wikipedia.org/wiki/Vakuov%C3%A1_technika#/media/File:Rota%C4%8Dn%C3%AD_olejov%C3%A1_v%C3%BDv%C4%9Bva.jpg
- [14] <http://www.okompresorech.cz/pistovy-olejovy-bezolejovy-vzduchovy-kompresor/>
- [15] https://cs.wikipedia.org/wiki/Rootsovo_dmychadlo#/media/File:Roots_blower_-_2_lobes.svg
- [16] <http://www.sklenar-technologie.cz/cs/m-55-komponenty-pro-pneumatickou-dopravu/>
- [17] <http://strojirenstvi.studentske.cz/2010/11/22-pistove-kompresory.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1. Schéma uzavřeného systému pneumatického dopravníku [3].....	14
Obrázek 2. Rozdělení pneumatických dopravníků [2].....	16
Obrázek 3. Příklady vyztužení oblouků dopravního potrubí [9]	19
Obrázek 4. Olejová rotační vývěva s proměnným pracovním prostorem [13]	22
Obrázek 5. Schéma pístového kompresoru a jeho p-V diagram [17]	23
Obrázek 6. Rootsovo dmychadlo [15]	23
Obrázek 7. Varianty průmyslových ventilátorů [11]	24
Obrázek 8. Schéma rotačního směšovače [10]	26
Obrázek 9. Schéma šnekového směšovače [10]	26
Obrázek 10. Schéma ejekčního (Venturiho) směšovače [10]	27
Obrázek 11. Schéma komorového směšovače [10]	27
Obrázek 12. Schéma průtokového směšovače [10]	28
Obrázek 13. Vytknutý kontrolní objem [2].....	30
Obrázek 14. Šikmé dopravní potrubí [2].....	31
Obrázek 15. Rozdělení pneumatického dopravníku na jednotlivé úseky [2].....	34
Obrázek 16. Vizualizační software pro ovládání pneumatických dopravníků mouky ...	40
Obrázek 17. Vizualizační software – konfigurace	42
Obrázek 18. Schéma k výpočtu výsledné teploty směsi za směšovačem	53
Obrázek 19. Vytknutý element a veličiny pro definici poréznosti [2].....	56
Obrázek 20. Schéma označení polohy oblouku [2]	57

Seznam tabulek

Tabulka 1. Přehled odvozených vztahů z rovnice tlakového spádu [2].....	35
Tabulka 2. Spínací hodnoty doplňování denních zásobníků.....	48
Tabulka 3. Přeprava mouky T1050 ze sila B do zásobníku Z2	49
Tabulka 4. Přeprava mouky T930ze sila F do zásobníku Z1	50

Seznam grafů

Graf 1. Závislost hmotnostního toku materiálu na velikosti plnicího tlaku.....	50
--	----

Seznam příloh

Příloha 1. pekárna NoVy Vacov, spol. s r. o.,.....	68
Příloha 2. Ocelová síla na mouku	68
Příloha 3. Nejnovější Rootsovo dmyhadlo.....	69
Příloha 4. Repasované Rootsovo dmyhadlo.....	69
Příloha 5. Pneumatický ventil PRISMA P1	70
Příloha 6. Snímač plicního tlaku	70
Příloha 7. Pojistný tlakový ventil dmyhadla	71
Příloha 8. Dmyhadlo čerění a rotační směšovač	71
Příloha 9. Přesuvná spojka potrubí s uzemněním	72
Příloha 10. Přepínací ventil před prosévači mouky	72
Příloha 11. Prosévače mouky	73
Příloha 12. Ruční ovládání pneumatických dopravníků	73
Příloha 13. Elektrická rozvodná skříň.....	74

Seznam použitých zkratek

Označení	Jednotka	Název veličiny
A	[m ²]	plocha průřezu potrubí
c ₀	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	měr.tep.kap. plynu před směšovačem materiálu
c _m	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita materiálu
C _α	[1]	korekce na úhel oblouku
d	[m]	vnitřní průměr potrubí
d _{opt}	[m]	optimální vnitřní průměr potrubí
dp	[Pa]	diferenciál tlaku
ds	[m]	diferenciál délky dráhy
dt	[s]	diferenciál času
du	[m.s ⁻¹]	diferenciál rychlosti dopravovaného materiálu
dv	[m.s ⁻¹]	diferenciál rychlosti dopravního plynu
F _a	[N]	aerodynamický odpor částice
F _g	[N]	gravitační síla působící na částici
Fr	[1]	Froudeho číslo potrubí
Fr _s	[1]	převrácená hodnota Froudeho čísla
Fr	[N]	odporová síla proti pohybu částice v potrubí
g	[m.s ⁻²]	tíhové zrychlení
h	[m]	převýšení dopravní trasy
H _g	[m]	výška sloupce provzdušněného materiálu
k	[1]	Gasterstädtův součinitel dopravy
l	[m]	délka dopravní trasy
l _o	[m]	délka oblouku dopravní trasy
M'	[kg.s ⁻¹]	hmotnostní tok plynu
M _č	[kg]	hmotnost částice
M' _m	[kg.s ⁻¹]	hmotnostní tok materiálu
p	[Pa]	tlak
p ₀	[Pa]	tlak na počátku dopravní trasy
p _b	[Pa]	barometrický tlak
p _d	[Pa]	dynamický tlak

p_f	[Pa]	hydrostatický tlak sloupce materiálu
r	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	měr. plyn. konstanta, pol. oblouku potrubí
Re	[1]	Reynoldsovo číslo
S	[m ²]	plocha průřezu dopravní trasy
T	[K]	termodynamická teplota dopravované směsi
T ₀	[K]	termodynamická teplota nasávaného vzduchu
t ₀	[°C]	teplota nasávaného vzduchu
t _m	[°C]	teplota dopravovaného materiálu
u	[m.s ⁻¹]	rychlost dopravovaného materiálu
u _{vz}	[m.s ⁻¹]	rychlost vzhledu částic
V	[m ³]	objem plynu
V̇	[m ³ .s ⁻¹]	objemový tok
v	[m.s ⁻¹]	dopravní rychlost plynu
v ₀	[m.s ⁻¹]	počáteční dopravní rychlost plynu
v _{min}	[m.s ⁻¹]	minimální dopravní rychlost plynu
Δp	[Pa]	rozdíl tlaků
Δp _{m1}	[Pa]	tlaková ztráta způsobená třením materiálu
Δp _{m2}	[Pa]	tlaková ztráta způsobená zdvihem materiálu
Δp _{m3}	[Pa]	tlak.ztr.způs. míst. odpory při průchodu materiálu
Δp _{u,m}	[Pa]	tlaková ztráta na urychlení materiálu
Δp _{u,v}	[Pa]	tlaková ztráta na urychlení plynu
Δp _{v1}	[Pa]	tlaková ztráta způsobená třením plynu
Δp _{v2}	[Pa]	tlaková ztráta způsobená zdvihem plynu
Δp _{v3}	[Pa]	tlak. ztráta způs. míst. odpory při průchodu plynu
Δp _z	[Pa]	tlaková ztráta
α	[°]	úhel oblouku
β _v	[-]	poměrná rychlost
γ	[-]	součinitel polohy oblouku
ε	[-]	poréznost
ζ	[-]	ztrátový součinitel oblouku
η	[Pa.s]	dynamická viskozita

λ	[-]	třecí součinitel
μ	[-]	směšovací poměr
ν	[m ² .s ⁻¹]	kinematická viskozita
ξ_y	[-]	základní hodnota součinitele odporu materiálu
π	[-]	Ludolfovo číslo
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota plynu
ρ_f	[kg.m ⁻³]	sypná hmotnost provzdušněného materiálu
ρ_m	[kg.m ⁻³]	hustota materiálu
ρ_s	[kg.m ⁻³]	sypná hmotnost materiálu
τ	[Pa]	tečné napětí na stěně vlivem proudění plynu
τ_m	[Pa]	teč. napětí na stěně vlivem proudění materiálu
υ	[°]	sklon úseku dopravní trasy

Přílohy



Příloha 1. pekárna NoVy Vacov, spol. s r. o.,



Příloha 2. Ocelová sila na mouku



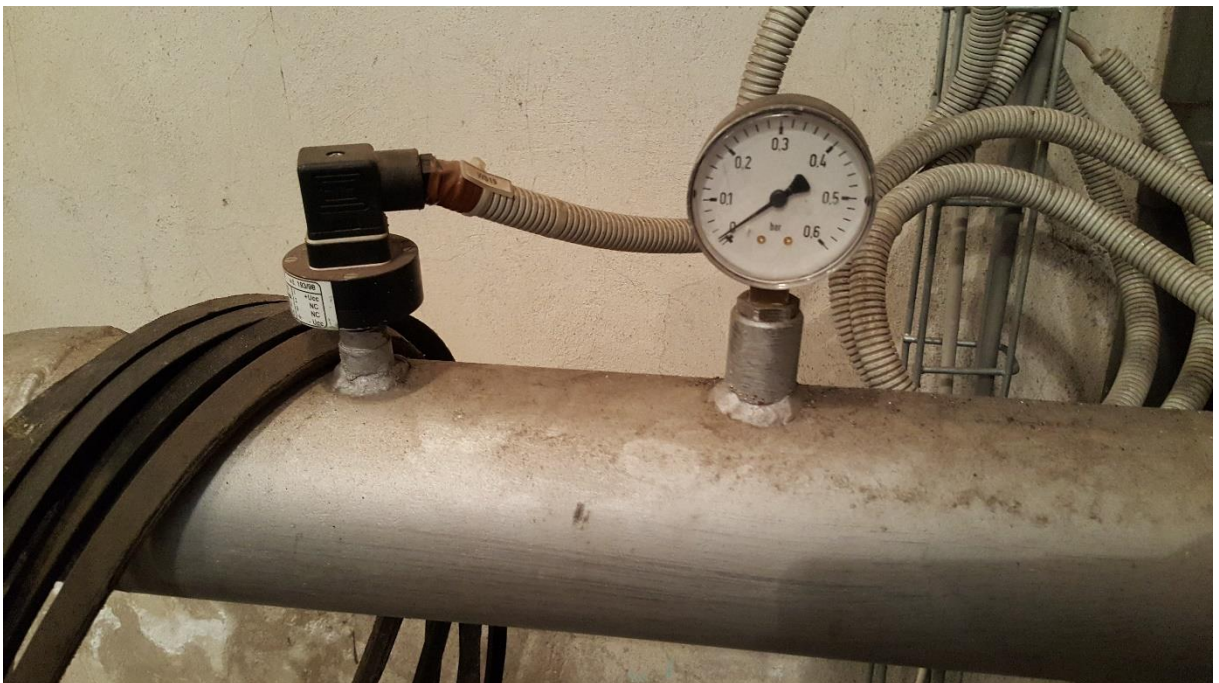
Příloha 3. Nejnovější Rootsovo dmychadlo



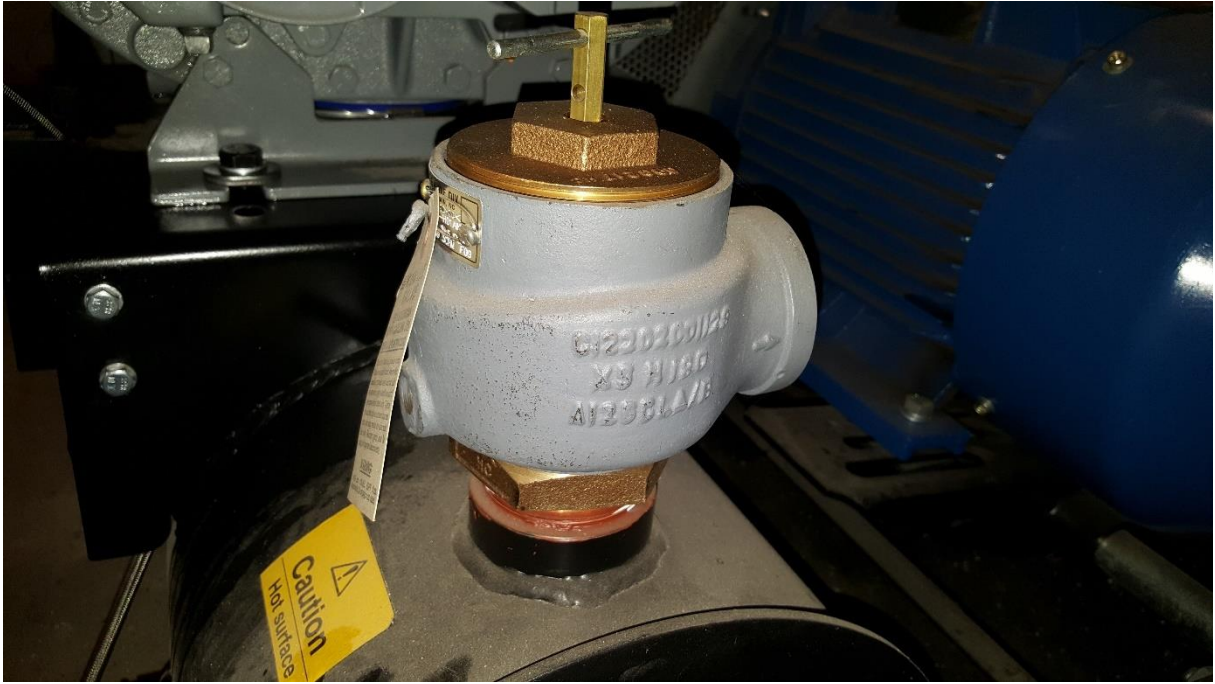
Příloha 4. Repasované Rootsovo dmychadlo



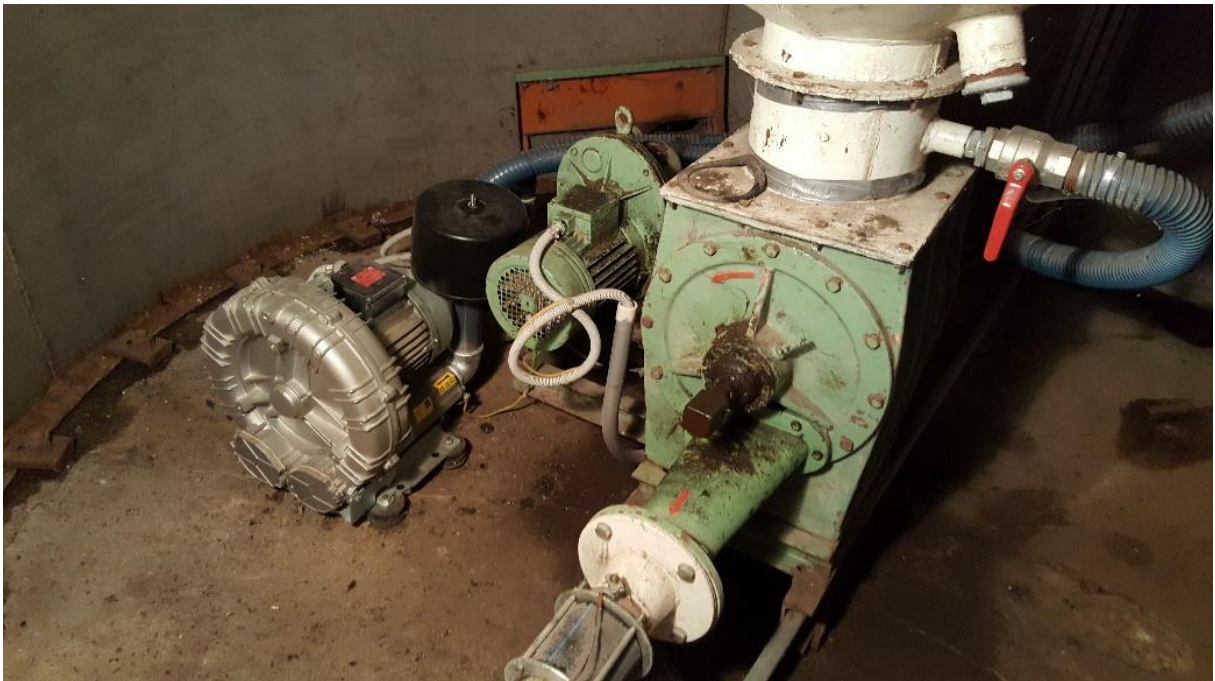
Příloha 5. Pneumatický ventil PRISMA PI



Příloha 6. Snímač plnicího tlaku



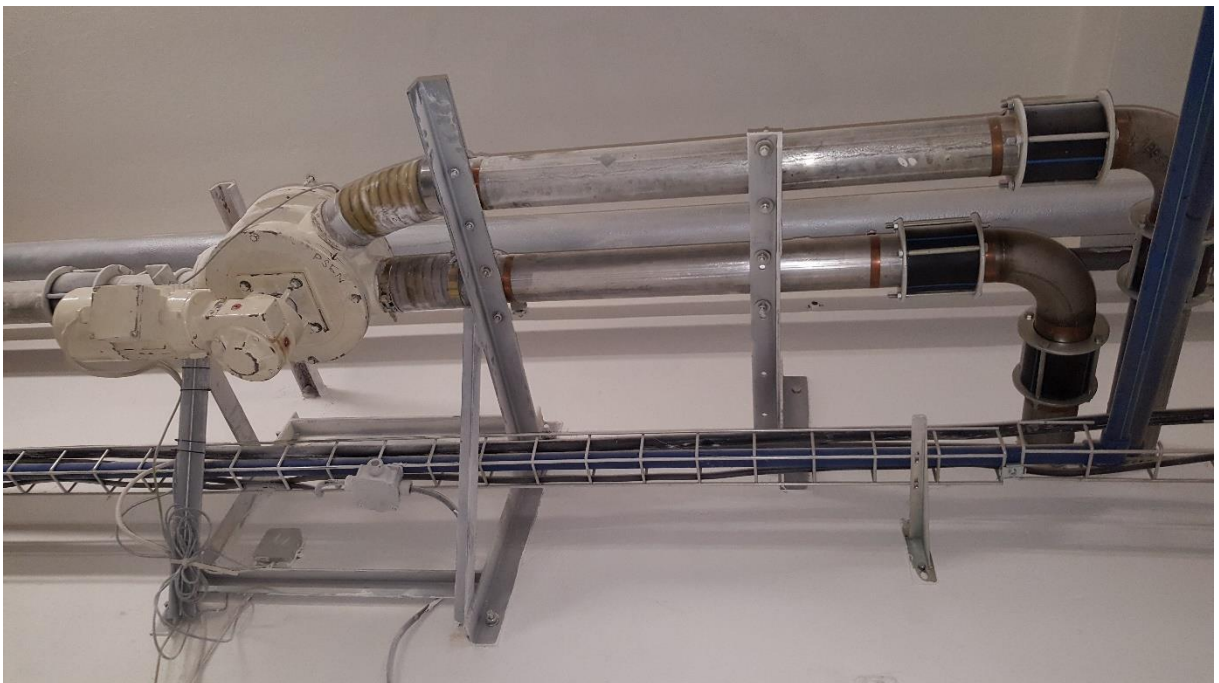
Příloha 7. Pojistný tlakový ventil dmyhadla



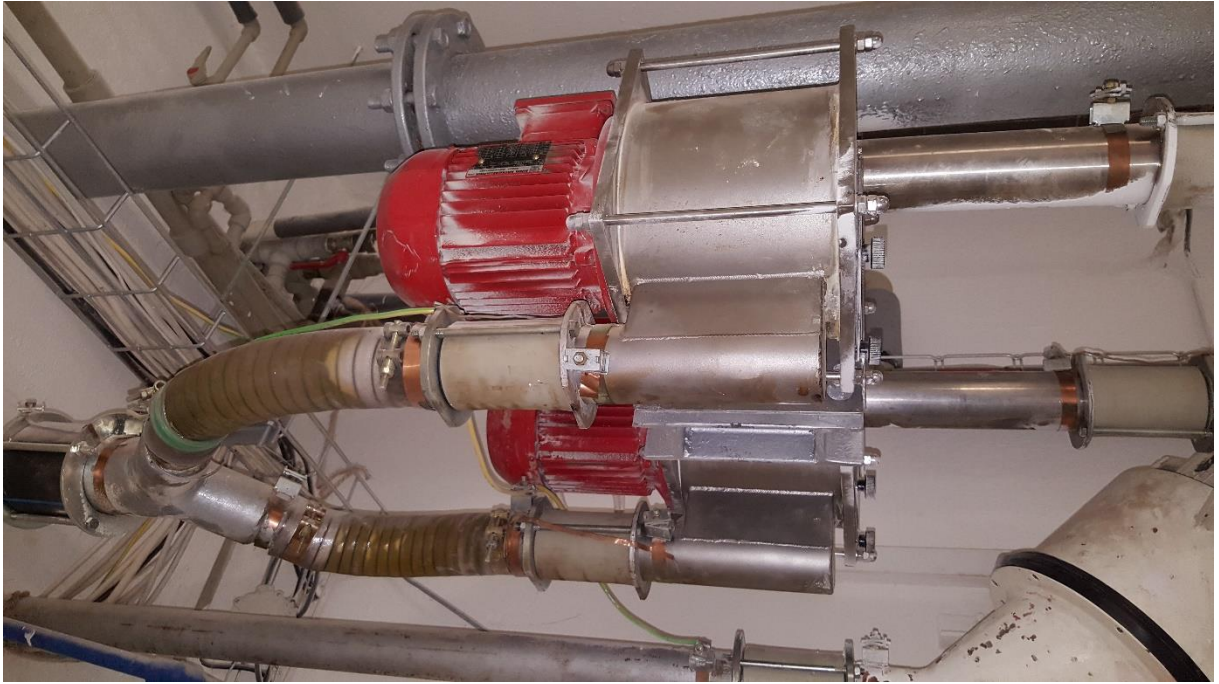
Příloha 8. Dmyhadlo čerění a rotační směšovač



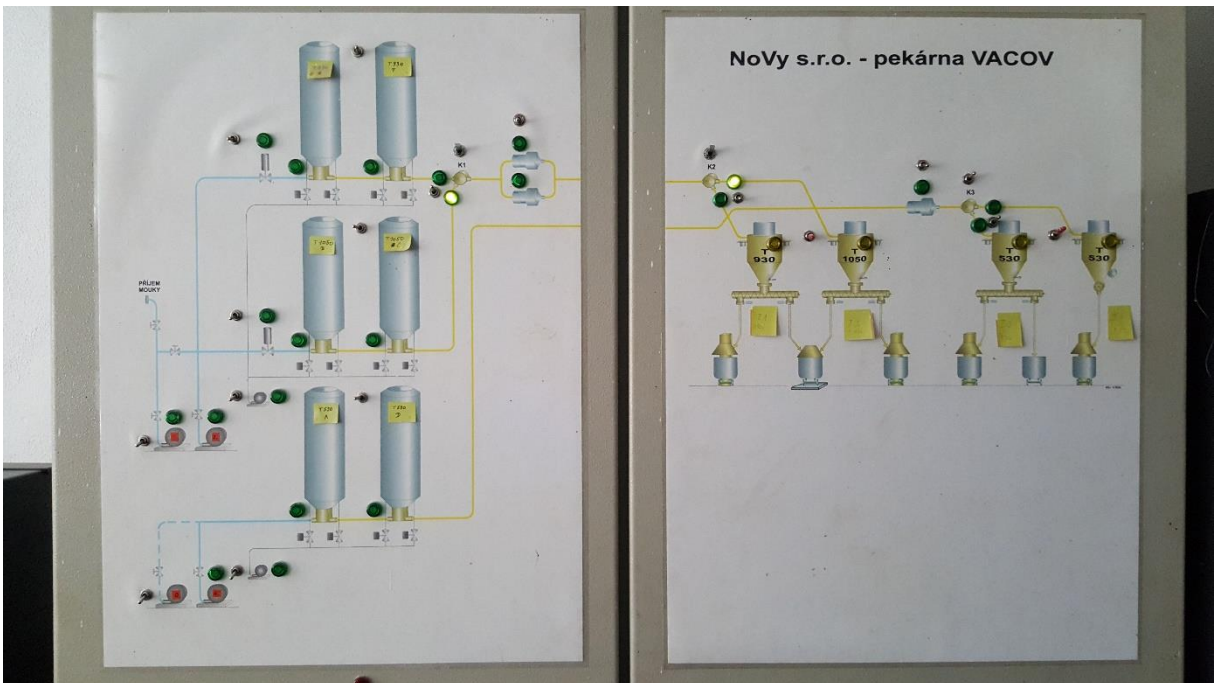
Příloha 9. Přesuvná spojka potrubí s uzemněním



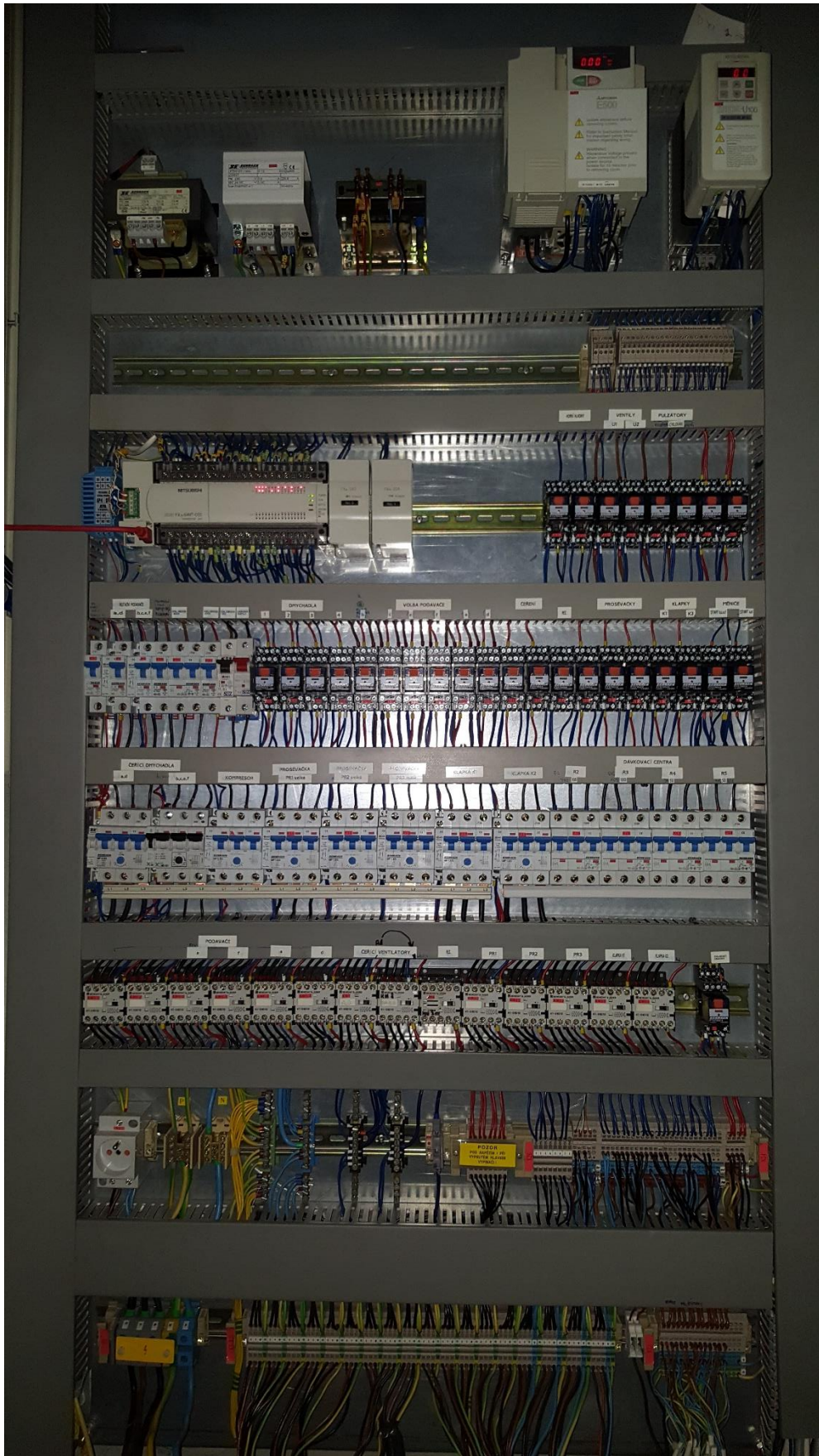
Příloha 10. Přepínací ventil před prosévači mouky



Příloha 11. Prosévače mouky



Příloha 12. Ruční ovládání pneumatických dopravníků



Příloha 13. Elektrická rozvodná skříň