

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**CENTRÁLNÍ ODSÁVÁNÍ
A NESOUČASNOST CHODU
OBRÁBĚCÍCH STROJŮ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Josef Ibl

1 – IB – 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Ibl** Jméno: **Josef** Osobní číslo: **438285**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Inteligentní budovy**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Centrální odsávání a nesoučasnost chodu obráběcích strojů

Název diplomové práce anglicky:

Central Exhaust System and Non-simultaneous Operation of Machine Tools

Pokyny pro vypracování:

Na úrovni projektové studie na konkrétním případě rozmístění obráběcích strojů v obrobě litiny uveďte výhody a nevýhody centrálního odsávání od obráběcích strojů s předpokladem nesoučasnosti chodu strojů až 50 %. S použitím komory o stálém statickém tlaku navrhnete způsob odsávání umožňující libovolnou kombinaci odstávky až 50 % obráběcích strojů. Uveďte požadavky na konstrukci komory o stálém statickém tlaku a vyplývající omezení maximálního počtu odsávaných strojů a maximální nesoučasnosti chodu strojů.

Seznam doporučené literatury:

Hejma, J., Budinský, K., Vávra, A., Drkal, F.: Vzduchotechnika v dřevozpracovávajícím průmyslu, SNTL, Praha, 1981.
Drkal, F., Hemerka, J., Nový, R.: Odsávání a čištění spalin z tavicích agregátů Skláren Český křišťál, Chlum u Třeboně, Silika 4/94, str. 243 - 245.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Hemerka, CSc. ústav techniky prostředí FS

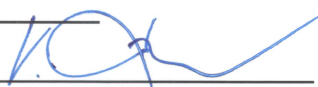
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **29.04.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **29.06.2022**

Platnost zadání diplomové práce:


doc. Ing. Jiří Hemerka, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

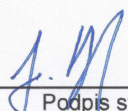

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

29.04.2022
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá na úrovni projektové studie centrálním odsáváním od obráběcích strojů na litinu, diskutuje výhody a nevýhody centrálního odsávání při nesoučasnosti chodu strojů až 50 %. Práce se též zabývá návrhem komory o stálém statickém tlaku a návrhu příslušné potrubní sítě, která tuto komoru bude využívat k libovolné kombinaci odstávky strojů.

Summary

Through a project study, this diploma thesis analyses centralized suction system of machine tools for working with cast iron. It discusses advantages and disadvantages of central suction system when the non-simultaneous operation of the machines is up to 50 %. It focuses on designing a chamber of constant static pressure with specific piping system that will allow for any combination of non-simultaneous machine operation.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Centrální odsávání a nesoučasnost chodu obráběcích strojů“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Hemerky, CSc., s použitím literatury uvedené v seznamu použité literatury.

V Praze 29. 06. 2022

Bc. Josef Ibl

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval všem, kteří mě podporovali a byli mi nápomocni v průběhu celého mého studia, včetně psaní diplomové práce. Zejména bych chtěl poděkovat mojí rodině, snoubence, pracovním kolegům a přátelům za jejich trpělivost a motivaci. V souvislosti s mojí diplomovou prací bych chtěl obzvláště poděkovat doc. Ing. Jiřímu Hemerkovi, CSc., za jeho ochotu a poskytnuté rady při konzultacích ohledně mé diplomové práce.

Obsah

Seznam použitého značení.....	7
Úvod.....	8
1. Zadané hodnoty.....	9
2. Návrh centrálního odsávání	10
3. Teoretická část	12
3.1. Vzduchovody	12
3.2. Tlakové ztráty	13
3.2.1 Třecí tlakové ztráty	13
3.2.2 Místní tlakové ztráty	15
3.3. Součinitele místní tlakové ztráty.....	15
3.3.1 Koleno.....	15
3.3.2 Rozbočky sací	16
3.3.3 Odsávací hadice od strojů	17
4. Centrální odsávací systém	18
4.1. Výpočet hlavní větve pro 100% současnost chodu strojů	18
4.2. Vypočtené hodnoty pro 100% současnost chodu strojů	21
4.3. Vypočtené místní tlakové ztráty pro 100% současnost chodu strojů	23
4.4. Celková tlaková ztráta pro 100% současnost chodu strojů.....	24
4.5. Regulace pro 100% současnost chodu strojů.....	25
4.6. Zhodnocení 100% současnosti chodu strojů.....	26
5. Možnosti nesoučasnosti chodu strojů	27
5.1. 10% nesoučasnost chodu strojů	27
5.2. 20% nesoučasnost chodu strojů	27
5.3. 30% nesoučasnost chodu strojů	27
5.4. 40% nesoučasnost chodu strojů	28

5.5. 50% nesoučasnost chodu strojů	28
5.6. Zhodnocení nesoučasnosti chodu strojů	29
6. Výpočet pro 30% nesoučasnost chodu strojů	30
6.1. Vypočtené místní tlakové ztráty pro 30% nesoučasnost chodu strojů.....	32
6.2. Celková tlaková ztráta pro 30% nesoučasnost chodu strojů.....	33
6.3. Regulace pro 30% nesoučasnost chodu strojů	34
7. Komora stálého statického podtlaku	35
7.1. Zadané hodnoty.....	35
7.2. Princip funkce komory stálého statického podtlaku	36
7.3. Návrh komory stálého statického podtlaku	37
8. Odsávání s komorou stálého statického tlaku	40
8.1. Výpočet hlavní větve	42
8.2. Vypočtené hodnoty pro 100% současnost chodu strojů	43
8.3. Místní tlakové ztráty pro 100% současnost chodu strojů	45
8.4. Celková tlaková ztráta pro 100% současnost chodu strojů.....	45
8.5. Regulace pro 100% současnost chodu strojů.....	46
8.6. Zhodnocení 100% současnosti chodu strojů s komorou stálého statického tlaku	47
8.7. Zhodnocení nesoučasnosti chodu strojů s komorou stálého statického tlaku.....	48
9. Ventilátor	49
9.1. Charakteristika ventilátoru.....	49
9.2. Regulace ventilátoru	50
9.3. Volba ventilátoru pro komoru stálého statického tlaku	50
10. Závěr	53
Použitá literatura	56
Seznam tabulek	57
Seznam obrázků.....	58
Seznam příloh	59

Seznam použitého značení

DN	[mm]	jmenovitý průměr potrubí
P_a	[Pa]	atmosférický tlak
P_c	[Pa]	celkový tlak
P_d	[Pa]	dynamický tlak
P_s	[Pa]	statický tlak
P_z	[Pa]	ztrátový tlak
R	[mm]	poloměr
S	[m ²]	plocha
V	[m ³ /s]	objemový průtok
d	[m]	průměr
l	[m]	délka
w	[m/s]	rychlost proudění vzduchu
ϑ	[°]	úhel natočení regulační klapky
ε	[mm]	ekvivalentní drsnost stěn
η_c	[-]	celková účinnost ventilátoru
λ	[-]	součinitel tření
ρ	[kg/m ³]	hustota vzduchu
ξ	[-]	součinitel místní tlakové ztráty

Úvod

V průmyslové hale na obrábění litiny se nachází obráběcí stroje, přičemž každý stroj generuje při jeho používání prachové částice, které jsou zdraví škodlivé. Je tedy nutné navrhnout průmyslové odsávání prachových částic tak, aby byly splněny hygienické normy pro práci v takovéto průmyslové hale. Běžný způsob návrhu centrálního odsávání je postupné připojování jednotlivých větví od odsávaných míst do jednoho společného vzduchového proudu, který poté nejčastěji prochází filtrem, za kterým je umístěn podtlakový ventilátor. Takto navržený systém je dimenzován na 100% současnost chodu strojů. Vlastnosti celého systému se zhoršují, pokud dojde k vypnutí některého z obráběcích strojů, což má za důsledek poklesnutí odsávaného množství. Po jakémkoliv zásahu do potrubní sítě centrálního odsávání je nutné celý systém opětovně zregulovat tak, aby fungoval správně. Těmto nežádoucím jevům se dá předejít použitím směšovací komory se stálým statickým podtlakem. Tato komora umožňuje libovolné vypínání obráběcích strojů, včetně jejich odsávání, bez zhoršení vlastností potrubního systému a nutnosti opětovné regulace.

Cílem mé diplomové práce je na úrovni projektové studie navrhnout potrubní systém centrálního odsávání od obráběcích strojů a zhodnotit výhody a nevýhody této varianty. Dále navrhnout komoru stálého statického podtlaku, k ní navrhnout příslušnou potrubní síť a porovnat obě varianty.

1. Zadané hodnoty

V průmyslové hale o délce 20,5 metru, šířce 11 metrů a výšce 3,5 metru se nachází potrubní síť s následujícími parametry a požadavky:

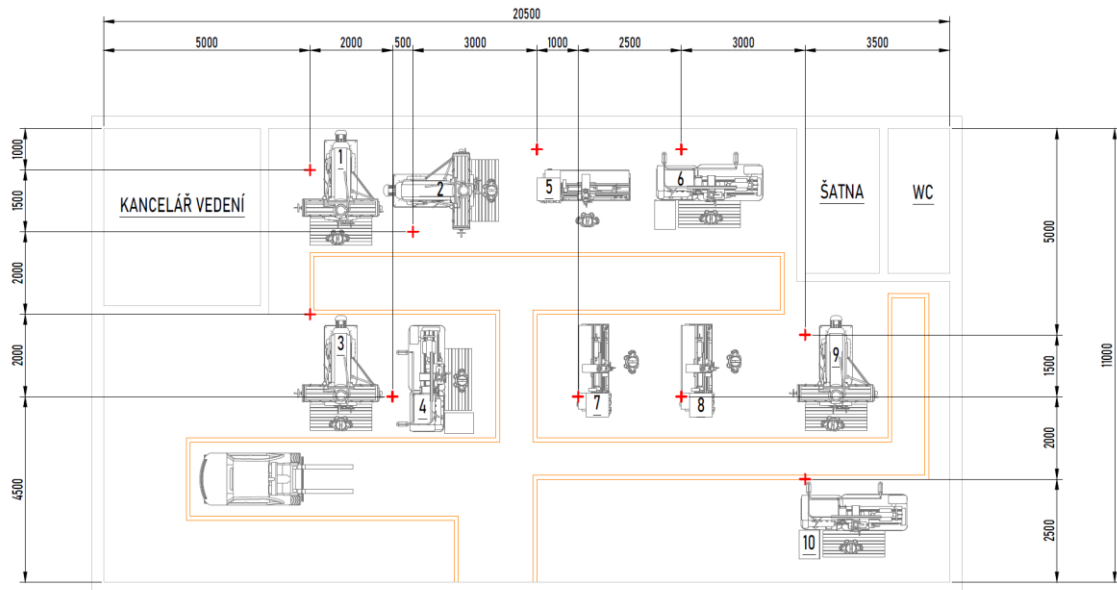
- Optimální rychlost vzduchu uvnitř potrubí – 16 m/s
- Minimální rychlost vzduchu uvnitř potrubí – 8 m/s
- Maximální rychlost vzduchu uvnitř potrubí – 25 m/s
- Poloměr potrubních kolen – $R = 2 \times D$
- Regulace centrálního odsávání bude realizována pomocí těsných regulačních klapek uvnitř potrubí
- Délka připojovacích hadic ke strojům – 2 m

V tabulce číslo 1 je uvedeno odsávané množství od jednotlivých strojů, vnitřní průměr potrubí sběrného místa a součinitel tlakové ztráty sacího zákrytu.

Tabulka 1 - Zadané parametry jednotlivých sběrných odsávacích míst

Stroj	D	D	V	V	Součinitel tlakové ztráty sacího zákrytu [-]
	[mm]	[m]	[m ³ /s]	[m ³ /h]	
1. Frézka	76	0,076	0,08	288	0,45
2. Frézka	76	0,076	0,08	288	0,45
3. Frézka	76	0,076	0,08	288	0,45
4. Velký soustruh	99	0,099	0,126	454	0,4
5. Malý soustruh	76	0,076	0,08	288	0,45
6. Velký soustruh	99	0,099	0,126	454	0,4
7. Malý soustruh	76	0,076	0,08	288	0,45
8. Malý soustruh	76	0,076	0,08	288	0,45
9. Frézka	76	0,076	0,08	288	0,45
10. Velký soustruh	99	0,099	0,126	454	0,4

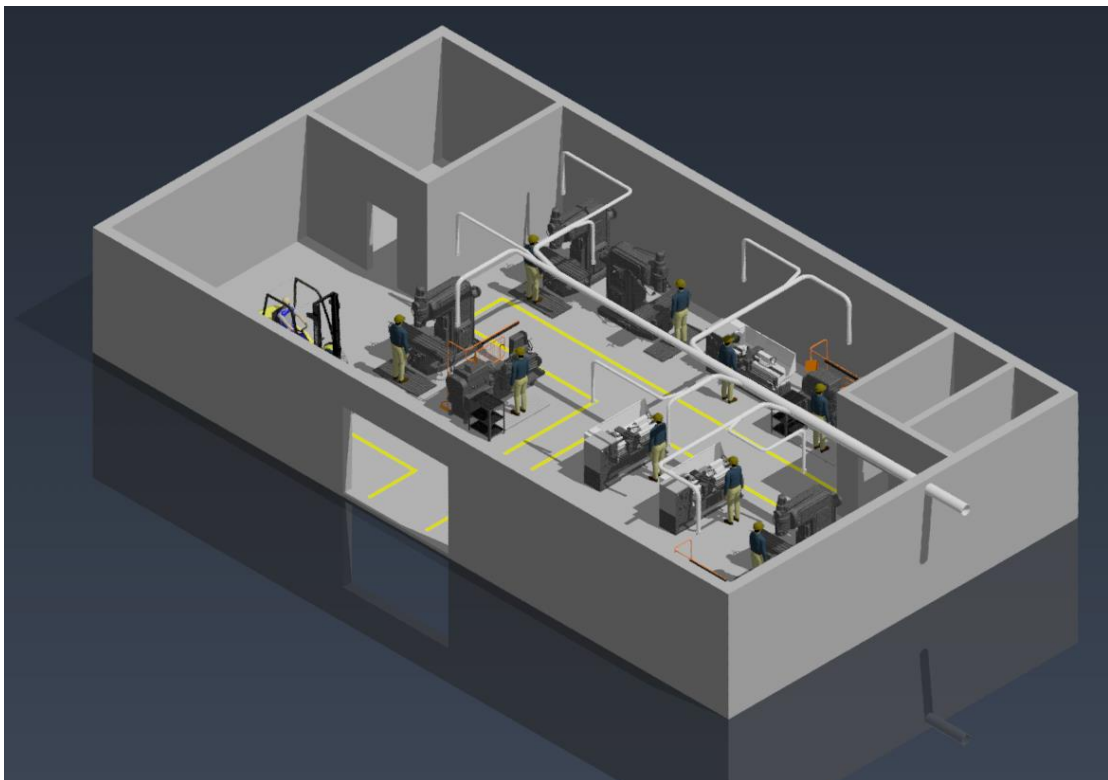
Na následujícím půdorysu jsou zadána místa jednotlivých odsávacích míst od obráběcích strojů. Uvedené rozměry jsou v milimetrech.



Obrázek 1 - Půdorys výrobní haly s umístěním odsávacích míst a obráběcích strojů

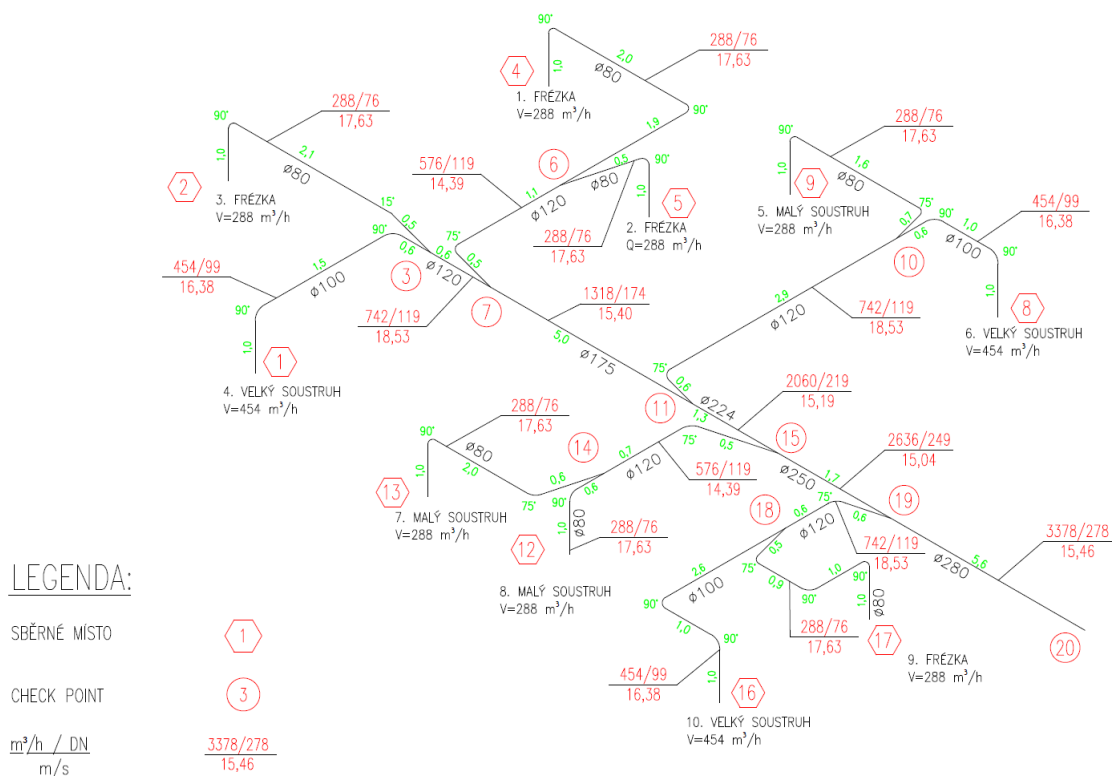
2. Návrh centrálního odsávání

Na obrázku číslo 2 je zobrazena celá výrobní hala ve 3D, včetně jednotlivých obráběcích strojů, navrhované potrubní sítě, bezpečnostních koridorů a pracovníků obsluhy.



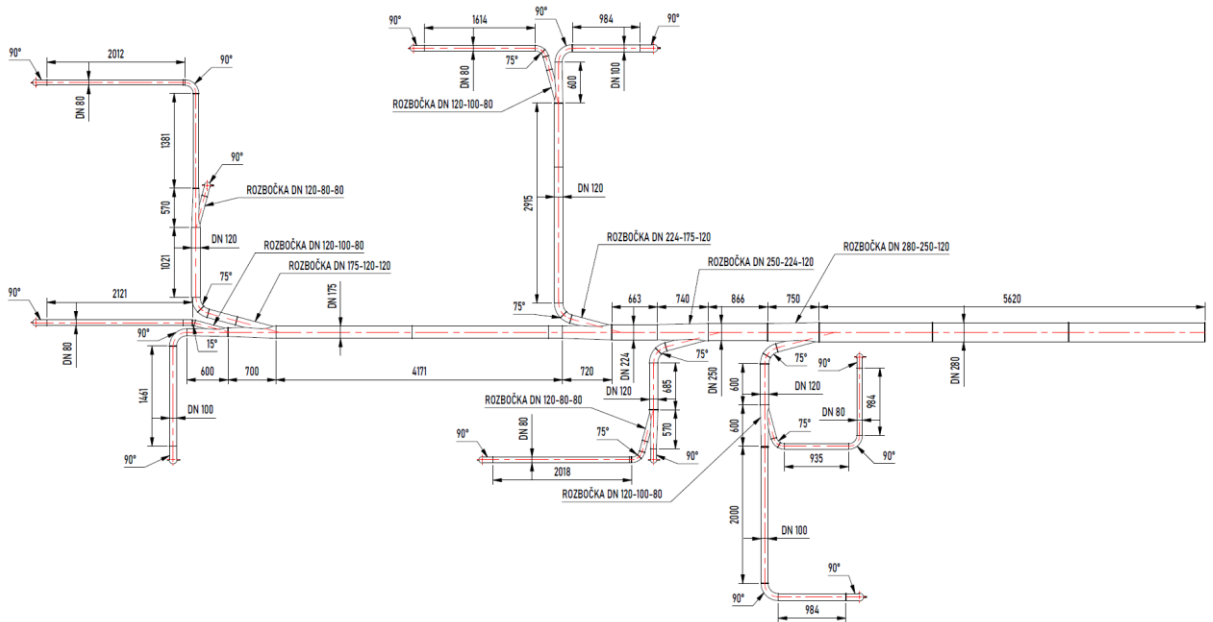
Obrázek 2 - 3D model výrobní haly s centrálním odsáváním

Na obrázku číslo 3, viz níže, se nachází izometrické schéma centrálního odsávacího systému pro 100% současnost chodu strojů. Jsou v něm zobrazena čísla jednotlivých úseků, názvy a číselná označení jednotlivých obráběcích strojů, odsávaná množství, rychlosti proudění v potrubí, vnitřní průměry potrubí, délky jednotlivých úseků potrubí a úhly potrubních kolen.



Obrázek 3 – Izometrie centrálního odsávání pro 100% současnost chodu strojů

Na obrázku číslo 4 je pak samotný výkres celého potrubního systému. Všechny rozměry jsou opět v milimetrech.



Obrázek 4 - Půdorys zvolené potrubní sítě centrálního odsávání

3. Teoretická část

3.1. Vzduchovody

Vzduchovody slouží k přívodu vzduchu, k větrání či klimatizaci a též k odvodu vzduchu, který obsahuje škodliviny z odvětrávané místnosti nebo od technologického zařízení. Vzduchovody mohou též sloužit k dopravě směsi vzduchu a tuhých příměsí.

Vzduchovody poté tvoří potrubní sítě, které jsou většinou velmi členité. Tyto členitosti se nazývají odbočky prvního a vyššího řádu od hlavní větve. Tyto větve jsou dále děleny na úseky, což jsou části, ve kterých je průtok a rychlost proudícího vzduchu konstantní. Hlavní větev je ta větev, ve které je nejvyšší celková tlaková ztráta. Správné navržení vzduchovodu je základním předpokladem ke správnému fungování celého systému.

Podle provedení dělíme vzduchovody na dvě skupiny:

- 1) vzduchovody, které jsou tvořeny stavební konstrukcí budovy
- 2) vzduchovody, které jsou zhotoveny odděleně od stavby budovy

Vzduchovodní potrubí má kruhový nebo čtyřhranný průřez. Výhody kruhového potrubí spočívají v menším obvodu při zachování stejného průřezu, což vede k nižším

investičním nákladům, vzhledem k úspoře materiálu. Další neméně důležitou výhodou kruhového potrubí je nižší riziko usazování prachových částic. Výhodou čtyřhranného potrubí je lepší přizpůsobení se stavbě samotné, zejména při větším průřezu. Nejčastěji se tedy kruhové potrubí využívá pro vyšší rychlosti proudění, čtyřhranné potrubí pak pro větší průtoky. [1]

3.2. Tlakové ztráty

Během proudění vzduchu v potrubí se kvůli vazkým silám mění část mechanické energie na teplo. Tato přeměněná energie není dále nijak použitelná k dopravě vzduchu potrubím, proto jí nazýváme ztrátovou energií. Nebereme-li v potaz stlačitelnost vzduchu, tento pokles mechanické energie se projeví tlakovou ztrátou.

Tlakové ztráty se dle jejich vzniku dále dělí na:

- 1) třecí tlakové ztráty
- 2) místní tlakové ztráty [1]

3.2.1 Třecí tlakové ztráty

Tlakové ztráty třecí vznikají po celé délce potrubí a kumulují se. Tlaková ztráta se na úseku kruhového potrubí o konstantním průřezu a obvodu dá vyjádřit Darcy-Weissbachovým vztahem:

$$\Delta P_z = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} w^2 \quad (1)$$

kde λ [–] označuje součinitele tření, l [m] délku potrubí, d [m] průměr potrubí, ρ [kg/m³] hustotu vzduchu a w [m/s] rychlost proudění vzduchu.

Součinitel tření λ je závislý na Reynoldsově čísle a na velikosti nerovností stěn uvnitř potrubí. Poměrná drsnost povrchu potrubí je definována vztahem: ε/d , kde ε [mm] vyjadřuje ekvivalentní drsnost stěn a d [m] průměr potrubí.

Drsnost stěny se dá zcela zanedbat při laminárním proudění, kdy hodnota Reynoldsova čísla nepřesahuje hodnotu 2300, jelikož se vnitřní nerovnosti potrubí zalévají zabrzděnou vrstvou tekutiny. V takovém případě platí pro součinitele tření následující vztah:

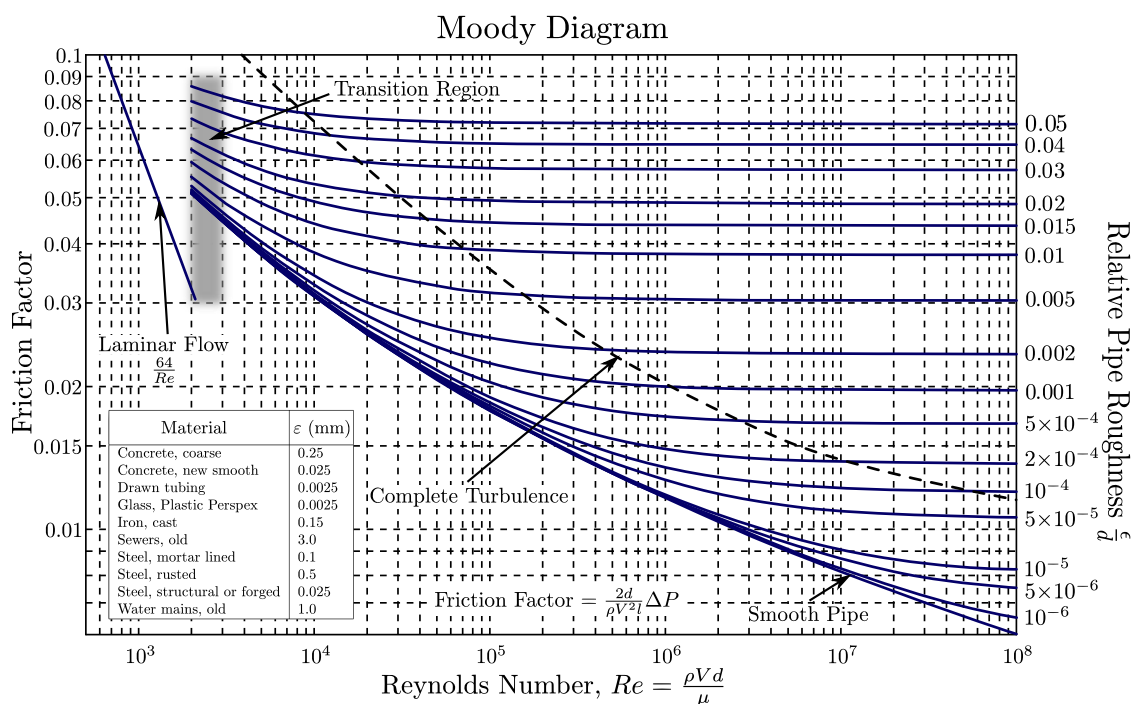
$$\lambda = \frac{A}{Re} \quad (2)$$

kde $A [-]$ je závislé na tvaru rychlostního profilu a průřezu potrubí. Pro osově symetrický rychlostní profil kruhového průřezu se $A = 64$. $Re [-]$ označuje Reynoldsovo číslo.

Pro Reynoldsovo číslo v rozmezí od 2300 a 10^5 se jedná o turbulentní proudění. V takovém případě je tak zvaný Blaisův vztah pro λ následující:

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (3)$$

Závislost součinitele tření na Reynoldsově čísle a poměrné drsnosti je zobrazen Moodyho diagramem na obrázku číslo 5.



Obrázek 5 – Moodyho diagram [3]

Součinitel tření se v projekční praxi určuje dle následujícího vztahu:

$$\lambda = \frac{0,0812}{Re^{0,125} d^{0,11}} \quad (4)$$

Křivkový průběh závislostí v logaritmických souřadnicích z Moodyho diagramu je nahrazován přímkou dle rovnice číslo 4, která má odchylky až $\pm 8 \%$. Tento vzorec je používán kvůli jeho jednoduchosti a relativní přesnosti. [1] [2]

3.2.2 Místní tlakové ztráty

Místní tlakové ztráty vznikají rozvířením proudícího média v místech, kde dochází ke změně směru, změně průřezu (rozšíření, zúžení, vstup a výstup z potrubí), v místech s regulačními prvky, spojováním a dělením proudů atd. Místní tlaková ztráta je vyjádřena následujícím vzorcem:

$$\Delta P_z = \xi \frac{\rho}{2} w^2 \quad (5)$$

kde ξ [-] je součinitel místní tlakové ztráty, který se nejčastěji určuje experimentálně. Závisí na geometrii daného prvku a zároveň v laminární a přechodové oblasti i na Reynoldsově čísle. Celková místní tlaková ztráta je poté získána součtem jednotlivých tlakových ztrát. [1] [2]

3.3. Součinitele místní tlakové ztráty

3.3.1 Koleno

Součinitel místní tlakové ztráty se odvíjí od poměru R/D a velikosti úhlu kolene. Nejčastěji využívané poměry R/D v dnešní době jsou 1, 1,5 a 2. Kruhové oblouky se vyrábějí hladké, lisováním do průměru 200 mm a jsou spájeny ze dvou kusů. Od průměru 225 mm jsou skládány ze svinutých segmentů po 15°, koncové díly u přírub mají úhel 7,5°. V následující tabulce číslo 2 jsou uvedeny hodnoty součinitele místní tlakové ztráty pro 90° koleno.

Tabulka 2 - Součinitel místní tlakové ztráty pro 90° koleno

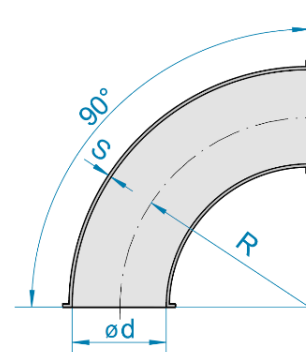
R/D	1	1,5	2
ξ_l	0,21	0,17	0,15

Pokud se jedná o jiné koleno než 90° je nutné koeficient ξ_l přepočíst pomocí následujícího vzorce:

$$\xi = C_\alpha \times \xi_l \quad (6)$$

Koeficient C_α je vyjádřen vztahem:

$$C_\alpha = 0,9 \times \sin \alpha \quad (7)$$



Obrázek 6 - Schéma pro 90° koleno [4]

V tabulce číslo 3 jsou pak hodnoty koeficientů pro jednotlivé úhly kolien.

Tabulka 3 - Koeficient místní tlakové ztráty pro kolena $\alpha \neq 90^\circ$

α	15°	30°	45°	60°	75°
C_α	0,23	0,45	0,64	0,78	0,87

Hodnoty součinitele místní tlakové ztráty pro kolena uvedená v tabulce výše získáme dosazením do rovnice (6). [1] [5]

3.3.2 Rozbočky sací

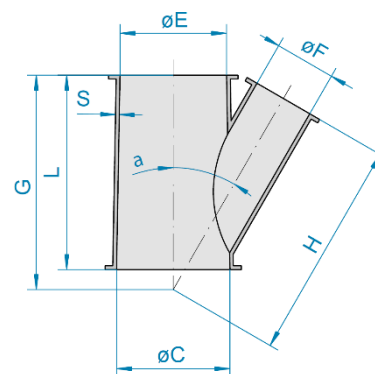
Rozbočka sacího typu má rozdílný výpočet pro přímý průchod a odbočení. Součinitel místní tlakové ztráty pro odbočení je popsán rovnicí (8), za předpokladu, že je splněna podmínka, kdy je roven součet plochy přímého vstupu a vstupu odbočení, ploše výstupu ($S_p + S_b = S_v$). Index p je označení pro přímý vstup (na obrázku číslo 7 označen průměrem E), b (na obrázku číslo 7 označen jako průměr F) pro boční vstup a v pro výstup (na obrázku číslo 7 přísluší průměru C).

$$\xi = 1 + \left(\frac{w_b}{w_v}\right)^2 - 2 \frac{S_v}{S_p} \left(1 - \frac{V_b}{V_v}\right)^2 - 2 \frac{S_b}{S_v} \left(\frac{V_b}{V_v}\right)^2 \cos\alpha + B \quad (8)$$

V předchozí rovnici je w [m/s] rychlost proudění, S [m²] plocha a V [m³/s] objemový průtok. Hodnoty B jsou uvedeny pro různé úhly rozboček v následující tabulce číslo 4.

Tabulka 4 - Hodnoty koeficientu B pro odbočení

α [°]	S_b/S_v			
	0,1	0,2	0,33	0,5
15-45	0	0	0	0
60		0,1		
90		0,1	0,2	0,25



Obrázek 7 - Schéma rozbočky

Součinitel místní tlakové ztráty pro přímý průchod je vyjádřen rovnicí (9):

$$\xi = 1 + \left(\frac{w_p}{w_v}\right)^2 - 2 \frac{S_p}{S_v} \left(\frac{w_p}{w_v}\right)^2 - 2 \frac{S_b}{w_v} \left(\frac{V_b}{V_v}\right)^2 \cos\alpha + P \quad (9)$$

Hodnoty P jsou uvedeny v tabulce číslo 5:

Tabulka 5 – Hodnoty koeficientu P pro přímý průchod

α [°]	S_b/S_v			
	0,1	0,2	0,3	0,5
15	0	0	0,14	0,4
30	0	0	0,17	0,35
45	0,05	0,14	0,14	0,3
60	0	0	0,10	0,25
90	0	0	0	0

Tlakové ztráty pro odbočení a přímý průchod se získají dosazením součinitele do rovnice (5). [1]

3.3.3 Odsávací hadice od strojů

Tlaková ztráta pro hadice od obráběcích strojů je stanovena stejně jako tlaková ztráta třením, jen se uvažuje s dvojnásobným součinitelem tření λ . Rovnice pro tlakovou ztrátu hadice je definována:

$$\Delta P_z = 2\lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} w^2 \quad (10)$$

4. Centrální odsávací systém

4.1. Výpočet hlavní větve pro 100% současnost chodu strojů

Všechna číselná označení úseků použitá ve vzorcích se vztahují k obrázku číslo 3. Všechny hodnoty dosazované do vzorců vycházejí z kapitoly číslo 1. Hlavní větev je ta větev, která má dle výpočtu nejvyšší tlakovou ztrátu. V mém případě se jedná o větev odsávající od 1. frézky se sběrným místem číslo 4 viz tabulka číslo 8. Hlavní větev se tedy skládá z úseků mezi body 4-6; 6-7; 7-11; 11-15; 15-19 a 19-20

Stanovení plochy průřezu jednotlivých úseků potrubí:

$$S_{4-6} = \frac{\pi \times D_{4-6}^2}{4} = \frac{\pi \times 0,076^2}{4} = 0,0045 \text{ m}^2$$

$$S_{6-7} = 0,0111 \text{ m}^2; S_{7-11} = 0,0238 \text{ m}^2; S_{11-15} = 0,0377 \text{ m}^2;$$

$$S_{15-19} = 0,0487 \text{ m}^2; S_{19-20} = 0,0607 \text{ m}^2$$

Stanovení délky potrubí:

Do celkové délky potrubí uvažujeme i rozvinutou délku oblouku, která se vypočítá následovně:

$$r = \frac{4 \times \pi \times DN \times \alpha}{360} = \frac{4 \times \pi \times 100 \times 90}{360} = 314,159 \text{ mm}$$

Kde DN [mm] je jmenovitý průměr potrubí a α [°] je úhel potrubního kolene.

Délka jednotlivých úseků hlavní větve:

$$L_{4-6} = 5,4 \text{ m}; L_{6-7} = 1,91 \text{ m}; L_{7-11} = 5 \text{ m}; S_{11-15} = 1,3 \text{ m};$$

$$L_{15-19} = 1,7 \text{ m}; L_{19-20} = 5,6 \text{ m}$$

Celková délka hlavní větve:

$$L = 5,4 + 1,91 + 5 + 1,3 + 1,7 + 5,6 = 20,91 \text{ m}$$

Stanovení rychlosti proudění:

$$w_{4-6} = \frac{V_{4-6}}{S_{4-6}} = \frac{0,08}{0,0045} = 17,63 \text{ m/s}$$

$$w_{6-7} = 14,39 \text{ m/s}; w_{7-11} = 15,39 \text{ m/s}; w_{11-15} = 15,19 \text{ m/s};$$

$$w_{15-19} = 15,03 \text{ m/s}; w_{19-20} = 15,45 \text{ m/s}$$

Stanovení Reynoldsova čísla:

$$Re_{4-6} = \frac{D_{4-6} \times w_{4-6}}{\nu} = \frac{0,076 \times 17,63}{1,51 \times 10^{-5}} = 88\,700$$

$$Re_{6-7} = 113\,297; Re_{7-11} = 177\,246; Re_{11-15} = 220\,089;$$

$$Re_{15-19} = 247\,718; Re_{19-20} = 284\,318$$

Stanovení součinitele třecí tlakové ztráty:

$$\lambda_{4-6} = \frac{0,0812}{Re_{4-6}^{0,125} \times D_{4-6}^{0,11}} = \frac{0,0812}{88\,700^{0,125} \times 0,076^{0,11}} = 0,026$$

$$\lambda_{6-7} = 0,024; \lambda_{7-11} = 0,022; \lambda_{11-15} = 0,02;$$

$$\lambda_{15-19} = 0,02; \lambda_{19-20} = 0,019$$

Stanovení třecí tlakové ztráty:

$$P_{D_{4-6}} = \lambda_{4-6} \times \frac{L_{4-6}}{D_{4-6}} \times \rho \times \frac{w_{4-6}^2}{2} = 0,026 \times \frac{5,4}{0,076} \times 1,2 \times \frac{17,63^2}{2} = 344,3 \text{ Pa}$$

$$P_{D_{6-7}} = 47,9 \text{ Pa}; P_{D_{7-11}} = 88,8 \text{ Pa}; P_{D_{11-15}} = 16,9 \text{ Pa};$$

$$P_{D_{15-19}} = 18,5 \text{ Pa}; P_{D_{19-20}} = 56,2 \text{ Pa}$$

Stanovení celkové tlakové ztráty třením hlavní větve:

$$P_{D_{celk}} = 344,3 + 47,9 + 88,8 + 16,9 + 18,5 + 56,2 = 572,5 \text{ Pa}$$

Stanovení součinitele třecí tlakové ztráty pro odbočení:

$$\begin{aligned}\xi_{7b} &= 1 + \left(\frac{w_{6-7}}{w_{7-11}}\right)^2 - 2 \frac{S_{7-11}}{S_{3-7}} \left(1 - \frac{V_{6-7}}{V_{7-11}}\right)^2 - 2 \frac{S_{6-7}}{S_{7-11}} \left(\frac{V_{6-7}}{V_{7-11}}\right)^2 \cos\alpha + B \\ &= 1 + \left(\frac{14,39}{15,39}\right)^2 - 2 \frac{0,0238}{0,0111} \left(1 - \frac{0,16}{0,366}\right)^2 - 2 \frac{0,0111}{0,0238} \left(\frac{0,16}{0,366}\right)^2 \cos 15 + 0 = 0,66\end{aligned}$$

Stanovení součinitele třecí ztráty pro přímý průchod:

$$\begin{aligned}\xi_{6p} &= 1 + \left(\frac{w_{4-6}}{w_{6-7}}\right)^2 - 2 \frac{S_{4-6}}{S_{6-7}} \left(\frac{w_{4-6}}{w_{6-7}}\right)^2 - 2 \frac{S_{5-6}}{w_{6-7}} \left(\frac{V_{5-6}}{V_{6-7}}\right)^2 \cos\alpha + P \\ &= 1 + \left(\frac{17,63}{14,39}\right)^2 - 2 \frac{0,0045}{0,0111} \left(\frac{17,63}{14,39}\right)^2 - 2 \frac{0,045}{14,39} \left(\frac{0,08}{0,16}\right)^2 \cos 15 + 0,27 = 2,57\end{aligned}$$

$$\xi_{11p} = 1,65; \xi_{15p} = 1,08; \xi_{19p} = 0,97$$

Stanovení místní tlakové ztráty pro odbočení:

$$P_{7b} = \xi_{7b} \times \frac{\rho}{2} \times w_{6-7}^2 = 0,66 \times \frac{1,2}{2} \times 14,39^2 = 81,3 \text{ Pa}$$

Stanovení místní tlakové ztráty pro přímý průchod:

$$P_{6p} = \xi_{6p} \times \frac{\rho}{2} \times w_{4-6}^2 = 2,57 \times \frac{1,2}{2} \times 17,63^2 = 479,3 \text{ Pa}$$

$$P_{11p} = 234,7 \text{ Pa}; P_{15p} = 148,9 \text{ Pa}; P_{19p} = 131,5 \text{ Pa}$$

Stanovení tlakové ztráty pro kolena:

Hodnoty součinitelů místní tlakové ztráty pro kolena jsou odečteny z tabulek číslo 2 a 3.

$$P_{90^\circ} = 2 \times \xi_1 \times \frac{\rho}{2} \times w_{4-6}^2 = 2 \times 0,15 \times \frac{1,2}{2} \times 17,63^2 = 56 \text{ Pa}$$

$$P_{75^\circ} = \xi_1 \times C_\alpha \times \frac{\rho}{2} \times w_{6-7}^2 = 0,15 \times 0,87 \times \frac{1,2}{2} \times 14,39^2 = 16,2 \text{ Pa}$$

$$P_{k_{celk}} = P_{90^\circ} + P_{75^\circ} = 56 + 16,2 = 72,2 \text{ Pa}$$

Stanovení tlakové ztráty odsávací hadice:

$$\begin{aligned}P_{hadice} &= 2 \times \lambda_{4-6} \times \frac{L_{hadice}}{D_{4-6}} \times \frac{\rho}{2} \times w_{4-6}^2 = 2 \times 0,026 \times \frac{2}{0,076} \times \frac{1,2}{2} \times 17,63^2 \\ &= 254,9 \text{ Pa}\end{aligned}$$

Stanovení tlakové ztráty sacího zákrytu:

Hodnota součinitele místní tlakové ztráty sacího zákrytu je odečtena z tabulky číslo 1.

$$P_{zákrytu} = \xi_{zákrytu} \times \frac{\rho}{2} \times w_{4-6}^2 = 0,45 \times \frac{1,2}{2} \times 17,63^2 = 84 \text{ Pa}$$

Stanovení celkové tlakové ztráty hlavní větve:

$$\begin{aligned} P_{celk} &= P_{D_{celk}} + P_{6p} + P_{7b} + P_{11p} + P_{15p} + P_{19p} + P_{k_{celk}} + P_{hadice} + P_{zákrytu} \\ &= 572,5 + 479,3 + 81,3 + 234,7 + 148,9 + 131,5 + 72,2 + 254,9 \\ &\quad + 84 = 2059,2 \text{ Pa} \end{aligned}$$

4.2. Vypočtené hodnoty pro 100% současnost chodu strojů

V následující tabulce číslo 6 jsou vypočtené hodnoty průřezů, délek úseků, průtoků, rychlostí proudění, dynamických tlaků, Reynoldsových čísel, hodnoty součinitele tření lambda a tlakové ztráty třením jednotlivých úseků pro 100% současnost chodu strojů.

Tabulka 6 - Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky při 100% současnosti chodu strojů

Úsek	D	S	L	V	V	w	P _d	Re	λ	Třecí tlaková Ztráta 1 m potrubí	Třecí tlaková ztráta úseku
	[m]	[m ²]	[m]	[m ³ /s]	[m ³ /h]	[m/s]	[Pa]	[-]	[-]	[Pa/m]	[Pa]
1-3	0,099	0,0077	3,7	0,126	454	16,37	161	107246	0,0246	40,0	149,0
2-3	0,076	0,0045	3,9	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	248,1
3-7	0,119	0,0111	0,6	0,206	742	18,52	206	145870	0,0232	40,2	24,1
4-6	0,076	0,0045	5,4	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	344,2
5-6	0,076	0,0045	1,8	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	111,6
6-7	0,119	0,0111	1,9	0,16	576	14,39	124	113297	0,0240	25,0	47,9
7-11	0,174	0,0238	5,0	0,366	1318	15,39	142	177246	0,0217	17,8	88,8
8-10	0,099	0,0077	3,2	0,126	454	16,37	161	107246	0,0246	40,0	129,0
9-10	0,076	0,0045	3,8	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	239,6
10-11	0,119	0,0111	3,8	0,206	742	18,52	206	145870	0,0232	40,2	153,2
11-15	0,219	0,0377	1,3	0,572	2059	15,19	138	220089	0,0206	13,0	16,9
12-14	0,076	0,0045	1,9	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	118,0
13-14	0,076	0,0045	4,1	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	258,7
14-15	0,119	0,0111	1,5	0,16	576	14,39	124	113297	0,0240	25,0	37,9
15-19	0,249	0,0487	1,7	0,732	2635	15,03	136	247718	0,0200	10,9	18,5
16-18	0,099	0,0077	5,2	0,126	454	16,37	161	107246	0,0246	40,0	209,0
17-18	0,076	0,0045	4,1	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	262,0
18-19	0,119	0,0111	1,5	0,206	742	18,52	206	145870	0,0232	40,2	60,8
19-20	0,278	0,0607	5,6	0,938	3377	15,45	143	284318	0,0195	10,0	56,1

4.3. Vypočtené místní tlakové ztráty pro 100% současnost chodu strojů

V tabulce číslo 7 jsou hodnoty pro součinitele místních tlakových ztrát a místní tlakové ztráty pro jednotlivé rozbočky. Čísla rozboček korespondují s obrázkem číslo 3. Index b v tabulce označuje boční proud vzduchu, p přímý průchod proudů vzduchu a index v výstup z rozbočky viz obrázek číslo 7 v kapitole 3.3.2. Všechny navrhované rozbočky svírají úhel 15° . Index c označuje celkovou místní tlakovou ztrátu pro odbočení či přímý průchod. Celková místní tlaková ztráta vzniká sečtením dílčích místních tlakových ztrát. Dále jsou v tabulce uvedeny hodnoty místních tlakových ztrát pro potrubní kolena a hodnoty koeficientů P a B , dle tabulek 4 a 5.

Tabulka 7 - Vypočtené hodnoty pro jednotlivé rozbočky při 100% současnosti chodu strojů

Rozbočka	ξ_b	ξ_p	P_b	P_p	Kolena boční	Kolena přímá	P_{bc}	P_{pc}	S_b/S_v	P	B
	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[-]	[-]	[-]
3	0,92	1,53	171,5	246,5	34,5	48,2	206,0	294,7	0,41	0,27	0
6	1,43	2,57	267,2	479,3	28,0	56,0	295,2	535,3	0,41	0,27	0
7	0,65	2,55	81,3	525,3	16,2	0,0	97,5	525,3	0,47	0,4	0
10	0,92	1,53	171,5	246,5	52,3	48,2	223,8	294,7	0,41	0,27	0
11	1,25	1,65	257,0	234,7	26,8	0,0	283,9	234,7	0,30	0,14	0
14	1,43	2,57	267,2	479,3	52,3	28,0	319,5	507,3	0,41	0,27	0
15	0,35	1,08	43,9	148,9	34,8	0,0	78,7	148,9	0,23	0	0
18	0,92	1,53	171,5	246,5	80,3	24,1	251,8	270,6	0,41	0,27	0
19	0,93	0,97	191,8	131,5	26,8	0,0	218,6	131,5	0,18	0	0

4.4. Celková tlaková ztráta pro 100% současnost chodu strojů.

Celková tlaková ztráta je dána součtem všech dílčích tlakových ztrát ovlivňující daný úsek. Jelikož máme 10 obráběcích strojů, od kterých odsáváme, máme také 10 samostatných větví. Označení sběrných míst je souhlasné s označením na obrázku číslo 3. V tabulce číslo 8 jsou uvedeny všechny vypočtené dílčí tlakové ztráty. Větev s nejvyšší celkovou tlakovou ztrátou je hlavní větev. Za předpokladu 100% současnosti chodu strojů se v mém případě jedná o větev od 1. Frézky, viz obrázek číslo 3. Dále je v tabulce vypočten rozdíl tlakových ztrát jednotlivých větví od hlavní větve. Tuto tlakovou ztrátu budeme vytvářet pomocí těsných regulačních klapek nacházejících se nad odsávacími hadicemi od obráběcích strojů. Regulace je podrobněji popsána v následující podkapitole.

Tabulka 8 - Celkové tlakové ztráty pro 100% současnost chodu strojů

Sběrné místo	Délka větve	Třecí ztráty	Místní ztráty	Tlaková ztráta hadice	Vstupní tlaková ztráta	Celková tlaková Ztráta	Maximální tlaková ztráta	Doškrzení na klapce
	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1	17,9	353,5	1335,1	159,9	72,3	1920,8	2059,2	138,4
2	18,1	452,5	1246,4	254,9	84,0	2037,7		21,5
4	20,9	572,5	1147,9	254,9	84,0	2059,2		0,0
5	17,3	339,8	907,7	254,9	74,6	1577,1		482,1
8	15,6	373,8	859,0	159,9	72,3	1465,1		594,1
9	16,2	484,4	788,1	254,9	74,6	1602,0		457,2
12	10,7	230,5	717,5	254,9	84,0	1286,9		772,3
13	12,9	371,3	529,7	254,9	84,0	1239,8		819,4
16	12,3	325,9	489,2	159,9	72,3	1047,4		1011,8
17	11,2	379,0	470,4	254,9	74,6	1178,9		880,4

4.5. Regulace pro 100% současnost chodu strojů

Regulace potrubní sítě bude provedena pomocí těsných regulačních klapek umístěných uvnitř potrubí. Je nutné dopočítat hodnoty žádaných součinitelů místních tlakových ztrát pro jednotlivá sběrná místa. Tento součinitel lze spočítat úpravou rovnice (5) do následujícího tvaru:

$$\xi_k = \frac{2 \times \Delta P_z}{\rho \times w^2}$$

Hodnoty jednotlivých součinitelů místních tlakových ztrát pro požadované hodnoty doškrčení, uvedené v tabulce číslo 8, jsou v následující tabulce číslo 9.

Tabulka 9 - Vypočtené hodnoty součinitelů místních tlakových ztrát regulačních klapek pro 100% současnost

ξ_{k1}	ξ_{k2}	ξ_{k4}	ξ_{k5}	ξ_{k8}	ξ_{k9}	ξ_{k12}	ξ_{k13}	ξ_{k16}	ξ_{k17}
0,86	0,12	0,00	2,58	3,7	2,45	4,14	4,39	6,29	4,72

Konkrétní úhel natočení jednotlivých regulačních klapek vychází z grafu na obrázku číslo 8.



Obrázek 8 – Graf závislosti součinitele místní tlakové ztráty na úhlu natočení regulační klapky [6]

Rovnice pro úhel natočení regulační klapky vypadá následovně:

$$\xi_k = 0,0086 \times e^{0,2135 \times \vartheta} \quad (11) [6]$$

Konkrétní nastavení regulačních klapek jednotlivých sběrných míst pro 100% současnost chodu strojů je znázorněno v tabulce číslo 10.

Tabulka 10 - Nastavení regulačních klapek pro 100% současnost chodu strojů

Sběrné místo	1	2	4	5	8	9	12	13	16	17
ϑ [°]	22	12	0	27	28	26	29	29	31	30

Hodnota ϑ [°] značí úhel natočení regulační klapky.

4.6. Zhodnocení 100% současnosti chodu strojů

Potrubní síť je v ideálním stavu za chodu a odsávání od všech deseti obráběcích strojů. Hlavní větví se při 100% současnosti chodu strojů stává větev od 1. frézky, sběrné místo s označením číslo 4 (viz obrázek číslo 3). Celková tlaková ztráta této větve je rovna 2059 Pa. Větší rozdíly v tlakové ztrátě zaznamenáváme na větvích od sběrných míst s číslem 12, 13, 16, 17, což jsou větve, které se k hlavní větvi napojují až ke konci potrubní sítě. Rychlosti proudění odsávaného vzduchu v potrubí jsou v rozmezí 14,4 m/s a 18,5 m/s, čemuž odpovídá odchylka ± 15 % od optimální rychlosti 16 m/s.

5. Možnosti nesoučasnosti chodu strojů

V této kapitole budu popisovat všechny možné varianty nesoučasnosti chodu strojů. Popisované varianty vychází z optimálního návrhu pro 100% současnost chodu strojů, tak jak bylo popsáno v kapitole číslo 4. Základní podmínkou všech možných nesoučasností bude, aby rychlost proudění odsávaného vzduchu neklesla pod hodnotu 8 m/s, jelikož v takovém případě by začalo docházet k usazování prachových částic uvnitř potrubí, což by mohlo vést až k úplnému ucpání odsávacího potrubí.

5.1. 10% nesoučasnost chodu strojů

Při 10% nesoučasnosti chodu strojů je vypnut 1 obráběcí stroj z 10. V tabulce číslo 11 je uvedeno, které obráběcí stroje u příslušných sběrných míst (viz obrázek číslo 3) lze v takovém případě vypnout.

Tabulka 11 - Možnosti chodu strojů při 10% nesoučasnosti

Sběrné místo	1	2	4	5	8	9	12	13	16	17
Lze vypnout	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano

5.2. 20% nesoučasnost chodu strojů

Při 20% nesoučasnosti chodu strojů jsou vypnuty 2 obráběcí stroje z 10. Za předpokladu, že vycházíme z optimální varianty, existuje pro 20% nesoučasnost 7 možných kombinací vypnutí strojů. Jedná se o sběrná místa s číslem:

Tabulka 12 - Možnosti chodu strojů při 20% nesoučasnosti

2 a 9	2 a 17	4 a 5	8 a 9	9 a 17	12 a 13	16 a 17
-------	--------	-------	-------	--------	---------	---------

5.3. 30% nesoučasnost chodu strojů

Při 30% nesoučasnosti chodu strojů jsou vypnuty 3 obráběcí stroje z 10. Za předpokladu, že vycházíme z optimální varianty, existuje pro 30% nesoučasnost 9 možných kombinací vypnutí strojů. Jedná se o sběrná místa číslo:

Tabulka 13 - Možnosti chodu strojů při 30% nesoučasnosti

2, 9 a 17	2, 12 a 13	2, 16 a 17
4, 5 a 9	4, 5 a 17	8, 9 a 17
9, 12 a 13	9, 16 a 17	12, 13 a 17

5.4. 40% nesoučasnost chodu strojů

Při 40% nesoučasnosti chodu strojů jsou vypnuty 4 obráběcí stroje z 10. Za předpokladu, že vycházíme z optimální varianty, existuje pro 40% nesoučasnost 7 možných kombinací vypnutí strojů. Jedná se o sběrná místa s číslem:

Tabulka 14 - Možnosti chodu strojů při 40% nesoučasnosti

2, 9, 12 a 13	2, 9, 16 a 17	2, 12, 13 a 17	4, 5, 9 a 17
8, 9, 16 a 17	9, 12, 13 a 17	12, 13, 16 a 17	

5.5. 50% nesoučasnost chodu strojů

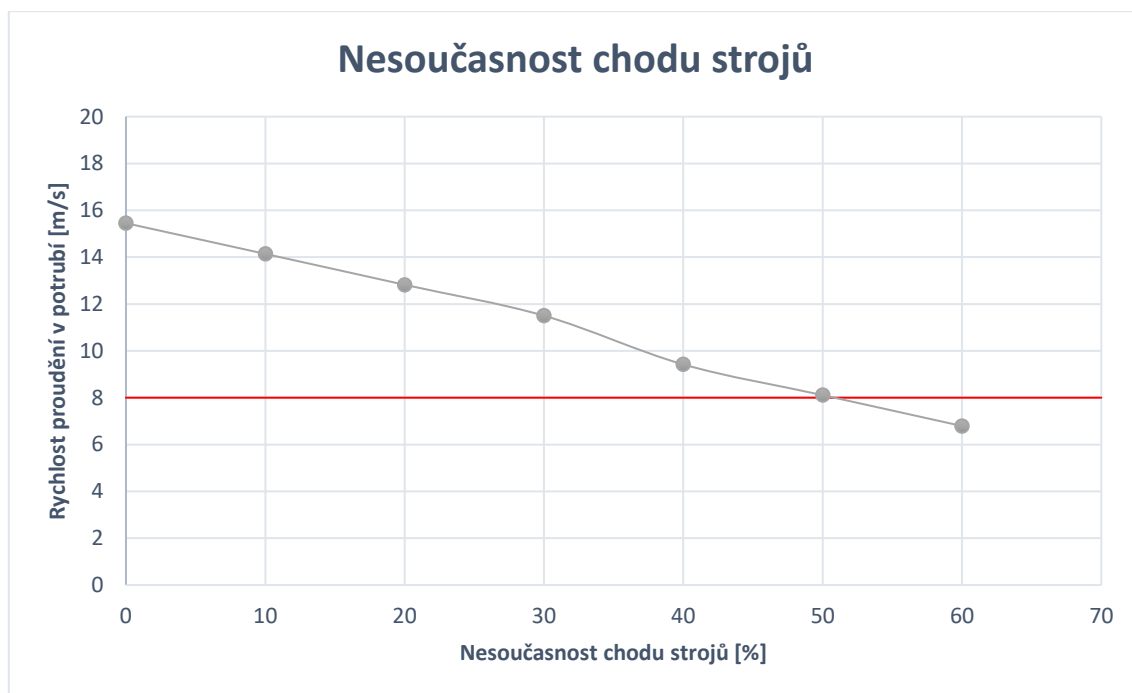
Při 50% nesoučasnosti chodu strojů je vypnuto 5 obráběcích strojů z 10. Za předpokladu, že vycházíme z optimální varianty, tak pro 50% nesoučasnost existují 4 možné kombinace vypnutí strojů. Jedná se o sběrná místa číslo:

Tabulka 15 - Možnosti chodu strojů při 50% nesoučasnosti

2, 9, 12, 13 a 17	2, 12, 13, 16 a 17	4, 5, 9, 16 a 17	9, 12, 13, 16 a 17
-------------------	--------------------	------------------	--------------------

5.6. Zhodnocení nesoučasnosti chodu strojů

V grafu na obrázku číslo 9 je zobrazena závislost poklesu rychlosti na nesoučasnosti chodu strojů v úseku 19-20, který je společný pro všechny větve. Je z něj patrné, že nesoučasnost chodu strojů větší než 50 % není možná, jelikož neexistuje taková kombinace vypnutých strojů, při které by byla dodržena podmínka minimální rychlosti proudění v potrubí 8 m/s (červená přímka v grafu).



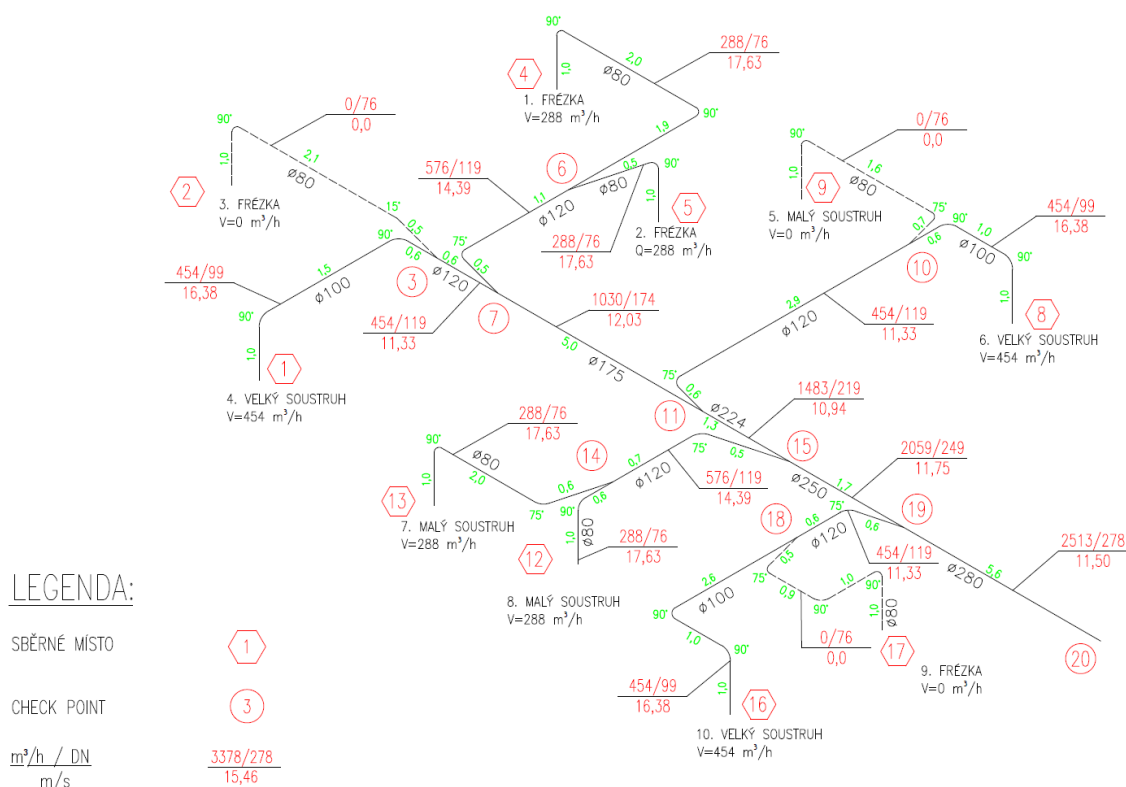
Obrázek 9 – Rychlost proudění vzduchu v úseku 19-20 při různé nesoučasnosti chodu strojů

Vlastnosti celého systému se zhoršují s každým jednotlivým vypnutím jednoho z obráběcích strojů. Při jakémkoliv zásahu (vypnutí či zapnutí stroje) do systému je navíc nutné všechny ostatní sběrná místa opětovně regulovat, protože se mění tlaková ztráta celého systému centrálního odsávání.

Za předpokladu, že budeme vycházet z optimálního návrhu vzduchotechnické sítě, existuje pouze omezený počet kombinací vypnutých strojů. Abychom dosáhli většího počtu kombinací, je možné optimální variantu již během návrhu upravit. Dosáhnout toho lze zvýšením odsávaného množství od jednotlivých obráběcích strojů, či zmenšením průměru potrubí. Takto naddimenzovaná potrubní síť bude mít vyšší tlakové ztráty kvůli vyšším rychlostem proudění a bude též docházet k vyšší hlučnosti celého systému. Dalším rizikem by pak u vyšších rychlostí proudění vzduchu v potrubí byla abraze prachovými částicemi vnitřní stěny potrubí.

6. Výpočet pro 30% nesoučasnost chodu strojů

V této kapitole uvedu výpočet pro jednu z možných kombinací pro 30% nesoučasnost chodu strojů. V tomto případě budou vypnuty 3 obráběcí stroje z 10. Zvolil jsem variantu, kde jsou vypnuty obráběcí stroje se sběrným místem číslo 2, 9 a 17. Na následujícím obrázku číslo 10 je izometrické schéma centrálního odsávání pro 30% nesoučasnost chodu strojů. Jsou na něm zobrazena čísla jednotlivých úseků, názvy a číselná označení jednotlivých obráběcích strojů, odsávaná množství, rychlosti proudění v potrubí, vnitřní průměry potrubí, délky jednotlivých úseků potrubí a úhly potrubních kolen.



Obrázek 10 – Izometrie centrálního odsávání pro 30% nesoučasnost chodu strojů

Potrubní síť zůstává stejná jako je pro 100% současnost chodu strojů. Mění se pouze odsávaná množství, rychlosti v potrubí a tlakové ztráty. V tabulce číslo 16 jsou vypočtené hodnoty průřezů, délek úseků, průtoků, rychlostí proudění, dynamických tlaků, Reynoldsových čísel, hodnoty součinitele tření lambda a tlakové ztráty třením jednotlivých úseků pro 30% nesoučasnost chodu strojů.

Tabulka 16 - Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky při 30% nesoučasnosti chodu strojů

Úsek	D	S	L	V	V	w	P _d	Re	λ	Třecí tlaková ztráta 1 m potrubí	Třecí tlaková ztráta úseku
	[m]	[m ²]	[m]	[m ³ /s]	[m ³ /h]	[m/s]	[Pa]	[-]	[-]	[Pa/m]	[Pa]
1-3	0,099	0,0077	3,7	0,126	454	16,37	161	107246	0,0246	40,0	149,0
2-3	0,076	0,0045	3,9	0	0	0,00	0	0	0,0000	0,0	0,0
3-7	0,119	0,0111	0,6	0,126	454	11,33	77	89221	0,0247	16,0	9,6
4-6	0,076	0,0045	5,4	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	344,2
5-6	0,076	0,0045	1,8	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	111,6
6-7	0,119	0,0111	1,9	0,16	576	14,39	124	113297	0,0240	25,0	47,9
7-11	0,174	0,0238	5,0	0,286	1030	12,03	87	138504	0,0224	11,2	55,9
8-10	0,099	0,0077	3,2	0,126	454	16,37	161	107246	0,0246	40,0	129,0
9-10	0,076	0,0045	3,8	0	0	0,00	0	0	0,0000	0,0	0,0
10-11	0,119	0,0111	3,8	0,126	454	11,33	77	89221	0,0247	16,0	60,9
11-15	0,219	0,0377	1,3	0,412	1483	10,94	72	158525	0,0215	7,0	9,2
12-14	0,076	0,0045	1,9	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	118,0
13-14	0,076	0,0045	4,1	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	258,7
14-15	0,119	0,0111	1,5	0,16	576	14,39	124	113297	0,0240	25,0	37,9
15-19	0,249	0,0487	1,7	0,572	2059	11,75	83	193572	0,0207	6,9	11,7
16-18	0,099	0,0077	5,2	0,126	454	16,37	161	107246	0,0246	40,0	209,0
17-18	0,076	0,0045	4,1	0	0	0,00	0	0	0,0000	0,0	0,0
18-19	0,119	0,0111	1,5	0,126	454	11,33	77	89221	0,0247	16,0	24,2
19-20	0,278	0,0607	5,6	0,698	2513	11,50	79	211571	0,0202	5,8	32,3

6.1. Vypočtené místní tlakové ztráty pro 30% nesoučasnost chodu strojů

V tabulce číslo 17 jsou hodnoty pro součinitele místních tlakových ztrát a místní tlakové ztráty pro jednotlivé rozbočky. Čísla rozboček korespondují s obrázkem číslo 9. Index b v tabulce označuje boční proud vzduchu, p přímý průchod proudů vzduchu a index v výstup z rozbočky, viz obrázek číslo 7 v kapitole 3.3.2. Všechny navrhované rozbočky svírají úhel 15° . Index c označuje celkovou místní tlakovou ztrátu pro odbočení a přímý průchod. Celková místní tlaková ztráta vzniká sečtením dílčích místních tlakových ztrát. Dále jsou v tabulce uvedeny hodnoty místních tlakových ztrát pro potrubní kolena a hodnoty koeficientů P a B , dle tabulek 4 a 5.

Tabulka 17 - Vypočtené hodnoty pro jednotlivé rozbočky při 30% nesoučasnosti chodu strojů

Rozbočka	ξ_b	ξ_p	P_b	P_p	Kolena boční	Kolena přímá	P_{bc}	P_{pc}	S_b/S_v	P	B
	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[-]	[-]	[-]
3	-1,89	1,97	0,0	317,3	0,0	48,2	0,0	365,6	0,41	0,27	0
6	1,43	2,57	267,2	479,3	28,0	56,0	295,2	535,3	0,41	0,27	0
7	1,82	2,11	226,4	162,2	16,2	0,0	242,6	162,2	0,47	0,4	0
10	-1,89	1,97	0,0	317,3	0,0	48,2	0,0	365,6	0,41	0,27	0
11	0,59	1,74	45,3	151,2	10,0	0,0	55,3	151,2	0,30	0,14	0
14	1,43	2,57	267,2	479,3	52,3	28,0	319,5	507,3	0,41	0,27	0
15	1,19	1,07	147,2	76,5	34,8	0,0	182,0	76,5	0,23	0	0
18	-1,89	1,97	0,0	317,3	0,0	24,1	0,0	341,4	0,41	0,27	0
19	0,31	0,97	23,5	80,0	10,0	0,0	33,6	80,0	0,18	0	0

6.2. Celková tlaková ztráta pro 30% nesoučasnost chodu strojů.

Celková tlaková ztráta je dána součtem všech dílčích tlakových ztrát ovlivňující daný úsek. Označení sběrných míst je souhlasné s označením na obrázku číslo 9. V tabulce číslo 18 jsou uvedeny všechny vypočtené dílčí tlakové ztráty. Větev s nejvyšší celkovou tlakovou ztrátou je hlavní větev. Za předpokladu 30% nesoučasnosti chodu strojů se v mém případě jedná o větev od 1. Frézky, viz obrázek číslo 9. Dále je v tabulce vypočten rozdíl tlakových ztrát jednotlivých větví od hlavní větve. Tuto tlakovou ztrátu budeme vytvářet pomocí těsných regulačních klapek nacházejících se nad odsávacími hadicemi od obráběcích strojů. Regulace je podrobněji popsána v následující podkapitole.

Tabulka 18 - Celkové tlakové ztráty pro 30% nesoučasnost chodu strojů

Sběrné místo	Délka větve	Třecí ztráty	Místní ztráty	Tlaková ztráta hadice	Vstupní tlaková ztráta	Celková tlaková ztráta	Maximální tlaková ztráta	Doškrzení na klapce
	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]		
1	17,9	267,6	835,4	159,9	72,3	1335,2	1925,5	590,2
2	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
4	20,9	501,1	1085,6	254,9	84,0	1925,5		0,0
5	17,3	268,4	845,4	254,9	74,6	1443,3		482,1
8	15,6	243,1	577,4	159,9	72,3	1052,7		872,8
9	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
12	10,7	199,8	769,4	254,9	84,0	1308,0		617,5
13	12,9	340,5	581,6	254,9	84,0	1261,0		664,5
16	12,3	265,4	375,0	159,9	72,3	872,7		1052,8
17	11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0

6.3. Regulace pro 30% nesoučasnost chodu strojů

Regulace potrubní sítě bude provedena pomocí těsných regulačních klapek umístěných uvnitř potrubí. Je nutné dopočítat hodnoty žádaných součinitelů místních tlakových ztrát pro jednotlivá sběrná místa. Tento součinitel lze spočítat úpravou rovnice (5), jak je popsáno v podkapitole číslo 4.5. Hodnoty jednotlivých součinitelů místních tlakových ztrát pro požadované hodnoty doškrčení, uvedené v tabulce číslo 18, jsou v následující tabulce číslo 19:

Tabulka 19 - Vypočtené hodnoty součinitelů místních tlakových ztrát regulačních klapek pro 30% nesoučasnost

ξ_{k1}	ξ_{k2}	ξ_{k4}	ξ_{k5}	ξ_{k8}	ξ_{k9}	ξ_{k12}	ξ_{k13}	ξ_{k16}	ξ_{k17}
3,67	0,00	0,00	2,58	5,43	0,00	3,31	3,56	6,55	0,00

Konkrétní úhel natočení jednotlivých regulačních klapek vychází z grafu na obrázku číslo 8 a rovnice (11) pro úhel natočení regulační klapky zmíněné v podkapitole číslo 4.5. Konkrétní nastavení regulačních klapek jednotlivých sběrných míst pro 30% nesoučasnost chodu strojů je znázorněno v tabulce číslo 20.

Tabulka 20 - Nastavení regulačních klapek pro 30% nesoučasnost chodu strojů

Sběrné místo	1	2	4	5	8	9	12	13	16	17
ϑ [°]	28	90	0	27	30	90	28	28	31	90

Hodnota ϑ [°] značí úhel natočení regulační klapky. Jelikož využíváme těsné regulační klapky, tak při nastavení úhlu 90° plní funkci uzavírací klapky.

7. Komora stálého statického podtlaku

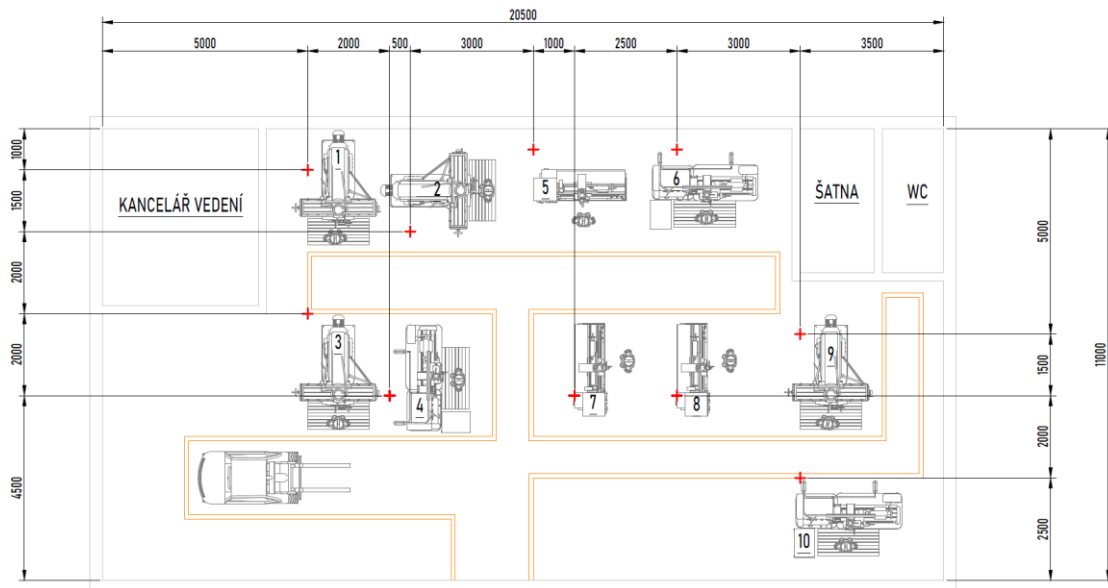
7.1. Zadané hodnoty

Zadané hodnoty pro odsávání využívající komoru stálého statického podtlaku jsou shodné se zadáním využívající centrální odsávání, včetně optimálních, maximálních a minimálních dovolených rychlostí proudění v potrubí. Pro připomenutí přikládám tabulku číslo 21 se zadanými hodnotami odsávání od jednotlivých obráběcích strojů.

Tabulka 21 - Zadané hodnoty pro systém s komorou stálého statického podtlaku

Stroj	D	D	V	V	Součinitel tlakové ztráty sacího zákrytu [-]
	[mm]	[m]	[m ³ /s]	[m ³ /h]	
1. Frézka	76	0,076	0,08	288	0,45
2. Frézka	76	0,076	0,08	288	0,45
3. Frézka	76	0,076	0,08	288	0,45
4. Velký soustruh	99	0,099	0,126	454	0,4
5. Malý soustruh	76	0,076	0,08	288	0,45
6. Velký soustruh	99	0,099	0,126	454	0,4
7. Malý soustruh	76	0,076	0,08	288	0,45
8. Malý soustruh	76	0,076	0,08	288	0,45
9. Frézka	76	0,076	0,08	288	0,45
10. Velký soustruh	99	0,099	0,126	454	0,4

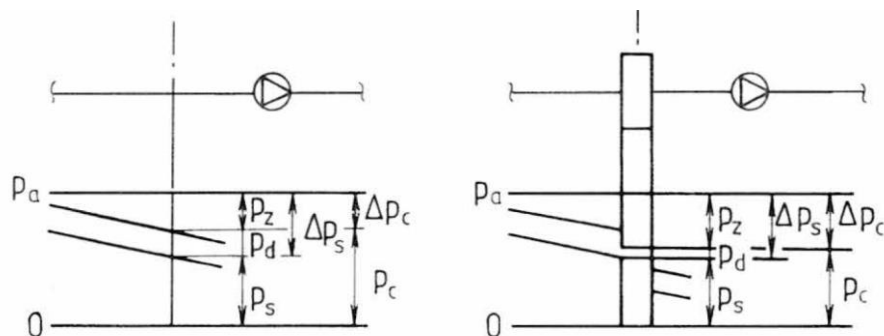
Jedná se o stejnou halu s totožným rozmístěním obráběcích strojů, tak jak bylo popsáno v kapitole číslo 1. Na půdorysu níže jsou pro upřesnění zadaná místa jednotlivých odsávacích míst od obráběcích strojů. Uvedené rozměry jsou v milimetrech.



Obrázek 11 - Půdorys výrobní haly s umístěním odsávacích míst a obráběcích strojů pro systém s komorou stálého statického podtlaku

7.2. Princip funkce komory stálého statického podtlaku

Systém využívající komoru stálého statického podtlaku se liší od centrálního odsávání zejména tím, že jednotlivé větve se nespojují dohromady do společného proudu vzduchu, nýbrž jsou všechny samostatně svedeny právě do komory stálého statického podtlaku. V komoře stálého statického podtlaku poté dochází k rapidnímu poklesu dynamického tlaku na zanedbatelnou hodnotu, zhruba 5 % původní hodnoty, vlivem rozšíření odsávaného proudu vzduchu do celého prostoru komory. Celkový podtlak se v takovém případě bude rovnat celkovému statickému tlaku a zároveň tak tlakovým ztrátám jednotlivých potrubních úseků. Pokud budeme udržovat v komoře stálý statický podtlak, bude zachován konstantní průtok vzduchu v odsávacím potrubí. Změny tlaků jsou zobrazeny na obrázku číslo 12. Vlevo je zobrazen průběh tlaků pro běžné potrubí a vpravo pro potrubí s komorou stálého statického podtlaku.



Obrázek 12 – Tlakové poměry potrubní sítě [8]

Na obrázku číslo 12 označuje P_a [Pa] atmosférický tlak, P_z [Pa] ztrátový tlak, P_s [Pa] statický tlak, P_d [Pa] dynamický tlak a P_c [Pa] celkový tlak.

Aby systém s komorou stálého statického podtlaku umožňoval libovolné vypínání odsávání od obráběcích strojů, je nutné opatřit komoru čidlem statického tlaku. Toto čidlo dává zpětnou vazbu řídicímu systému otáček motoru ventilátoru. Pokud se uzavře některá z klapek odsávání od obráběcích strojů, dojde ke zvýšení průtoků v ostatních neuzavřených větvích. Toto zvýšení průtoku povede k nárůstu tlakových ztrát v důsledku zvýšení rychlosti proudění uvnitř potrubí. Následně se sníží statický tlak v komoře, na což zareaguje čidlo statického tlaku a pošle tuto informaci k ventilátoru. Motor v reakci na tuto informaci sníží otáčky ventilátoru na požadovanou hodnotu. [7] [8]

7.3. Návrh komory stálého statického podtlaku

Nejdříve je nutné předběžně stanovit oblast, ve které se bude komora stálého statického podtlaku nacházet. Nejvhodnější umístění bude v pomyslném středu všech obráběcích strojů, aby bylo odsávací potrubí připojené ke komoře u všech větví co možná nejkratší, vzhledem k třecím tlakovým ztrátám. Musíme též počítat s volným prostorem pod komorou, ve kterém se bude nacházet nádoba, do které budou z komory odpadávat větší prachové částice. Návrh komory stálého statického podtlaku budeme dimenzovat na 100% současnost chodu strojů. Dalším krokem bude stanovení rozměrů komory. Do směšovací komory se napojuje celkem 10 větví. Bude tedy nejvhodnější rozdělit připojené větve na polovinu tak, aby do dvou protilehlých stran komory šlo právě 5 větví. Aby se proudy navzájem neovlivňovaly a zároveň nedocházelo k ovlivnění čidla statického tlaku, volíme protilehlé napojení. Snažíme se rozdělit napojení větví tak, aby byl rozdíl středních rychlostí na obou stranách co nejmenší. V tabulce číslo 22 je uvedeno konkrétní rozdělení napojení odsávacích potrubí od jednotlivých obráběcích strojů do komory stálého statického podtlaku.

Tabulka 22 - Napojení větví od obráběcích strojů do komory stálého statického podtlaku

Levá strana			Pravá strana		
Stroj	V	V _c	Stroj	V	V _c
	[m ³ /s]	[m ³ /s]		[m ³ /s]	[m ³ /s]
1. Frézka	0,08	0,446	6. Velký soustruh	0,126	0,492
2. Frézka	0,08		7. Velký soustruh	0,08	
3. Frézka	0,08		8. Malý soustruh	0,08	
4. Velký soustruh	0,126		9. Frézka	0,08	
5. Malý soustruh	0,08		10. Velký soustruh	0,126	

V následující tabulce číslo 23 jsou uvedeny průměry, průřezy, rychlosti proudění a hodnoty dynamického tlaku jednotlivých větví vstupujících do komory.

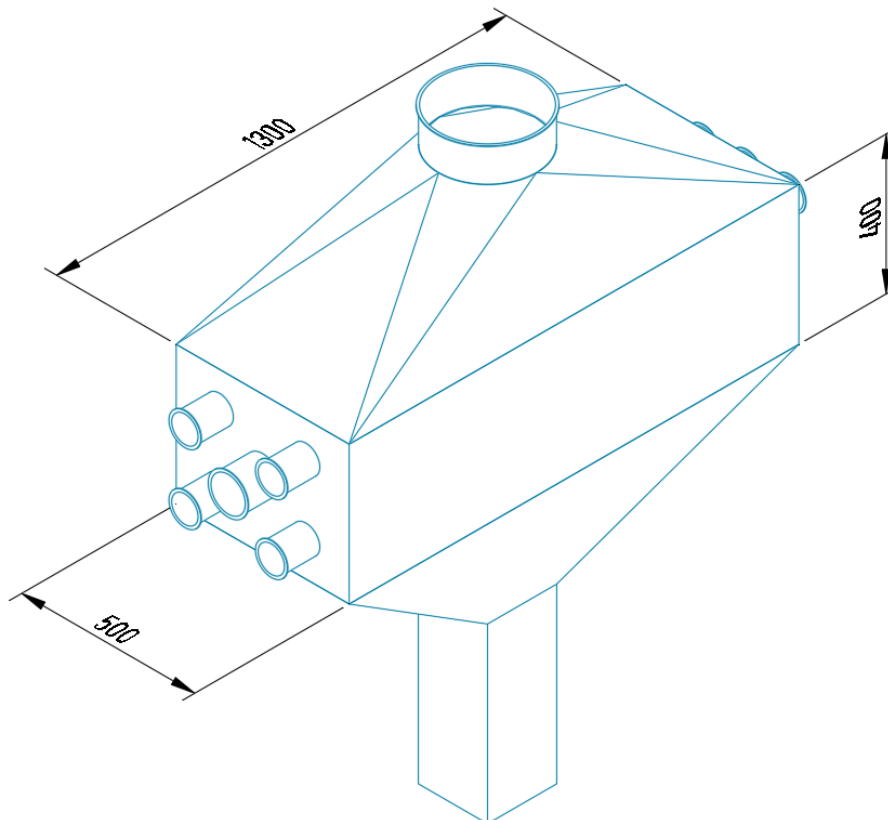
Tabulka 23 – Hodnoty jednotlivých větví vstupujících do komory

Stroj	D	S	V	w	P _d
	[mm]	[m ²]	[m ³ /h]	[m/s]	[Pa]
1	76	0,0045	288	17,63	187
2	76	0,0045	288	17,63	187
3	76	0,0045	288	17,63	187
4	99	0,0077	454	16,37	161
5	76	0,0045	288	17,63	187
6	99	0,0077	454	16,37	161
7	76	0,0045	288	17,63	187
8	76	0,0045	288	17,63	187
9	76	0,0045	288	17,63	187
10	99	0,0077	454	16,37	161

Maximální rychlost je rovna 17,63 m/s a maximální dynamický tlak 187 Pa. 5 % z maximálního dynamického tlaku se rovná 9,35 Pa, ale kvůli bezpečnosti zvolíme hodnotu maximálního dovoleného dynamického tlaku na 5 Pa. Maximální dovolená rychlost proudění v komoře v místě čidla statického tlaku je pak vyjádřena následovně:

$$w_{Dmax} = \sqrt{\frac{P_{Dmax} * 2}{\rho}} = \sqrt{\frac{5 * 2}{1,2}} = 2,89 \text{ m/s}$$

Komoru stálého statického podtlaku pro mé zadání jsem zvolil o šířce 500 mm, výšce 400 mm a délce 1300 mm. 3D schéma komory včetně rozměrů v milimetrech je na následujícím obrázku:



Obrázek 13 - Rozměry komory stálého statického podtlaku

Pro takto zvolené rozměry jsou rychlosti uvnitř komory pro jednotlivé strany zobrazeny v tabulce číslo 24.

Tabulka 24 - Rychlost proudění vzduchu uvnitř komory stálého statického podtlaku z obou stran

Levá strana				Pravá strana			
V_c	V_c	w	P_d	V_c	V_c	w	P_d
[m ³ /s]	[m ³ /h]	[m/s]	[Pa]	[m ³ /s]	[m ³ /h]	[m/s]	[Pa]
0,446	1606	2,23	2,98	0,492	1771	2,46	3,63

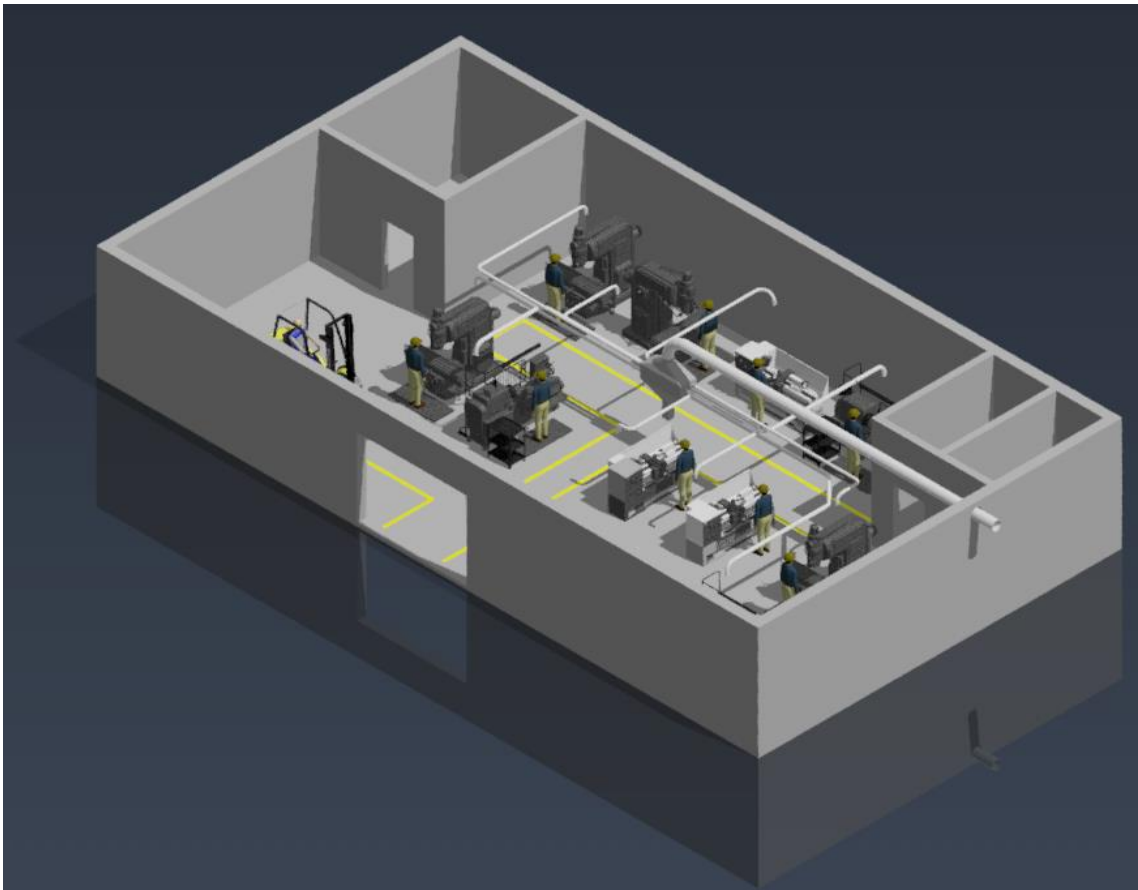
Z předchozí tabulky je patrné, že zvolená šířka a výška komory vyhovuje bezpečnostnímu požadavku maximálního dovoleného dynamického tlaku 5 Pa i s rezervou cca 1,5 Pa.

Zvolená délka komory bude dostatečná pouze za předpokladu, že se do komory vloží rozrážecí kotouče, které pomohou k zrovnomnění proudu vzduchu na kratší vzdálenosti. Pokud bychom tyto kotouče nevyužili, byla by délka komory násobně větší a konstrukčně nevýhodná.

Kotouče by měly být ve vzdálenosti 4–6 D od vstupu potrubí do směšovací komory, aby se zabránilo vzniku nežádoucích tlakových ztrát. Největší jmenovitý průměr vstupujícího potrubí do komory je 100 mm, tudíž zvolím na obou stranách umístění kotoučů do vzdálenosti 400 mm od stěn. Vzdálenost mezi kotouči volím 0,5 metru, tak aby proud vzduchu co nejméně ovlivňoval čidlo statického tlaku.

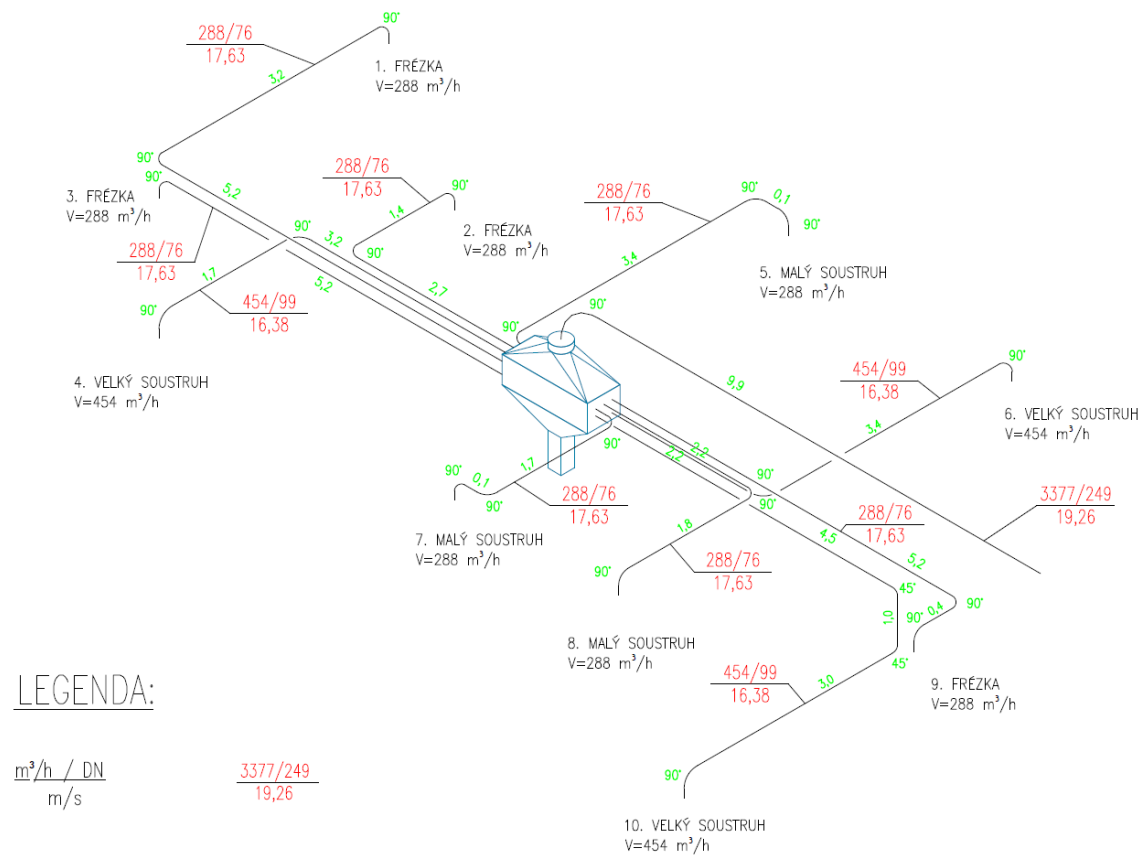
8. Odsávání s komorou stálého statického tlaku

Na obrázku číslo 14 je zobrazena celá výrobní hala ve 3D, včetně jednotlivých obráběcích strojů, navrhované potrubní sítě s komorou stálého statického tlaku, bezpečnostních koridorů a pracovníků obsluhy.



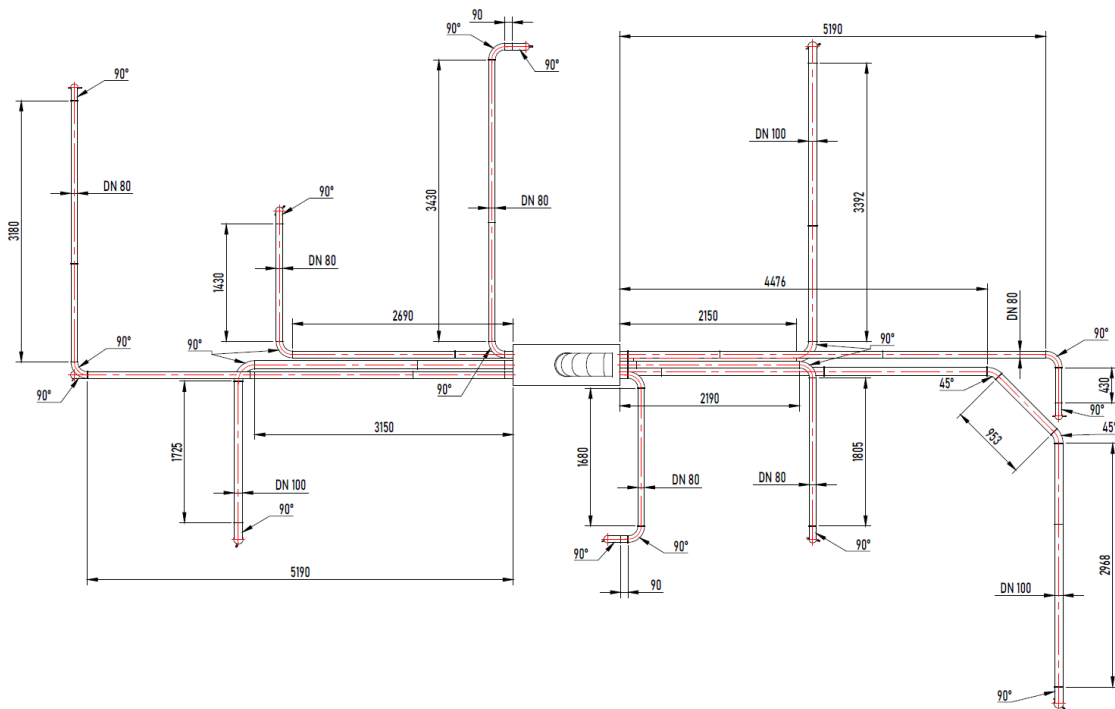
Obrázek 14 - 3D model výrobní haly s komorou stálého statického podtlaku

Na následujícím obrázku číslo 15 se nachází izometrické schéma odsávání s komorou stálého statického podtlaku pro 100% současnost chodu strojů. Jsou na něm zobrazeny názvy a číselná označení jednotlivých obráběcích strojů, odsávaná množství, rychlosti proudění v potrubí, vnitřní průměry potrubí, délky jednotlivých úseků potrubí a úhly kolen.



Obrázek 15 - Izometrie pro odsávání s komorou stálého statického podtlaku pro 100% současnost chodu strojů

Na dalším obrázku už je pak samotný půdorys celého potrubního systému s komorou stálého statického tlaku uprostřed. Všechny uvedené rozměry jsou v milimetrech.



Obrázek 16 - Půdorys zvolené potrubní sítě pro odsávání s komorou stálého statického tlaku

8.1. Výpočet hlavní větve

Teorie k výpočtu je shodná s teorií pro výpočet s centrálním odsáváním tak, jak bylo popsáno v kapitole číslo 3. Všechny hodnoty dosazené do vzorců vycházejí z podkapitoly číslo 7.1. Hlavní větev je ta větev, která má dle výpočtu nejvyšší tlakovou ztrátu. V případě odsávání s komorou stálého statického podtlaku se jedná stejně jak při centrálním odsáváním o větev odsávající od 1. frézky, viz tabulka číslo 27.

Stanovení plochy průřezu potrubí:

$$S_1 = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \frac{\pi \times 0,076^2}{4} = 0,0045 \text{ m}^2$$

Stanovení délky potrubí:

Do celkové délky potrubí uvažujeme i rozvinutou délku oblouku, která se vypočítá následovně:

$$r = \frac{4 \times \pi \times DN \times \alpha}{360} = \frac{4 \times \pi \times 80 \times 90}{360} = 251,327 \text{ mm}$$

Kde DN [mm] je jmenovitý průměr potrubí a α [°] je úhel potrubního kolene.

Celková délka hlavní větve:

$$L_1 = 0,251 + 3,2 + 0,251 + 5,2 = 8,9 \text{ m}$$

Stanovení rychlosti proudění:

$$w_1 = \frac{V_1}{S_1} = \frac{0,08}{0,0045} = 17,63 \text{ m/s}$$

Stanovení Reynoldsova čísla:

$$Re_1 = \frac{D_1 \times w_1}{\nu} = \frac{0,076 \times 17,63}{1,51 \times 10^{-5}} = 88\,700$$

Stanovení součinitele třecí tlakové ztráty:

$$\lambda_1 = \frac{0,0812}{Re_1^{0,125} \times D_1^{0,11}} = \frac{0,0812}{88\,700^{0,125} \times 0,076^{0,11}} = 0,026$$

Stanovení celkové tlakové ztráty třením hlavní větve:

$$P_{D_1} = \lambda_1 \times \frac{L_1}{D_1} \times \rho \times \frac{w_1^2}{2} = 0,026 \times \frac{8,9}{0,076} \times 1,2 \times \frac{17,63^2}{2} = 567,3 \text{ Pa}$$

Stanovení tlakové ztráty pro kolena:

Hodnoty součinitelů místní tlakové ztráty pro kolena jsou odečteny z tabulek číslo 2 a 3.

$$P_k = 2 \times \xi_1 \times \frac{\rho}{2} \times w_1^2 = 2 \times 0,15 \times \frac{1,2}{2} \times 17,63^2 = 56 \text{ Pa}$$

Stanovení tlakové ztráty odsávací hadice:

$$\begin{aligned} P_{hadice} &= 2 \times \lambda_1 \times \frac{L_{hadice}}{D_1} \times \frac{\rho}{2} \times w_1^2 = 2 \times 0,026 \times \frac{2}{0,076} \times \frac{1,2}{2} \times 17,63^2 \\ &= 254,9 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Stanovení tlakové ztráty sacího zákrytu:

Hodnota součinitele místní tlakové ztráty sacího zákrytu je odečtena z tabulky číslo 21.

$$P_{zákrytu} = \xi_{zákrytu} \times \frac{\rho}{2} \times w_1^2 = 0,45 \times \frac{1,2}{2} \times 17,63^2 = 84 \text{ Pa}$$

Stanovení celkové tlakové ztráty hlavní větve:

$$P_{celk} = P_{D_1} + P_k + P_{hadice} + P_{zákrytu} = 567,3 + 56 + 254,9 + 84 = 962,1 \text{ Pa}$$

8.2. Vypočtené hodnoty pro 100% současnost chodu strojů

V následující tabulce číslo 25 se nacházejí vypočtené hodnoty průřezů, délek úseků, průtoků, rychlostí proudění, dynamických tlaků, Reynoldsových čísel, hodnoty součinitele tření lambda a tlakové ztráty třením jednotlivých úseků pro 100% současnost chodu strojů. Čísla úseků korespondují s číselným označením obráběcích strojů tak, jak je k vidění na obrázcích číslo 11 a 15. Úsek 11 je výstup z komory stálého statického podtlaku až po hranici výrobní haly. Zde z důvodu provozuschopnosti systému i při 50% nesoučasnosti chodu strojů volíme vyšší rychlost tak, aby při libovolné kombinaci 50% nesoučasnosti neklesla rychlost ve výstupním potrubí pod 8 m/s.

Tabulka 25 - Vypočtené hodnoty jednotlivých úseků pro 100% současnost chodu strojů s komorou stálého statického podtlaku

Úsek	D	S	L	V	V	w	P _d	Re	λ	Třecí tlaková ztráta 1 m potrubí	Třecí tlaková ztráta úseku
	[m]	[m ²]	[m]	[m ³ /s]	[m ³ /h]	[m/s]	[Pa]	[-]	[-]	[Pa/m]	[Pa]
1	0,076	0,0045	8,9	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	567,3
2	0,076	0,0045	4,6	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	293,3
3	0,076	0,0045	5,5	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	347,3
4	0,099	0,0077	5,5	0,126	454	16,37	161	107246	0,0246	40,0	221,0
5	0,076	0,0045	4,3	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	271,1
6	0,099	0,0077	6,2	0,126	454	16,37	161	107246	0,0246	40,0	249,0
7	0,076	0,0045	2,6	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	162,7
8	0,076	0,0045	4,5	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	286,9
9	0,076	0,0045	6,4	0,08	288	17,63	187	88700	0,0260	63,7	404,9
10	0,099	0,0077	4,0	0,126	454	16,37	161	107246	0,0246	40,0	161,0
11	0,249	0,0487	14,4	0,938	3377	19,26	223	317431	0,0194	17,4	249,3

8.3. Místní tlakové ztráty pro 100% současnost chodu strojů

Jelikož se v potrubním systému využívající systém komory stálého statického tlaku nenachází žádné rozbočky, skládají se místní tlakové ztráty pouze z tlakových ztrát potrubních kolen. V tabulce číslo 26 jsou uvedeny hodnoty místních tlakových ztrát pro potrubní kolena jednotlivých úseků, včetně jejich počtu a hodnot součinitelů.

Tabulka 26 - Místní tlakové ztráty odsávání s komorou stálého statického tlaku

Úsek	Počet kolen	Součinitel místní tlakové ztráty	Celková místní tlaková ztráta
	[-]	[-]	[Pa]
1	2	0,15	56,0
2	2	0,15	56,0
3	1	0,15	28,0
4	2	0,15	48,2
5	3	0,15	84,0
6	2	0,15	48,2
7	3	0,15	84,0
8	2	0,15	56,0
9	3	0,15	84,0
10	1/2	0,15/0,10	63,6
11	1	0,15	56,7

8.4. Celková tlaková ztráta pro 100% současnost chodu strojů

Celková tlaková ztráta je dána součtem všech dílčích tlakových ztrát ovlivňující daný úsek. Jelikož máme 10 obráběcích strojů, od kterých odsáváme, máme tudíž 10 samostatných větví. Čísla úseků korespondují s číselným označením obráběcích strojů, tak jak je na obrázcích číslo 11 a 15. V tabulce číslo 27, viz níže, jsou uvedeny všechny vypočtené dílčí tlakové ztráty. Větev s nejvyšší celkovou tlakovou ztrátou je hlavní větev. Pro 100% současnost chodu strojů se v mém případě jedná o větev od 1. Frézky. Dále je v tabulce vypočten rozdíl tlakových ztrát jednotlivých větví od hlavní větve. Tuto tlakovou ztrátu budeme vytvářet pomocí těsných regulačních klapek nacházejících se nad odsávacími hadicemi od obráběcích strojů. Regulace je podrobněji popsána v následující podkapitole.

Tabulka 27 - Celkové tlakové ztráty pro 100% současnost chodu strojů s komorou stálého statického podtlaku

Stroj	Délka větve	Třecí ztráty	Místní ztráty	Tlaková ztráta hadice	Vstupní tlaková ztráta	Celková tlaková ztráta	Maximální tlaková ztráta	Doškrcení na klapce
	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
S1	8,9	567,3	56,0	254,9	84,0	962,1	962,1	0,0
2	4,6	293,3	56,0	254,9	84,0	688,1		274,0
3	5,5	347,3	28,0	254,9	84,0	714,2		247,9
4	5,5	221,0	48,2	159,9	64,3	493,4		468,7
5	4,3	271,1	84,0	254,9	84,0	693,9		268,2
6	6,2	249,0	48,2	159,9	64,3	521,4		440,7
7	2,6	162,7	84,0	254,9	84,0	585,5		376,5
8	4,5	286,9	56,0	254,9	84,0	681,7		280,4
9	6,4	404,9	84,0	254,9	84,0	827,7		134,4
10	4,0	161,0	63,6	159,9	64,3	448,8		513,3

8.5. Regulace pro 100% současnost chodu strojů

Regulace potrubní sítě bude provedena pomocí těsných regulačních klapek umístěných uvnitř potrubí. Je nutné dopočítat hodnoty žádaných součinitelů místních tlakových ztrát pro jednotlivá sběrná místa. Tento součinitel lze spočítat úpravou rovnice (5), jak je popsáno v podkapitole číslo 4.5. Hodnoty jednotlivých součinitelů místních tlakových ztrát pro požadované hodnoty doškrcení, uvedené v tabulce číslo 27, jsou v následující tabulce číslo 28:

Tabulka 28 - Vypočtené hodnoty součinitelů místních tlakových ztrát regulačních klapek pro 100% současnost

ξ_{k1}	ξ_{k2}	ξ_{k3}	ξ_{k4}	ξ_{k5}	ξ_{k6}	ξ_{k7}	ξ_{k8}	ξ_{k9}	ξ_{k10}
0,00	1,47	1,33	2,92	1,44	2,74	2,02	1,50	0,72	3,19

Konkrétní úhel natočení jednotlivých regulačních klapek vychází z grafu na obrázku číslo 8 a rovnice (11) pro úhel natočení regulační klapky zmíněné v podkapitole číslo 4.5. Konkrétní nastavení regulačních klapek jednotlivých sběrných míst pro 100% současnost chodu strojů využívající komoru stálého statického tlaku je znázorněno v tabulce číslo 29.

Tabulka 29 - Nastavení regulačních klapek pro 100% současnost chodu strojů

Stroj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ϑ [°]	0	24	24	27	24	27	26	24	21	28

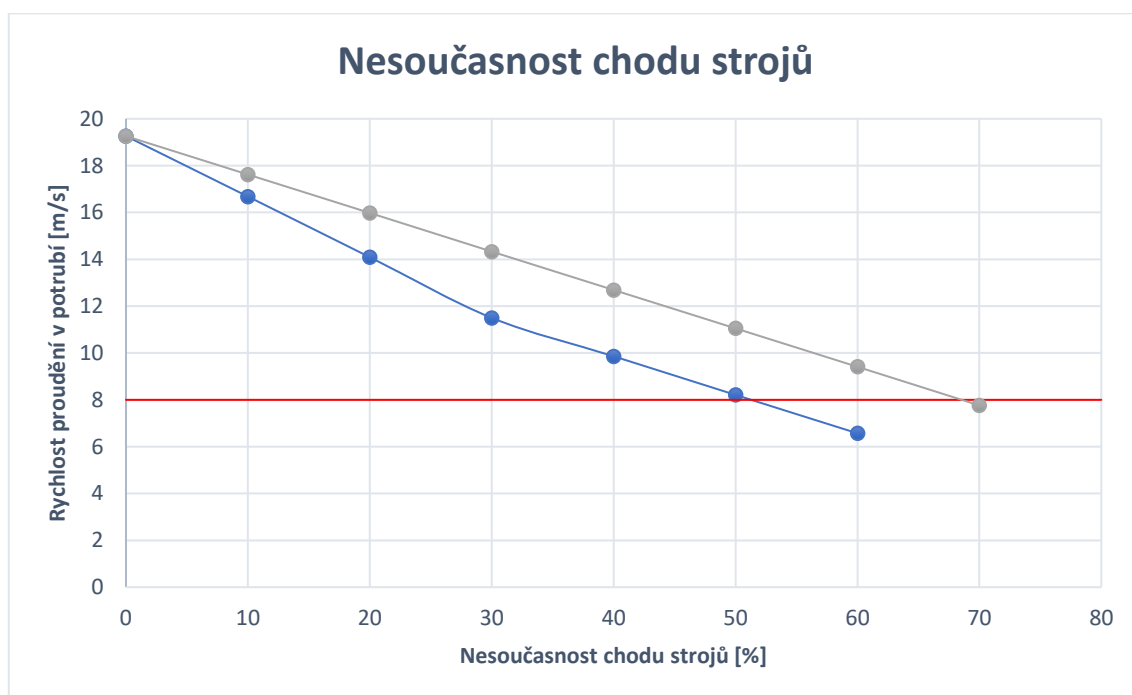
Hodnota ϑ [°] značí úhel natočení regulační klapky.

8.6. Zhodnocení 100% současnosti chodu strojů s komorou stálého statického tlaku

Potrubní síť je dimenzována na chod a odsávání od všech deseti obráběcích strojů. Hlavní větví se při 100% současnosti chodu strojů stejně jak u centrálního odsávání stává větev od 1. Frézky, viz obrázky číslo 11 a 15. Celková tlaková ztráta této větve je rovna 962,1 Pa. Rychlosti proudění odsávaného vzduchu vstupující do komory stálého statického podtlaku jsou rovny 16,4 m/s a 17,63 m/s. Rychlost proudění vzduchu v potrubí vystupující z komory stálého statického podtlaku je při 100% současnosti chodu strojů rovna 19,26 m/s. Hodnota této rychlosti je nepatrně vyšší než optimální rychlost, ale je zvolena tak, aby byla umožněna libovolná kombinace nesoučasnosti chodu obráběcích strojů až do výše 50 %. Nastavení jednotlivých regulačních klapek je v rozmezí od 21° do 28°, čemuž odpovídají rozdíly tlakových ztrát od hlavní větve mezi 134 Pa a 513 Pa.

8.7. Zhodnocení nesoučasnosti chodu strojů s komorou stálého statického tlaku

Nesoučasnost chodu obráběcích strojů je v případě systému s komorou stálého statického podtlaku, na rozdíl od centrálního odsávání, více komplexní. Jediné omezení, které bude nesoučasnost chodu strojů mít, je rychlost proudění vzduchu v potrubí, které vystupuje z komory stálého statického podtlaku. Na následujícím grafu jsou zobrazeny rychlosti proudění vzduchu v potrubí vystupující z komory, v závislosti na nesoučasnosti chodu strojů. Červená přímková čára zobrazuje minimální dovolenou rychlost proudění vzduchu uvnitř potrubí 8 m/s. Šedá křivka reprezentuje variantu, při které se budou vypínat pouze obráběcí stroje s menším odsávaným množstvím (frézky a malé soustruhy). Z grafu je patrné, že za takového předpokladu, je možné vypnout odsávání až od 6 obráběcích strojů, tudíž až 60% nesoučasnost. Modrá křivka zobrazuje horší možnou variantu, kdy budeme nejdříve vypínat odsávání od velkých soustruhů s větším průtokem vzduchu. Je patrné, že při této horší variantě je možné dosáhnout až 50% nesoučasnosti chodu strojů.



Obrázek 17 – Graf závislosti rychlosti proudění ve výstupním potrubí na nesoučasnosti chodu strojů

Další výhodou systému s komorou stálého statického podtlaku je jednotné nastavení regulačních klapek pro jednotlivé obráběcí stroje. Klapky budou mít pouze dvě polohy. První poloha bude vycházet z nastavení pro 100% současnost chodu strojů, druhá bude při vypnutí obráběcího stroje plně uzavřená.

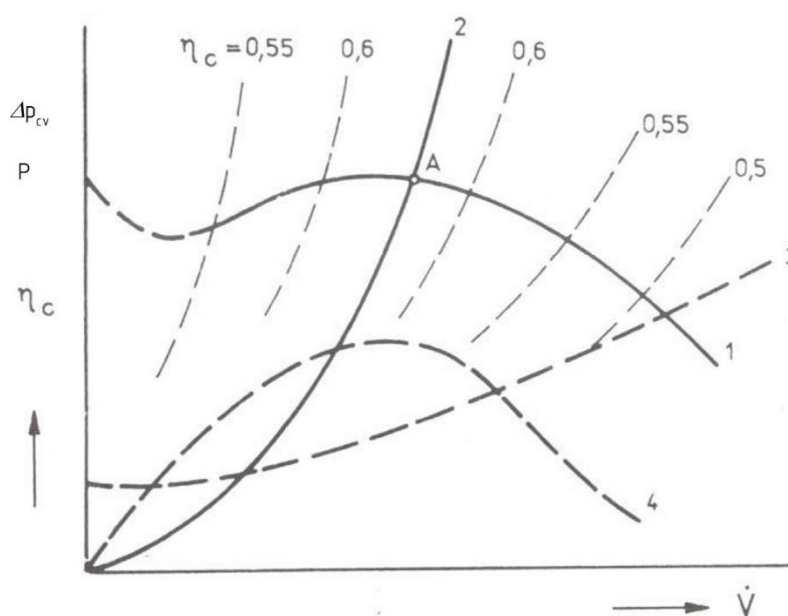
9. Ventilátor

Ventilátor je rotační lopatkový stroj, který dopravuje plyny s příměsí, či bez. Nejčastěji se ve vzduchotechnice používají ventilátory radiální (odstředivé). Radiální ventilátory dělíme dle celkového tlaku na nízkotlaké (do 1000 Pa), středotlaké (do 3000 Pa) a vysokotlaké (nad 3000 Pa).

Typ a velikost ventilátoru se určuje dle jeho použití, požadovaného objemového průtoku a celkového potřebného dopravního tlaku. Je důležité při výběru dbát na přípustnou hladinu hluku a pracovní bod, který volíme s nejvyšší účinností ventilátoru. Dále je důležité brát v potaz potřebný prostor pro instalaci, provozní bezpečnost, životnost, cenu, dostupnost a možnost regulace. [1]

9.1. Charakteristika ventilátoru

Charakteristika ventilátoru je vyjádřena závislostí celkového tlaku na objemovém průtoku. Při stálých otáčkách a určité hustotě vzduchu se průběh této závislosti nazývá tlaková charakteristika, která je na obrázku číslo 18 zobrazena křivkou 1. Křivka 2 zobrazuje charakteristiku sítě. Charakteristika výkonu je závislost příkonu ventilátoru na průtoku, v obrázku křivka 3. Ventilátor pracuje za podmínek daných provozním bodem, který je označen na obrázku bodem A, což je průsečík tlakové charakteristiky s charakteristikou sítě. Křivka 4 reprezentuje charakteristiku účinnosti. Celková účinnost ventilátoru a převodů je v obrázku 18 označena η_c [-]. [1]



Obrázek 18 - Tlaková a výkonová charakteristika ventilátoru s průběhem účinnosti [1]

9.2. Regulace ventilátoru

Průtok vzduchu a celkový tlak ventilátoru lze regulovat třemi způsoby: škrcením, natáčením lopatek v sání oběžného kola a změnou počtu otáček.

Princip regulace škrcením se odvíjí pouze od tlakového odporu sítě. Pokud potřebujeme snížit objemový průtok, je nutné zvětšit odpor potrubní sítě. Pakliže chceme průtok zvýšit, budeme naopak odpor sítě snižovat. Při škrcení se část energie zmaří. Navzdory nehospodárnosti je regulace škrcením používána kvůli její jednoduchosti.

Natočením klapky v sání radiálního ventilátoru se mění jeho charakteristika. Změnou vstupního úhlu lopatek kola ventilátoru se změní tlaková charakteristika. Natočením klapky se zvětšuje i odpor sítě a mění se tak i charakteristika sítě. Změnou těchto dvou charakteristik se posouvá i pracovní bod. Tímto způsobem regulace se mění účinnost ventilátoru. Je provozně výhodná, tento typ ventilátorů je však dražší, zejména pak u ventilátorů regulovatelných během chodu ventilátoru.

Regulace změnou otáček je nejehospodárnější variantou regulace. Celá charakteristika ventilátoru se vlivem změny otáček mění. Mění se tak i pracovní bod a účinnost ventilátoru. Otáčky ventilátoru se mění za provozu ventilátoru mnoha způsoby. Dvoustupňová regulace je realizována dvouotáčkovým asynchronním motorem nebo dvěma přepínatelnými motory. Plynule lze regulovat otáčky motoru odporovou regulací (ztráty elektrického příkonu), komutátorovým motorem, či pohonem motoru na stejnosměrný proud. Asynchronní motory je možné plynule regulovat frekvenčními měniči. [1]

9.3. Volba ventilátoru pro komoru stálého statického tlaku

Základním předpokladem pro volbu ventilátoru je správný výpočet tlakových ztrát v síti a určení provozního bodu. Pro systém s komorou stálého statického tlaku budeme hledat středotlaký radiální ventilátor s dozadu zakřivenými lopatkami oběžného kola. Budu hledat takový ventilátor, který bude vyhovovat 100% současnosti chodů strojů a zároveň 50% současnosti chodu strojů. Objemový průtok pro 100% současnost chodu strojů je následovný:

$$V_{100} = 3377 \text{ m}^3/\text{h} = 0,938 \text{ m}^3/\text{s}$$

Objemový průtok pro 50% nesoučasnost chodu strojů je rovný:

$$V_{50} = 1440 \text{ m}^3/\text{h} = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Celková tlaková ztráta se skládá z maximální tlakové ztráty potrubní sítě, třecí tlakové ztráty výstupního potrubí z komory stálého statického podtlaku (úsek číslo 11), místní tlakové ztráty výstupního potrubí a tlakové ztráty filtru. Tlaková ztráta filtru je závislá na konkrétním typu a velikosti filtru. Průměrná provozní tlaková ztráta filtru se pohybuje kolem 1500 Pa. Tuto hodnotu budu uvažovat pro 100% současnost chodu strojů. Pro 50% současnost chodu strojů pak vlivem nižší rychlosti proudění vzduchu uvnitř filtru budu uvažovat tlakovou ztrátu filtru 550 Pa.

Celková tlaková ztráta pro 100% současnost chodu strojů vypadá následovně:

$$\Delta p_{c100} = 962,1 + 249,3 + 100,2 + 1500 = 2812 \text{ Pa}$$

Celková tlaková ztráta pro 50% současnost chodu strojů se bude rovnat:

$$\Delta p_{c50} = 962,1 + 50,4 + 18,2 + 550 = 1581 \text{ Pa}$$

Hledáme tedy ventilátor, který bude mít pracovní bod v rozmezí od 1581 Pa a 1440 m³/h do 2812 Pa a 3377 m³/h.

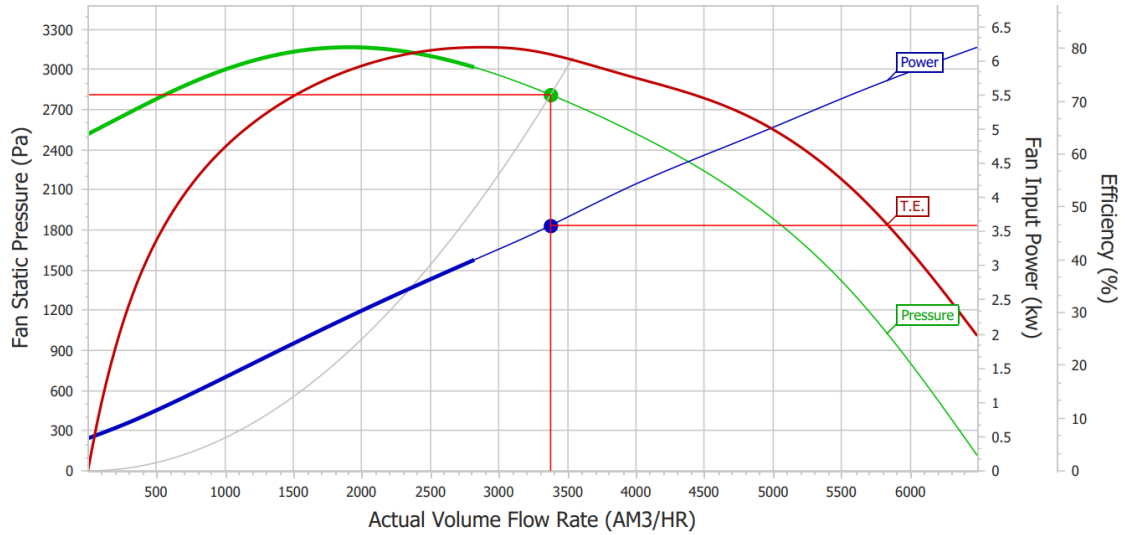
Na stránkách výrobce jsem našel ventilátor, který by vyhovoval oběma průtokům a tlakovým ztrátám. Výpočet byl proveden pro hustotu vzduchu 1,201 kg/m³ a teplotu vzduchu 21 °C. Na následujících obrázcích číslo 19 a 20 jsou zobrazeny charakteristiky ventilátoru pro oba mezní stavy současnosti chodu strojů. Na ose x je v grafu zobrazen objemový průtok v m³/h. Vlevo na ose y se nachází statický tlak v Pa. Vpravo na ose y je zobrazen výkon ventilátoru v kW. Vpravo od výkonu se nachází celková účinnost ventilátoru. Zeleně je v grafech znázorněna tlaková charakteristika. Tlakovou charakteristiku protíná v pracovním bodě světle šedá charakteristika sítě. Modrá křivka přísluší charakteristice výkonu. Tmavě červené barvy je křivka celkové účinnosti.

Pro 100% současnost chodu strojů bude tento konkrétní ventilátor pracovat o výkonu 3,59 kW a při 1654 otáčkách za minutu. Pro 50% současnost chodu strojů bude výkon ventilátoru 0,89 kW při 1169 otáčkách za minutu. Účinnost pro obě varianty se pohybuje kolem 78 %, což je relativně vysoká účinnost. [1] [9] [10]

Product: Pressure Blower
 Material: Aluminum
 Fan Size: 2610
 Arrangement: 1
 Wheel Type: Radial (shrouded) - ALM
 Options: None

Actual Volume Flow Rate: 3377 AM3/HR
 Fan Static Pressure: 2812 Pa
 Speed: 1654 rpm
 Power: 3.59 kw

Inlet Temperature: 21.1 °C
 Altitude: 0 m
 Density: 1.201 kg/m3
 Outlet Velocity: 18.53 m/sec

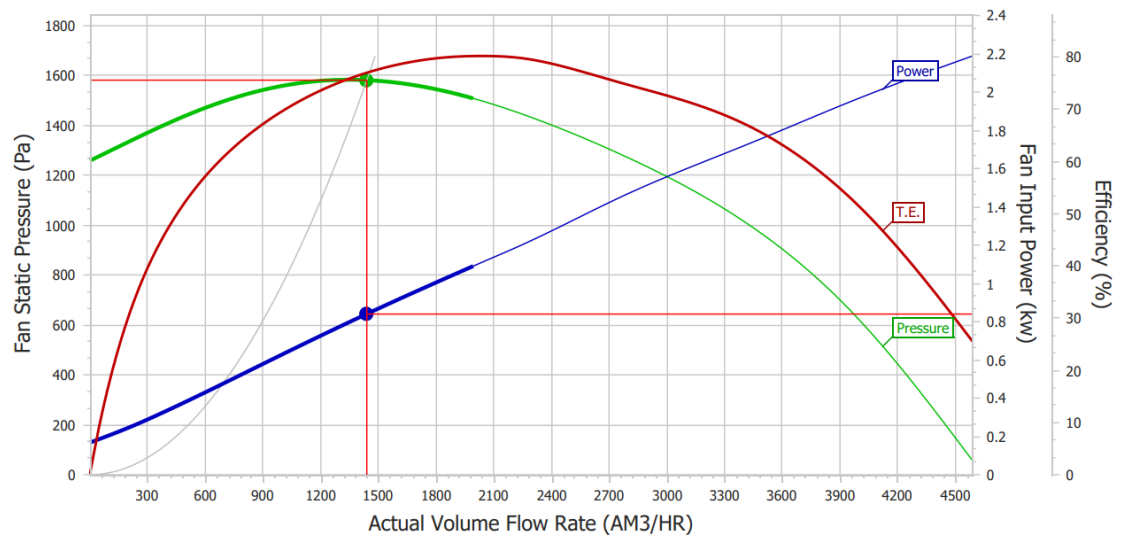


Obrázek 19 - Charakteristika ventilátoru pro 100% současnost chodu strojů s komorou stálého statického tlaku [10]

Product: Pressure Blower
 Material: Aluminum
 Fan Size: 2610
 Arrangement: 1
 Wheel Type: Radial (shrouded) - ALM
 Options: None

Actual Volume Flow Rate: 1440 AM3/HR
 Fan Static Pressure: 1581 Pa
 Speed: 1169 rpm
 Power: 0.84 kw

Inlet Temperature: 21.1 °C
 Altitude: 0 m
 Density: 1.201 kg/m3
 Outlet Velocity: 7.9 m/sec

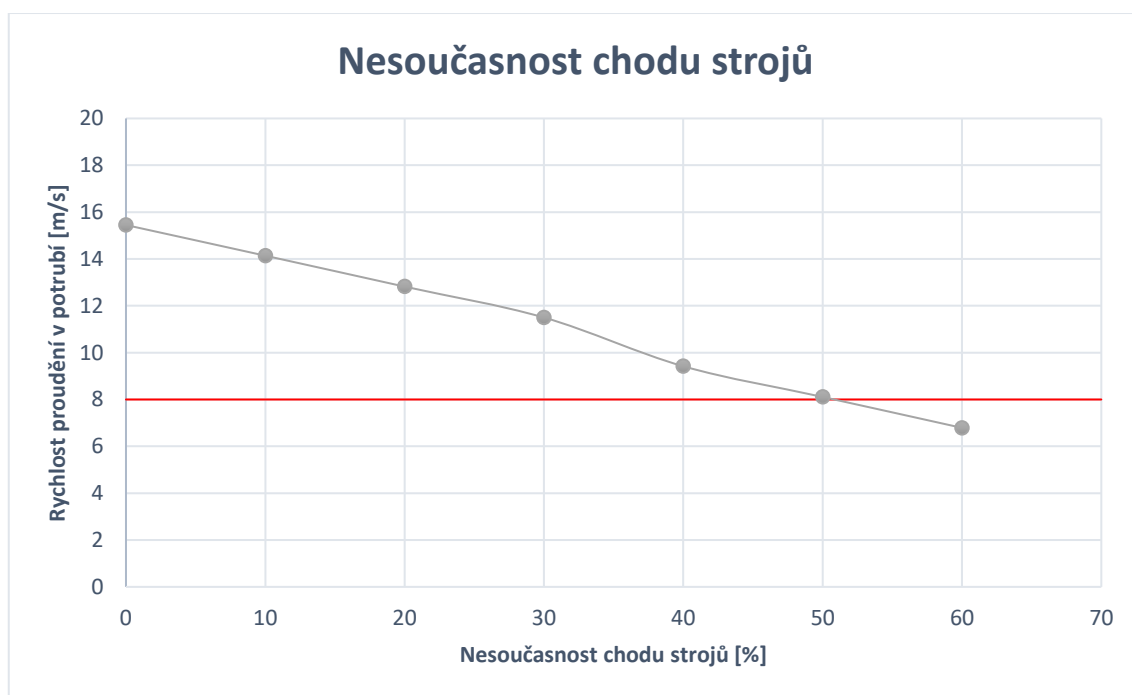


Obrázek 20 - Charakteristika ventilátoru pro 50% současnost chodu strojů s komorou stálého statického tlaku [10]

10. Závěr

V první části mé diplomové práce jsem navrhnul centrální odsávání pro 10 obráběcích strojů. Rychlosti proudění odsávaného vzduchu v potrubí centrálního odsávání jsou v rozmezí 14,4 m/s a 18,5 m/s, čemuž odpovídá odchylka $\pm 15 \%$ od optimální rychlosti 16 m/s.

V grafu na obrázku číslo 21 je zobrazena závislost poklesu rychlosti na nesoučasnosti chodu strojů v úseku 19-20, který je společný pro všechny větve. Je z něj patrné, že větší nesoučasnost chodu strojů než 50 % není možná, jelikož neexistuje taková kombinace vypnutých strojů, při které by byla dodržena podmínka minimální rychlosti proudění v potrubí 8 m/s.



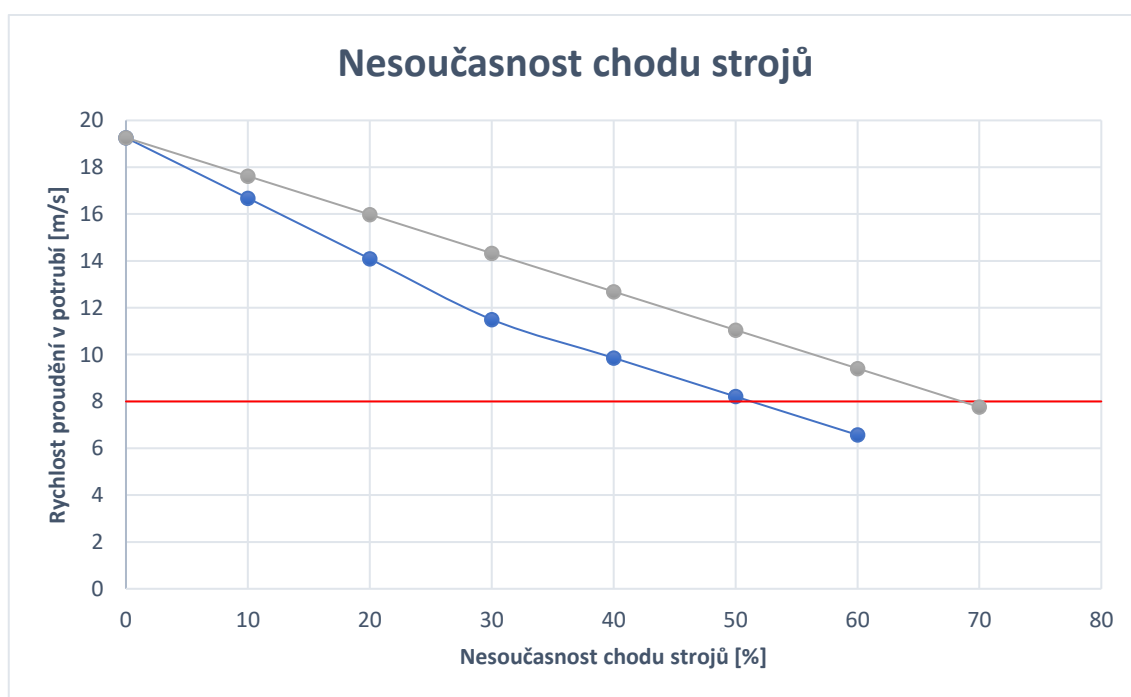
Obrázek 21 - Rychlost proudění vzduchu v úseku 19-20 při různé nesoučasnosti chodu strojů

Potrubní síť je v ideálním stavu za chodu a odsávání od všech deseti obráběcích strojů. Vlastnosti celého systému se zhoršují s každým jednotlivým vypnutím jednoho z obráběcích strojů. Při jakémkoliv zásahu (vypnutí či zapnutí stroje) do systému je navíc nutné všechny ostatní sběrná místa opětovně regulovat, protože se mění tlaková ztráta celého systému centrálního odsávání.

Výhodami centrálního odsávání jsou úspora místa a nižší pořizovací náklady vzhledem k menšímu počtu potrubních kusů oproti komoře stálého statického podtlaku.

V druhé části diplomové práce jsem navrhnul odsávání se systémem komory stálého statického podtlaku. Rychlosti proudění odsávaného vzduchu vstupující do komory stálého statického podtlaku jsou 16,4 m/s a 17,63 m/s, což je 10% odchylka od optimální rychlosti. Rychlost proudění vzduchu v potrubí vystupující z komory stálého statického podtlaku je při 100% současnosti chodu strojů rovna 19,26 m/s. Hodnota této rychlosti je nepatrně vyšší než optimální rychlost, ale je zvolena tak, aby byla umožněna libovolná kombinace nesoučasnosti chodu obráběcích strojů až do výše 50 %.

Nesoučasnost chodu obráběcích strojů je v případě systému s komorou stálého statického podtlaku, na rozdíl od centrálního odsávání, více komplexní. Jediné omezení, které bude nesoučasnost chodu strojů mít, je rychlost proudění vzduchu v potrubí, které vystupuje z komory stálého statického podtlaku. Na následujícím grafu jsou zobrazeny rychlosti proudění vzduchu v potrubí vystupující z komory, v závislosti na nesoučasnosti chodu strojů. Červená přímka zobrazuje minimální dovolenou rychlost proudění vzduchu uvnitř potrubí 8 m/s. Šedá křivka reprezentuje variantu, při které se budou vypínat pouze obráběcí stroje s menším odsávaným množstvím (frézky a malé soustruhy). Z grafu je patrné, že za takového předpokladu je možné vypnout odsávání až od 6 obráběcích strojů, tudíž až 60% nesoučasnost. Modrá křivka zobrazuje horší možnou variantu, kdy budeme nejdříve vypínat odsávání od velkých soustruhů s větším průtokem vzduchu. Je zřejmé, že při této horší variantě je možné dosáhnout nejvýše 50% nesoučasnosti chodu strojů.



Obrázek 22 - Graf závislosti rychlosti proudění ve výstupním potrubí na nesoučasnosti chodu strojů

Další výhodou systému s komorou stálého statického podtlaku je jednotné nastavení regulačních klapek pro jednotlivé obráběcí stroje. Klapky budou mít pouze dvě polohy. První poloha bude vycházet z nastavení pro 100% současnost chodu strojů, druhá bude při vypnutí obráběcího stroje plně uzavřená. To znamená, že při jakémkoliv zásahu do sítě bude regulace realizována regulací otáček ventilátoru.

Regulace pomocí těsných regulačních klapek je pro naše potřeby dostatečná. Pokud by bylo nutné pro regulaci větší natočení těsné regulační klapky než 45° , bylo by vhodné použít dvě regulační klapky v sérii kvůli strmosti závislosti součinitele místní tlakové ztráty na úhlu natočení regulační klapky.

Má diplomová práce potvrzuje předpoklad, že systém s komorou stálého statického tlaku, na rozdíl od centrálního odsávání, umožňuje libovolnou kombinaci odstávky obráběcích strojů bez nutnosti opětovné regulace celého systému.

Použitá literatura

1. NOVÝ, Richard. *Technika prostředí*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02108-4.
2. BARTÁK, Martin. *Úvod do přenosových jevů pro inteligentní budovy*. Praha, 2010
3. WIKIPEDIA. [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Moody_chart#/media/File:Moody_EN.svg
4. JACOB. [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://jacob-group.cz/wp-content/uploads/2022/02/JACOB_Online-Catalogue-2022_CZ.pdf
5. SCIENCE DIRECT. *Loss Coefficient*. [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/loss-coefficient>
6. PÍCHA, Václav. *Regulace odsávací sítě od obráběcích strojů*. Praha, 2022
7. DRKAL, František, Jiří HEMERKA a Richard NOVÝ. Odsávání a čištění spalin z tavících agregátů Skláren Český křišťál. Chlum u Třeboně. *Silika 4/94*. str. 243-245
8. DRKAL, František, Jiří HEMERKA a Richard NOVÝ. Odsávání a odlučování systému sklářských pecí – 1. část. *Vytápění větrání instalace*. 1998 č. 2, roč. 7. str. 74-76. ISSN 1210-1389
9. NEW YORK BLOWER. *451 – Pressure – Blowers*. [online]. [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://www.nyb.com/pdf/products/centrifugal-fans/pressure-blowers/pressure-blower/451-Pressure-Blowers.pdf>
10. NEW YORK BLOWER. *Fan-to-size*. [online]. [cit 2022-06-22]. Dostupné z: <https://apps.nyb.com/fantosize/FanCharacteristics.aspx>

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Zadané parametry jednotlivých sběrných odsávacích míst	9
Tabulka 2 - Součinitel místní tlakové ztráty pro 90° koleno	15
Tabulka 3 - Koeficient místní tlakové ztráty pro kolena $\alpha \neq 90^\circ$	16
Tabulka 4 - Hodnoty koeficientu B pro odbočení	16
Tabulka 5 – Hodnoty koeficientu P pro přímý průchod	17
Tabulka 6 - Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky při 100% současnosti chodu strojů	22
Tabulka 7 - Vypočtené hodnoty pro jednotlivé rozbočky při 100% současnosti chodu strojů	23
Tabulka 8 - Celkové tlakové ztráty pro 100% současnost chodu strojů	24
Tabulka 9 - Vypočtené hodnoty součinitelů místních tlakových ztrát regulačních klapek pro 100% současnost	25
Tabulka 10 - Nastavení regulačních klapek pro 100% současnost chodu strojů	26
Tabulka 11 - Možnosti chodu strojů při 10% nesoučasnosti	27
Tabulka 12 - Možnosti chodu strojů při 20% nesoučasnosti	27
Tabulka 13 - Možnosti chodu strojů při 30% nesoučasnosti	27
Tabulka 14 - Možnosti chodu strojů při 40% nesoučasnosti	28
Tabulka 15 - Možnosti chodu strojů při 50% nesoučasnosti	28
Tabulka 16 - Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky při 30% nesoučasnosti chodu strojů	31
Tabulka 17 - Vypočtené hodnoty pro jednotlivé rozbočky při 30% nesoučasnosti chodu strojů	32
Tabulka 18 - Celkové tlakové ztráty pro 30% nesoučasnost chodu strojů	33
Tabulka 19 - Vypočtené hodnoty součinitelů místních tlakových ztrát regulačních klapek pro 30% nesoučasnost	34
Tabulka 20 - Nastavení regulačních klapek pro 30% nesoučasnost chodu strojů	34
Tabulka 21 - Zadané hodnoty pro systém s komorou stálého statického podtlaku	35
Tabulka 22 - Napojení větví od obráběcích strojů do komory stálého statického podtlaku	38
Tabulka 23 – Hodnoty jednotlivých větví vstupujících do komory	38
Tabulka 24 - Rychlost proudění vzduchu uvnitř komory stálého statického podtlaku z obou stran	39

Tabulka 25 - Vypočtené hodnoty jednotlivých úseků pro 100% současnost chodu strojů s komorou stálého statického podtlaku	44
Tabulka 26 - Místní tlakové ztráty odsávání s komorou stálého statického tlaku	45
Tabulka 27 - Celkové tlakové ztráty pro 100% současnost chodu strojů s komorou stálého statického podtlaku	46
Tabulka 28 - Vypočtené hodnoty součinitelů místních tlakových ztrát regulačních klapek pro 100% současnost	46
Tabulka 29 - Nastavení regulačních klapek pro 100% současnost chodu strojů.....	47

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Půdorys výrobní haly s umístěním odsávacích míst a obráběcích strojů....	10
Obrázek 2 - 3D model výrobní haly s centrálním odsáváním	10
Obrázek 3 – Izometrie centrálního odsávání pro 100% současnost chodu strojů	11
Obrázek 4 - Půdorys zvolené potrubní sítě centrálního odsávání.....	12
Obrázek 5 – Moodyho diagram [3].....	14
Obrázek 6 - Schéma pro 90° koleno [4]	15
Obrázek 7 - Schéma rozbočky	16
Obrázek 8 – Graf závislost součinitele místní tlakové ztráty na úhlu natočení regulační klapky [6].....	25
Obrázek 9 – Rychlost proudění vzduchu v úseku 19-20 při různé nesoučasnosti chodu strojů	29
Obrázek 10 – Izometrie centrálního odsávání pro 30% nesoučasnost chodu strojů.....	30
Obrázek 11 - Půdorys výrobní haly s umístěním odsávacích míst a obráběcích strojů pro systém s komorou stálého statického podtlaku.....	36
Obrázek 12 – Tlakové poměry potrubní sítě [8].....	36
Obrázek 13 - Rozměry komory stálého statického podtlaku.....	39
Obrázek 14 - 3D model výrobní haly s komorou stálého statického podtlaku.....	40
Obrázek 15 - Izometrie pro odsávání s komorou stálého statického podtlaku pro 100% současnost chodu strojů	41
Obrázek 16 - Půdorys zvolené potrubní sítě pro odsávání s komorou stálého statického tlaku	41

Obrázek 17 – Graf závislosti rychlosti proudění ve výstupním potrubí na nesoučasnosti chodu strojů.....	48
Obrázek 18 - Tlaková a výkonová charakteristika ventilátoru s průběhem účinnosti [1]	49
Obrázek 19 - Charakteristika ventilátoru pro 100% současnost chodu strojů s komorou stálého statického tlaku [10]	52
Obrázek 20 - Charakteristika ventilátoru pro 50% současnost chodu strojů s komorou stálého statického tlaku [10]	52
Obrázek 21 - Rychlost proudění vzduchu v úseku 19-20 při různé nesoučasnosti chodu strojů	53
Obrázek 22 - Graf závislosti rychlosti proudění ve výstupním potrubí na nesoučasnosti chodu strojů.....	54

Seznam příloh

Příloha 1: PDF – výkres 1 – půdorys výrobní haly

Příloha 2: PDF – výkres 2 – izometrie – centrální odsávání – 100 %

Příloha 3: PDF – výkres 3 – půdorys potrubní sítě centrálního odsávání

Příloha 4: PDF – výkres 4 – izometrie – centrální odsávání – 70 %

Příloha 5: PDF – výkres 5 – izometrie – komora stálého statického tlaku

Příloha 6: PDF – výkres 6 – půdorys potrubní sítě s komorou stálého statického tlaku

Příloha 7: Excel – centrální odsávání a nesoučasnost chodu obráběcích strojů