

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Regulace odsávací vzduchotechnické sítě při nesoučasném
chodu strojů**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čihák** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **396997**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Inteligentní budovy**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Regulace odsávací vzduchotechnické sítě při nesoučasném chodu strojů

Název diplomové práce anglicky:

Control of Exhaust Air Network with Nonsimultaneous Operation of Machines

Pokyny pro vypracování:

Na úrovni projektové studie porovnejte možnosti regulace odsávací vzduchové sítě od obráběcích při nesoučasnosti chodu strojů až 50 % s koncepcí použití směšovací komory se stálým statickým tlakem a při předpokládané nesoučasnosti chodu strojů až 50 %.

Uveďte možnosti využití tepla v odsávaném vzduchu k řešení větrání haly při dodržení pravidel o maximální koncentraci znečišťující látky podle Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

Seznam doporučené literatury:

Drkal, F., Hemerka, J., Nový, R.: Odsávání a čištění spalin z tavicích agregátů Skláren Český křišťál, Chlum u Třeboně. Silica 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: **26.04.2018** Termín odevzdání diplomové práce: **22.06.2018**

Platnost zadání diplomové práce: _____


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

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

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
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.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotace

Diplomová práce je na úrovni projektové studie porovnání možnosti regulace odsávání vzduchotechnické sítě od obráběcích strojů na litinu při různé nesoučasnosti chodu strojů. Práce porovnává možnosti regulace odsávání pro konstrukce, které používají pro odvod odsávaného vzduchu od obráběcích strojů centrální systém, nebo systém komory se stálým statickým podtlakem. Dále je zaměřena na možnosti využití odsávaného vzduchu k větrání.

Anotation

The diploma thesis is at the level of the project study comparison of the possibility of regulation of the ventilation of the ventilation network from machine tools to cast iron at various discontinuities of machine operation. The thesis compares the possibilities of exhaust regulation for structures used for the extraction of exhausted air from machine tools by the central system or chamber system with constant static vacuum. It also focuses on the possibility of using exhaust air for ventilation.

Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci s názvem „Regulace odsávací vzduchotechnické sítě při nesoučasném chodu strojů“ jsem vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Hemerky s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

Podpis

V Praze dne: 22.6.2018

Bc. Tomáš Čihák

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Jiřímu Hemerkovi za cenné rady, vstřícnost a čas, který věnoval vedení mé diplomové práce.

Dále děkuji celé rodině a Chrise Tavandžisové za podporu při studiu.

Obsah

Přehled základního značení.....	8
Úvod.....	9
1. Zadané hodnoty.....	10
2. Zvolený rozvod potrubní sítě.....	11
3. Teorie k výpočtu.....	13
3.1 Vzduchovody.....	13
3.2 Tlakové ztráty v potrubí.....	13
3.2.1 Místní ztráty.....	13
3.2.2 Třecí ztráty.....	13
3.3 Změna směru v potrubní síti.....	15
3.3.1 Oblouk.....	15
3.3.2 Rozbočka sacího typu.....	15
3.3.3 T-rozbočka s obloukovitým odbočením (symetrická) pro kruhový průřez.....	16
3.3.4 Pružné hadice od strojů.....	16
4. Centrální odsávání.....	17
4.1 Vzorový výpočet tlakové ztráty pro větev 1.....	17
4.2 Výpočet tlakových ztrát potrubím při 100% současnosti chodu strojů.....	19
4.2.1 Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky.....	19
4.2.2 Výpočet tlakových ztrát vlivem spojovacích rozboček a změny směru.....	21
4.2.3 Výpočet celkové tlakové ztráty větví a velikost doškrcení.....	22
4.2.4 Zhodnocení 100% současnosti chodu strojů.....	23
4.3 Výpočet tlakových ztrát potrubím při 89% současnosti chodu strojů.....	23
4.3.1 Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky.....	23
4.3.2 Výpočet tlakových ztrát vlivem přípojek a změny směru.....	25
4.3.3 Výpočet celkové tlakové ztráty větví a velikost doškrcení.....	26
4.3.4 Zhodnocení 89% současnosti chodu strojů.....	27
4.4 Výpočet tlakových ztrát potrubím při 78% současnosti chodu strojů.....	27
4.4.1 Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky.....	27
4.4.2 Výpočet tlakových ztrát vlivem přípojek a oblouků.....	29
4.4.3 Výpočet celkové tlakové ztráty větví a velikost doškrcení.....	30
4.4.4 Zhodnocení 78% současnosti chodu strojů.....	31
4.5 Výpočet tlakových ztrát potrubím při 67% současnosti chodu strojů.....	31
4.5.1 Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky.....	31
4.5.2 Výpočet tlakových ztrát vlivem přípojek a změny směru.....	33

4.5.3	Výpočet celkové tlakové ztráty větví a velikost doškrcení	34
4.5.4	Zhodnocení 67% současnosti chodu strojů	35
4.6	Výpočet tlakových ztrát potrubím při 56% současnosti chodu strojů	35
4.6.1	Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky	35
4.6.2	Výpočet tlakových ztrát vlivem přípojek a změny směru	37
4.6.3	Výpočet celkové tlakové ztráty větví a velikost doškrcení	38
4.6.4	Zhodnocení 55% současnosti chodu strojů	39
4.7	Výpočet tlakových ztrát potrubím při 44% současnosti chodu strojů	39
4.7.1	Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky	39
4.7.2	Výpočet tlakových ztrát vlivem přípojek a změny směru	41
4.7.3	Výpočet celkové tlakové ztráty větví a velikost doškrcení	42
4.7.4	Zhodnocení 44% současnosti chodu strojů	43
5.	Závěr první části	43
6.	Systém s komorou stálého statického podtlaku	47
6.1	Zadané parametry	47
6.2	Analýza související úpravy systému a volba alternativy	47
6.2.1	Dispoziční změny	47
6.3	Funkce systému se směšovací komorou	48
6.4	Teorie k výpočtu	49
6.5	Návrh směšovací komory	49
6.5.1	Hodnoty vstupující do směšovací komory	49
6.5.2	Stanovení rozměrů směšovací komory	49
6.5.3	Rychlost ve směšovací komoře	50
6.5.4	Rozbití proudu vzduchu	51
6.5.5	Velikost rozrážecího kotouče	51
6.5.6	Celkové rozměry směšovací komory	52
6.6	Umístění směšovací komory	52
6.6.1	Délka potrubí	53
6.7	Vlastnosti potrubního systému	53
6.7.1	Vzorový výpočet pro větev 1:	54
6.7.2	Výpočet tlakové ztráty změnou směru	55
6.7.3	Tlakové ztráty třením v potrubí	55
6.7.4	Celkové tlakové ztráty	57
6.8	Systém doškrcení	57
6.8.1	Doškrcení pomocí klapek	57
6.8.2	Doškrcení pomocí konické redukční vložky	57

7. Závěr druhé části	58
8. Větrání prostoru haly	58
8.1 Stanovení objemu vzduchu	58
8.1.1 Objem vzduchu pro odvod tepelné zátěže	58
8.1.2 Objem vzduchu z hygienického hlediska	61
8.1.3 Objem vzduchu pomocí expozičního limitu prachů	61
8.1.4 Zhodnocení	61
8.2 Systémy větrání	61
8.3 Navrhovaný systém větrání	62
9. Závěr třetí části	63
10. Závěr	64
Použitá literatura	65
Seznam tabulek	65
Seznam obrázků	66

Přehled základního značení

λ	[-]	Součinitel třecí tlakové ztráty
ρ	[kg·m ³]	Hustota, hmotnostní koncentrace
ξ	[-]	Součinitel lokální tlakové ztráty
w	[m/s]	Rychlost
D	[m]	Průměr
L	[m]	Délka
S	[m ²]	Plocha
P	[Pa]	Tlak
V	[m ³ /s]	Objemový průtok
μ	[Pa·s]	Dynamická viskozita
ν	[m ² /s]	Kinematická viskozita
α	[°]	Úhel
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
s	[-]	Stínící součinitel
C_0	[-]	Korekční součinitel
I_0	[W/m ²]	Intenzita celkové sluneční radiace
I_{odif}	[W/m ²]	Intenzita difúzní sluneční radiace
t	[°C]; [K]	Teplota
k_0	[W/m ² K]	Součinitel prostupu tepla okny
$t_{r\psi}$	[°C]	Rovnocenná sluneční teplota
t_m	[°C]	Průměrná rovnocenná sluneční teplota
h	[m]	Výška
δ	[m]	Tloušťka stěny
Q	[W]	Tepelné zisky
		Úseky, do kterých se může zasahovat
		Slouží k lepší přehlednosti (žádný specifický účel nemá)

Úvod

V hale, kde se obrábí litina je zapotřebí zajistit dostatečné odsávání prachových částic vzniklých strojovým obráběním. Pro odvod částic se běžně používá centrální odsávání (tj. odsávaný vzduch od strojů je spojen do jednoho proudu vzduchu). Tato koncepce musí být navržena pro maximální odsávaný objemový průtok, tj. 100% současnost chodu strojů. Centrální systém vykazuje nedostatky v případě, kdy dojde k poklesu odsávaného objemu průtoku vzduchu, tj. současnost chodu strojů klesne pod 100 % (následkem poklesu odsávaného objemu může docházet k usazování částic). Další problém vzniká při jakémkoliv zásahu do sítě (pro jakýkoliv zásah se musí celá potrubní síť přeregulovat). Alternativou je řešení odsávání pomocí směšovací komory se stálým statickým podtlakem, která umožňuje změnu velikosti odsávaného průtoku při nesoučasnosti chodu strojů, aniž by narušila odsávané množství od ostatních strojů. Pro halu je zapotřebí navrhnout i systém větrání, který by využíval možnosti haly.

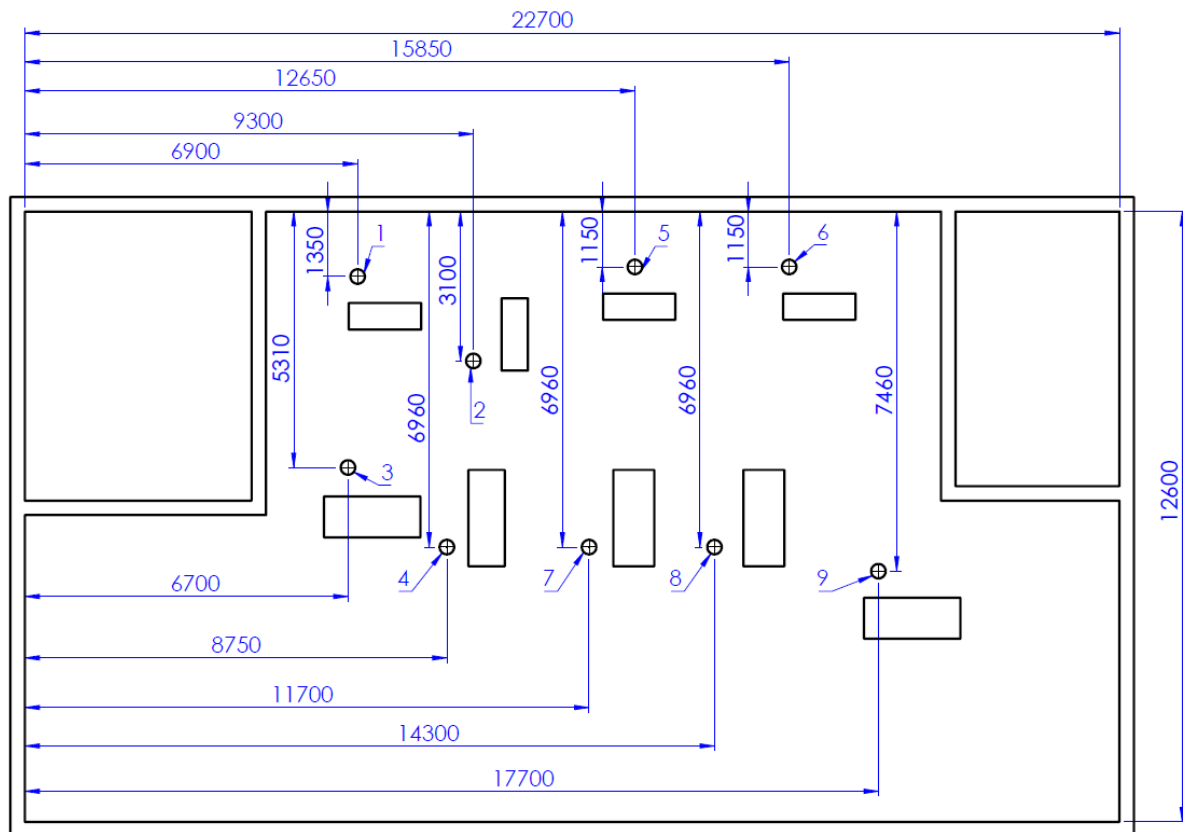
Cílem diplomové práce je posoudit problematiku regulace odsávání pro konstrukci s centrálním systémem odsávání a problémy, které se v soustavě projeví za předpokladu, že současnost chodu strojů bude menší než 100 %. Poté zjistit parametry pro navrhovanou alternativu a porovnat náročnost regulace a funkčnost s centrálním systémem odsávání. Dále zjistit možnosti větrání prostoru haly.

1. Zadané hodnoty

Potrubní síť musí splňovat tyto zadané parametry:

- Minimální rychlost průtoku vzduchu potrubím je 8 m/s
- Maximální rychlost průtoku vzduchu potrubím je 25 m/s
- Odsávané množství vzduchu od strojů je stanoveno v tab. 1
- Optimální rychlost vzduchu v potrubí je 16 m/s
- Rozbočky:
 - $A = 15^\circ$
 - $R = 1,5 D3$
- Pro stanovení vlastností přípojek vycházet z podnikové normy PA 12 0359
- Poloměry oblouků $R/D = 2$ až 3
- Regule v potrubí bude zajištěna kruhovou klapkou
- Délka připojovací hadice ke stroji je 2m

Na obr. 1 je definováno umístění odsávání od strojů a v tab. 1 jsou zapsány zadané objemové průtoky od strojů, součinitele tlakové ztráty pro koncovky sacího zákrytu u odsávání a průměry potrubí od jednotlivých strojů.



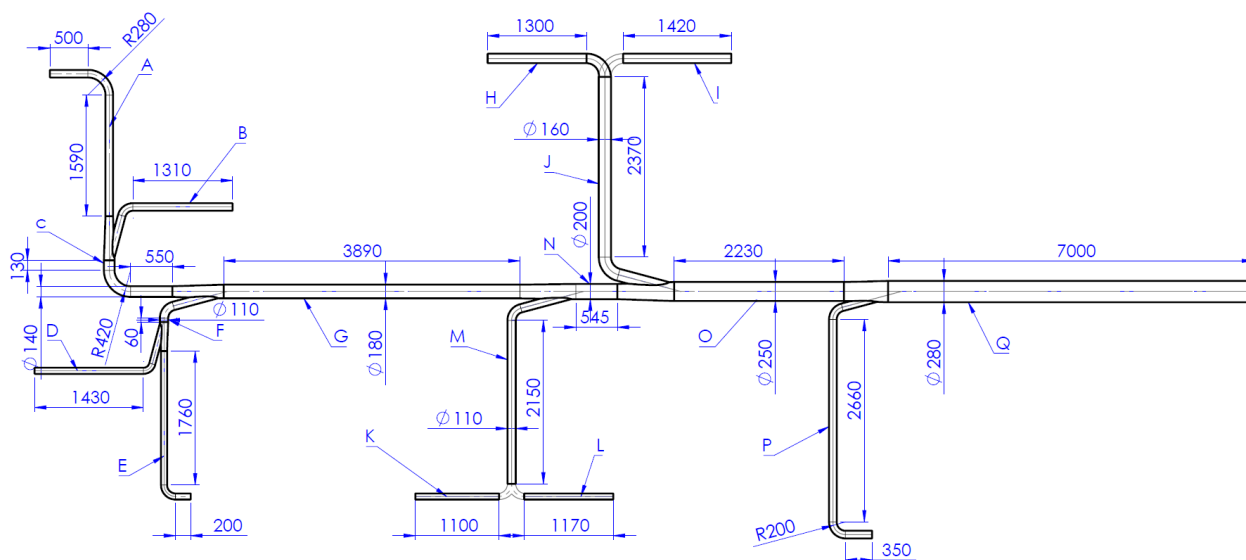
Obrázek 1 – Zadané parametry haly

Tabulka 1 – Zadané parametry potrubní sítě

Stroj [–]	D [m]	v [m ³ /s]	Součinitel tlakové ztráty sacího zákrytu [–]
1	0.1	0.126	0.4
2	0.1	0.126	0.4
3	0.08	0.08	0.45
4	0.08	0.08	0.45
5	0.125	0.196	0.38
6	0.125	0.196	0.38
7	0.08	0.08	0.45
8	0.08	0.08	0.45
9	0.1	0.126	0.6

2. Zvolený rozvod potrubní sítě

Potrubní síť je rozdělena na jednotlivé úseky označené A až Q. Sled potrubních úseků pak tvoří větve. Samotné uspořádání větví je zobrazeno na obr. 2 a celková délka jednotlivých úseků je stanovena v tab. 2. Vlastnosti pro dvojcestné rozbočky, které jsou použity pro spojování proudů a oblouků, byly stanoveny z podnikové normy PA 10 0359[6].



Obrázek 2 – Rozměrové parametry pevné potrubní sítě

Celkovou délku úseku pevné potrubní sítě lze odečíst z tab. 2, která vychází z obr. 2.

Tabulka 2 – Celkové délky úseků potrubní sítě svedené do hlavní větve

Úsek		Délka úseku [mm]		Úsek		Délka úseku [mm]			
A		500	2530	H		1300	1300		
		1590		I		1420	1420		
	r	440		J		2370	2998		
B		1310	r	628	K	1100		1100	
	r	366	1676	L		1170	1170		
C		550	1339	M		2150	2582		
		130		r	432	N		545	545
	r	659		D		1430	1744	O	2230
r	314	E		200	2337	P			350
	1760	r	377				2660		
r	377	F		60			492	r	314
r	432	G		3890	3890	r		785	
						Q		7000	7000

Kde r je rozvinutá délka oblouku (pro dvojcestnou rozbočku je počítán se 75° obloukem).

Celkovou délku větví stanovíme sečtením jednotlivých úseků. V tab. 3 lze vidět délky jednotlivých větví vedených od obráběcích strojů, které jsou složeny z úseků A-Q a délku nejdelší větve.

Tabulka 3 – Délka potrubních větví

Stroj/Větev	Potrubní úseky						Celková délka větve [m]	Nejdelší větev [m]
1	A	C	G	N	O	Q	17.5	17.5
2	B	C	G	N	O	Q	16.7	
3	D	F	G	N	O	Q	15.9	
4	E	F	G	N	O	Q	13.5	
5	K	M	N	O	Q	13.5		
6	L	M	N	O	Q	13.5		
7	H	J	O	Q		13.5		
8	I	J	O	Q		13.6		
9	P	Q				10.3		

3. Teorie k výpočtu

3.1 Vzduchovody

Vzduchovodní síť je tvořena z jednotlivých větví, tyto větve jsou tvořeny ze vzduchovodů. Vzduchovodní síť se mohou značně členit. Pokud dojde k odbočení od hlavní větve, mluvíme o odbočkách prvního řádu a následně odbočky prvního řádu dělíme do odboček vyšších řádů. Jednotlivé větve potrubí se pak dělí na úseky (tím je myšlen úsek, kde je rychlost a průtok konstantní). Hlavní větev uvažujeme tu, která má největší tlakovou ztrátu. Úkolem každé sítě je zajistit požadovaný průtok vzduchu k potřebnému místu. Je zapotřebí brát v úvahu náklady související s prvotní investicí a provozní náklady [1, str.116].

3.2 Tlakové ztráty v potrubí

Během proudění v potrubí se část mechanické energie přemění v teplo v důsledku vazkosti vzduchu. Tato zmařená energie se nemůže využívat pro dopravu vzduchu v síti. Za předpokladu, že budeme uvažovat nestlačitelný vzduch, se úbytek energie projeví úbytkem tlaku v potrubí. Tyto ztráty pak označujeme za tlakové ztráty potrubní sítě.

Dají se rozdělit podle charakteru vzniku na tlakové ztráty třecí a místní tlakové ztráty. Třecí ztráty vznikají v celé délce potrubní sítě a akumulují se. Zatímco místní ztráty vznikají na základě rozměrové změny potrubí (odbočky, oblouky, rozšíření...) jejich účinek se dá považovat za lokální (na relativně malé vzdálenosti se projeví účinky narušení proudu a tento účinek narušení proudu také dozní). Pro určení velikosti místní ztráty a třecí ztráty je zapotřebí znát dynamický tlak, který je dán rovnicí (1) [1, str.111]

Rovnice dynamického tlaku :

$$P = \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \quad (1)$$

kde: P [Pa] je tlak, ρ [kg/m³] je hustota, w [m/s] je rychlost

3.2.1 Místní ztráty

Aby bylo možné stanovit velikost místní ztráty, je zapotřebí znát ξ [-] součinitel místní tlakové ztráty. Součinitele místní tlakové ztráty je ve většině případů možno zjistit pouze experimentálně. Je závislý na tvaru prvku a velikosti Reynoldsova čísla Re [-].

Celková místní tlaková ztráta P_z [Pa] je stanovena vynásobením dynamického tlaku součinitelem místní tlakové ztráty (do těchto vztahů se dosazují střední rychlosti).

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

3.2.2 Třecí ztráty

Vyjádření tlakové ztráty místní pro kruhové potrubí se stálým průřezem je určeno pomocí Darcyho-Weissbachova vztahu:

$$\Delta P_z = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \quad (3)$$

Kde l [m] vyjadřuje délku potrubí a λ [-] součinitel třecí tlakové ztráty.

Součinitel třecí tlakové ztráty je závislý na velikosti Re [-] a také na relativní drsnosti, která je vyjádřena k/D . Za předpokladu, že se bude jednat o laminární proudění (tj. $Re < 2300$) můžeme uvažovat, že nerovnosti v potrubí se zalijí proudem a velikost drsnosti nebude mít tedy vliv na ztráty. Pro případ, kdy je hodnota $Re < 2300$ platí rovnice:

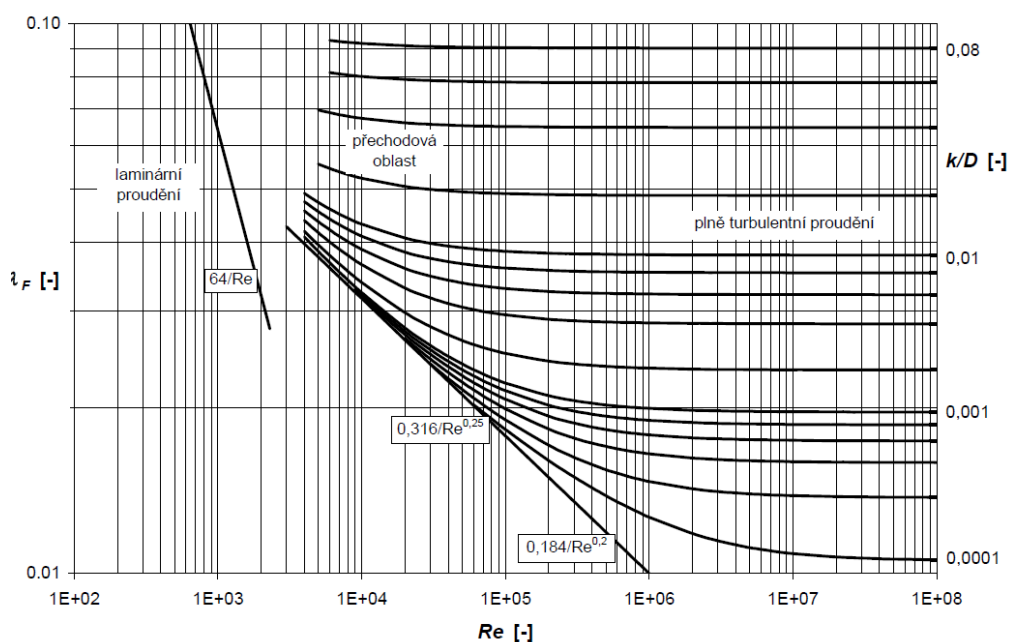
$$\lambda = \frac{A}{Re} \quad (4)$$

Kde hodnota A je pro kruhový průřez stanovena na hodnotu 64.

Za předpokladu, že je hodnota $2300 < Re < 10^5$ jde o turbulentní proudění a součinitel tření λ [-] je stanoven z rovnice:

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (5)$$

Moodyho diagram



Obrázek 3 – Moodyho diagram

Moodyho diagram zobrazuje veškeré závislosti $\lambda=f(Re,k/D)$. Lze z něj odečíst potřebné hodnoty pro různé druhy proudění (laminární, přechodové a plně turbulentní) v závislosti na relativní drsnosti. Tento diagram byl vypracován na základě měření tlakových ztrát třením v technicky drsném potrubí (drsnost způsobená technologií výroby potrubí). Ke stanovení λ v projekční praxi se používají nomogramy, k jejichž konstrukci je použito méně přesných, zato však jednodušších závislostí pro λ . Křivkový průběh této závislosti (v logaritmických souřadnicích) nahrazuje přímkou (s extrémními odchylkami $\pm 8\%$) vztah: [1 str.115] [2 str.29]

$$\lambda = \frac{0,0812}{Re^{0,125} \cdot d^{0,11}} \quad (6)$$

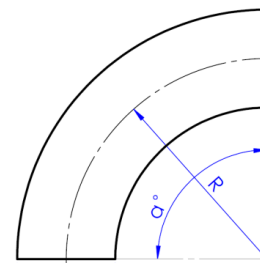
3.3 Změna směru v potrubní síti

Pro výpočet místní tlakové ztráty (rovnice 2) je nutné znát součinitele místní tlakové ztráty ξ [-]. Ten se pro každý prvek potrubní sítě určuje jinak, jak lze vidět v následujících kapitolách.

3.3.1 Oblouk

Součinitel lokální tlakové ztráty vlivem oblouku je závislý na velikosti úhlu a konstrukci daného oblouku. Běžně se vyrábějí oblouky do průměru 200 mm ze dvou polovin, které jsou následně spojeny. Větší průměry se většinou vyrábějí ze segmentů po 15° a koncové díly u příruby po $7,5^\circ$. Normalizované oblouky mají poloměr osy R/D 1,5 nebo 3. Do hodnot pro součinitele místní tlakové ztráty nejsou zahrnuty ztráty třením. [1, str.117]

Stanovení součinitele lokální (tlakové) ztráty pro nesegmentovaný oblouk vychází z tab. 4, za předpokladu, že se $\alpha = 90^\circ$:



Obrázek 4 – Výchozí parametry pro oblouk

Tabulka 4 – Součinitel místní tlakové ztráty pro kruhové potrubí se změnou směru

R/D	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.25	1.5	2	3
ξ_v	1.18	0.77	0.51	0.37	0.21	0.19	0.17	0.15	0.12

Pokud se bude jednat o jiný úhel, a to $\alpha \neq 90^\circ$, musíme daný součinitel místní tlakové ztráty vynásobit koeficientem C, který se odečte z tab. 5 a tím vznikne hledaný součinitel místní tlakové ztráty:

$$\xi_v = C_1 \cdot \xi_{v\ 90^\circ} \quad (7)$$

Tabulka 5 – Koeficient pro místní tlakové ztráty pro $\alpha \neq 90^\circ$

α°	15	30	45	60	75	90	135	180
C1	0.25	0.45	0.6	0.78	0.9	1	1.23	1.4

Poté se místní tlaková ztráta vlivem oblouku stanoví pomocí rovnice (2), do které se dosadí potřebný součinitel místní tlakové ztráty ξ_v . [1]

3.3.2 Rozbočka sacího typu

Pro tuto rozbočku platí předpoklad: $S_p + S_b = S_o$

Pro stanovení součinitele místní (tlakové) ztráty pro odbočení se vychází z rovnice 9 (ve výpočtu není zahrnut oblouk - ten se v případě potřeby musí stanovit samostatně).

$$\xi = 1 + \left(\frac{w_b}{w_o}\right)^2 - 2 \frac{S_o}{S_p} \left(1 - \frac{V_b}{V_o}\right)^2 - 2 \frac{S_b}{S_o} \left(\frac{V_b}{V_o}\right)^2 \cdot \cos\beta + B \quad (8)$$

Kde hodnoty B jsou stanoveny v tab. 6, S [m^2] je plocha, w [m/s] je rychlost, V [m^3/s] je objemový průtok, index b je pro boční směr, index o je pro výstup, index p je pro přímý vstup. [1]

Tabulka 6 – Koefficient B pro odbočky kruhové

(°)	S_b/S_0			
	0.1	0.2	0.33	0.5
15-45	0	0	0	0
60				0.1
90				0.1

Součinitele místní (tlakové) ztráty pro přímý průchod je definován rovnicí:

$$\xi_{P_0} = 1 + \left(\frac{w_p}{w_0}\right)^2 - 2 \frac{S_p}{S_0} \left(\frac{V_p}{V_0}\right)^2 - 2 \frac{S_b}{S_0} \left(\frac{V_p}{V_0}\right)^2 \cdot \cos\beta + P \quad (9)$$

Kde hodnoty **P** jsou stanoveny v tabulce 7[1]:

Tabulka 7 – Koefficient P pro odbočky kruhové

(°)	S_b/S_0			
	0.1	0.2	0.3	0.5
15	0	0	0.14	0.4
30			0.17	0.35
45	0.05	0.14	0.14	0.3
60	0	0	0.1	0.25
90			0	0

Vypočtený součinitel se dosadí do rovnice (2) a tím se získá velikost místní tlakové ztráty pro rozbočky sacího typu. [1]

3.3.3 T-rozbočka s obloukovitým odbočením (symetrická) pro kruhový průřez

Za předpokladu, že se proudy vzduchu budou spojovat v T-rozbočce, vycházíme pro stanovení součinitele místní tlakové ztráty z tab. 8

Tabulka 8 -- Součinitel místní tlakové ztráty pro T rozbočky

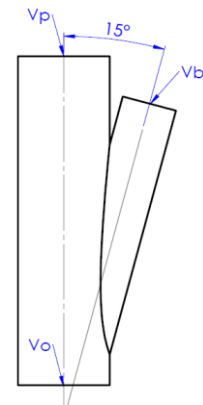
V_{b1}/V_0	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5-0.8	0.9	1
ξ_{P_0}	-0.13	-0.1	-0.07	-0.03	0	0.03	0.05	0.08

Určení velikosti místní tlakové ztráty je stejné jako v ostatních případech tj. součinitel místní tlakové ztráty ξ se dosadí do rovnice (2). [1]

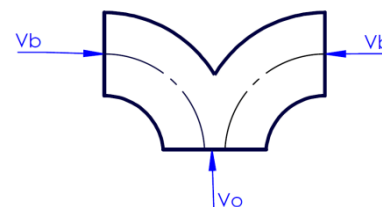
3.3.4 Pružné hadice od strojů

Tlaková ztráta se stanoví obdobně, jako pro přímé potrubní na který je ohebná hadice připojena viz rovnice (3). Rozdíl je ve velikosti λ - tato hodnota se uvažuje dvojnásobná.

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



Obrázek 5 – Spojení proudu



Obrázek 6 – T rozbočka

4. Centrální odsávání

4.1 Vzorový výpočet tlakové ztráty pro větev 1

Stanovení průřezové plochy potrubních úseků:

$$S_A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} = 0,0079 \text{ m}^2$$

$$S_C = 0,0154 \text{ m}^2; S_G = 0,0254 \text{ m}^2; S_N = 0,0314 \text{ m}^2; S_O = 0,0491 \text{ m}^2; S_Q = 0,0615 \text{ m}^2$$

Stanovení celkové délky potrubí:

Viz obr. 3 a tab.2

Větev 1. je složena z úseků A, C, G, N, O, Q o rozměrech :

$$A = 2,53 \text{ m}; C = 1,34 \text{ m}; G = 3,89 \text{ m}; N = 0,55 \text{ m}; O = 2,23 \text{ m}; Q = 7 \text{ m}$$

Celková délka větve 1. :

$$L = A + C + G + N + O + Q = 2,53 + 1,34 + 3,89 + 0,55 + 2,23 + 7 = 17,5 \text{ m}$$

Stanovení rychlosti průtoků:

$$w = \frac{S_A}{V_A} = \frac{0,079}{0,126} = 16,05 \text{ m/s}$$

$$w_B = 16,05 \text{ m/s}; w_D = 15,92 \text{ m/s}; w_E = 15,92 \text{ m/s}; w_H = 15,98 \text{ m/s};$$

$$w_I = 15,98 \text{ m/s}; w_K = 15,92 \text{ m/s}; w_L = 15,92 \text{ m/s}; w_P = 16,05 \text{ m/s}$$

Stanovení rychlosti průtoků pro spojené větve:

$$w_C = \frac{(u_A \cdot S_A + u_B \cdot S_B)}{S_C} = \frac{16,05 \cdot 0,079 + 16,05 \cdot 0,079}{0,0154} = 16,38 \text{ m/s}$$

$$w_F = 16,84 \text{ m/s}; w_G = 16,2 \text{ m/s}; w_J = 19,51 \text{ m/s}; w_M = 16,84 \text{ m/s};$$

$$w_N = 18,22 \text{ m/s}; w_o = 19,65 \text{ m/s}; w_Q = 17,71 \text{ m/s}$$

Velikost Reynoldsova čísla:

$$Ra_A = \frac{D_A \cdot w_A}{\nu} = \frac{0,1 \cdot 16,05}{1,45 \cdot 10^{-5}} = 110\,696$$

$$Re_C = 158\,137; Re_G = 201\,088; Re_N = 261\,263; Re_O = 338\,766; Re_Q = 342\,004$$

Stanovení součinitele třecí tlakové ztráty:

$$\lambda = \frac{0,0812}{Re_A^{0,125} \cdot D_A^{0,11}} = \frac{0,0812}{110\,696^{0,125} \cdot 0,1^{0,11}} = 0,02$$

$$\lambda_C = 0,023; \lambda_G = 0,021; \lambda_N = 0,02; \lambda_O = 0,019; \lambda_Q = 0,019$$

Stanovení třecí tlakové ztráty:

$$P_{DA} = \lambda \cdot \frac{L_A}{D_A} \cdot \rho \cdot \frac{u_A^2}{2} = 0,024 \cdot \frac{2,53}{0,1} \cdot 1,2 \cdot \frac{16,05^2}{2} = 95,8 \text{ Pa}$$

$$P_{DC} = 85,7 \text{ Pa}; P_{DG} = 72,5 \text{ Pa}; P_{DN} = 11,1 \text{ Pa}; P_{DO} = 39,8 \text{ Pa}; P_{DQ} = 89,4 \text{ Pa}$$

Stanovení celkové tlakové ztráty třením větve 1.:

$$P_{Dcelk} = P_{DA} + P_{DC} + P_{DG} + P_{DN} + P_{DO} + P_{DQ} = 95,8 + 85,7 + 72,5 + 11,1 + 39,8 + 89,4 \\ = 343,3 \text{ Pa}$$

Stanovení součinitele tlakové ztráty pro přímý průchod:

$$\xi_{A/B} = 1 + \left(\frac{w_A}{w_C}\right)^2 - 2 \frac{S_A}{S_C} \left(\frac{V_A}{V_C}\right)^2 - 2 \frac{S_B}{S_C} \left(\frac{V_A}{V_C}\right)^2 \cdot \cos\beta + P \\ = 1 + \left(\frac{16,05}{16,38}\right)^2 - 2 \cdot \frac{0,0079}{0,0154} \cdot \left(\frac{0,126}{0,252}\right)^2 - 2 \cdot \frac{0,0079}{0,0154} \cdot \left(\frac{0,126}{0,252}\right)^2 \cdot \cos 15 + 0,4 \\ = 1,38$$

$$\xi_{C/F} = 1,72; \xi_{G/M} = 0,65; \xi_{N/J} = 1,06; \xi_{O/P} = 0,26$$

Stanovení tlakové ztráty pro přímý chod:

$$P_{A/B} = \xi_{A/B} \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} = 1,38 \cdot 1,2 \cdot \frac{16,05^2}{2} = 213,24 \text{ Pa}$$

$$P_{C/F} = 271,05 \text{ Pa}; P_{G/M} = 102,39 \text{ Pa}; P_{N/J} = 211,18 \text{ Pa}; P_{Q/P} = 32,43 \text{ Pa}$$

Stanovení součinitele tlakové ztráty pro změnu směru:

Tento součinitel je odečten pro hodnotu 90°

$$\xi_{zA} = 0,15$$

Stanovení tlakové ztráty pro změnu směru:

$$P_A = \xi_{zA} \cdot \rho \cdot \frac{w_A^2}{2} = 0,15 \cdot 1,2 \cdot \frac{16,05^2}{2} = 23,19 \text{ Pa}$$

Stanovení tlakové ztráty hadice:

$$P_{had} = 2 \cdot \lambda \cdot \frac{L_{had}}{D_A} \cdot \rho \cdot \frac{u_A^2}{2} = 2 \cdot 0,024 \cdot \frac{2}{0,1} \cdot 1,2 \cdot \frac{16,05^2}{2} = 151,44 \text{ Pa}$$

Stanovení součinitele tlakové ztráty pro sací zákryt:

Tento součinitel je odečten ze zadaných hodnot

$$\xi_{zA} = 0,4$$

Stanovení tlakové ztráty pro sací zákryt:

$$P_A = \xi_{zA} \cdot \rho \cdot \frac{w_A^2}{2} = 0,4 \cdot 1,2 \cdot \frac{16,05^2}{2} = 61,83 \text{ Pa}$$

Stanovení celkové tlakové ztráty cesty 1. :

$$\begin{aligned} P_{celk} &= \sum P = P_{Dcelk} + P_{A/B} + P_{C/F} + P_{G/M} + P_{N/J} + P_{Q/P} + P_A + P_{had} + P_{konc} \\ &= 343,3 + 213,24 + 294,89 + 102,39 + 211,18 + 32,43 + 23,19 + 151,44 \\ &\quad + 61,83 = 1433,90 \text{ Pa} \end{aligned}$$

4.2 Výpočet tlakových ztrát potrubím při 100% současnosti chodu strojů

Je zapotřebí zjistit, která z větví bude mít největší tlakovou ztrátu (tuto větev nazveme hlavní větví), aby se zbývající větve mohly doškrtnit na hodnotu tlakové ztráty hlavní větve.

Velikost tlakové ztráty jednotlivých větví je stanovena z dílčích hodnot (tlakové ztráty třením jednotlivých úseků na větví, místní tlakové ztráty vzniklé spojením proudů a oblouky na větví,...)

4.2.1 Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky

V tab. 8 jsou vypočteny hodnoty tlakové ztráty třením jednotlivých úseků na větví, tlaková ztráta sacího elementu na vstupu u stroje a tlaková ztráta přípojných hadic. Dále jsou v ní vypočteny rychlosti v jednotlivých úsecích. Hodnoty v tab. 8 jsou pouze pro 100% chod strojů.

Tabulka 8 – Vypočtené hodnoty potrubní sítě pro 100% chod strojů

Návrh vzduchotechnické sítě pro 100% chod strojů															
Chod stroje	Úsek	D	S	L	V	V	Wvýp	Pd	Re	λ	Součinitel tlakové ztráty	Tlakové ztráty na 1m potrubí	Tlakové ztráty úseků	Tlaková ztráta přívodních hadic	Tlaková ztráta elementu
%	[-]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³ /h]	[m ³ /s]	[m/s]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[Pa/m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
100	A	0.1	0.00785	2.53	453.6	0.126	16.05	154.58	110696.24	0.02	0.40	37.86	95.77	151.44	61.83
100	B	0.1	0.00785	1.68	453.6	0.126	16.05	154.58	110696.24	0.02	0.40	37.86	63.47	151.44	61.83
100	C	0.14	0.01539	1.34	907.2	0.252	16.38	160.95	158137.49	0.02	0.00	25.95	34.76	0.00	0.00
100	D	0.08	0.00502	1.74	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	85.69	196.54	68.46
100	E	0.08	0.00502	2.34	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	114.82	196.54	68.46
100	F	0.11	0.0095	0.49	576	0.16	16.84	170.25	127787.87	0.02	0.00	36.85	18.12	0.00	0.00
100	G	0.18	0.02543	3.89	1483.2	0.412	16.20	157.44	201088.42	0.02	0.00	18.64	72.50	0.00	0.00
100	H	0.125	0.01227	1.30	705.6	0.196	15.98	153.21	137755.33	0.02	0.38	28.50	37.05	114.01	68.46
100	I	0.125	0.01227	1.42	705.6	0.196	15.98	153.21	137755.33	0.02	0.38	28.50	40.47	114.01	68.46
100	J	0.16	0.0201	3.00	1411.2	0.392	19.51	228.30	215242.70	0.02	0.00	30.54	91.56	0.00	0.00
100	K	0.08	0.00502	1.10	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	54.05	196.54	58.22
100	L	0.08	0.00502	1.17	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	57.49	196.54	58.22
100	M	0.11	0.0095	2.58	576	0.16	16.84	170.25	127787.87	0.02	0.00	36.85	95.12	0.00	0.00
100	N	0.2	0.0314	0.55	2059.2	0.572	18.22	199.11	251262.90	0.02	0.00	20.39	11.11	0.00	0.00
100	O	0.25	0.04906	2.23	3470.4	0.964	19.65	231.64	338765.65	0.02	0.00	17.84	39.78	0.00	0.00
100	P	0.1	0.00785	3.32	453.6	0.126	16.05	154.58	110696.24	0.02	0.60	37.86	125.85	151.44	92.75
100	Q	0.28	0.06154	7.00	3924	1.09	17.71	188.21	342003.70	0.02	0.00	12.77	89.37	0.00	0.00

4.2.2 Výpočet tlakových ztrát vlivem spojovacích rozboček a změny směru

V tab. 9 jsou stanoveny jednotlivé místní tlakové ztráty vlivem přípojek a změny směru. Dále součinitele místních tlakových ztrát použitých pro výpočet daných tlakových ztrát.

Značení v tab. 9 je vysvětleno na příkladu:

A	/	B
Přímý směr (směřující do úseku A)		Boční směr (směřující do úseku B)

S _b	/	S _c
Průtočná plocha potrubí (směřující do úseku B)		Průtočná plocha potrubí (směřující do úseku C)

Rozbočka je tvořena přímou částí tj. P_p a boční částí, ta je rozdělena na část P_{b1} (tlaková ztráta spojením proudů pod úhlem 15°) a P_{b2} oblouk (oblouk, který má úhel 75°). Celkové odbočení je tedy o 90°. Celková tlaková ztráta dvojcestných rozboček pro přímý průchod je značena P_{pc} a pro boční směr je značena P_{bc}.

Tabulka 9 – Tlakové ztráty přípojek a změn směru pro 100% chod strojů

Tlakové ztráty jednotlivých elementů (přípojek a oblouků)													
Změna směru	P _{b1}	P _{b2} oblouk	P _p	P _{bc}	P _{pc}	S _b /S _c		B	P	ξ _b	ξ _p	ξ _v	Změna směru
[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
A	0.00	0.00	23.19	0.00	23.19	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	A
A/B	181.51	23.19	213.24	204.69	213.24	S _b /S _c	0.51	0.00	0.40	1.17	1.38	0.15	A/B
C/F	366.76	23.83	271.05	390.60	294.89	S _f /S _d	0.37	0.00	0.45	2.15	1.72	0.14	C/F
D/E	174.84	21.30	214.32	196.14	214.32	S _d /S _f	0.53	0.00	0.46	1.15	1.41	0.14	D/E
K/L	30.43	0.00	30.43	30.43	30.43	V _b /V	0.50	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	K/L
G/M	-262.02	23.83	102.39	-262.02	102.39	S _m /S _n	0.30	0.00	0.14	-1.54	0.65	0.14	G/M
H/i	30.64	0.00	30.64	30.64	30.64	V _b /V	0.50	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	H/i
N/J	225.62	31.96	211.18	257.58	211.18	S _j /S _o	0.41	0.00	0.30	0.99	1.06	0.14	N/J
P	0.00	0.00	23.19	0.00	23.19	P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	P
Q/P	-21.39	21.64	32.43	0.25	32.43	S _p /S _q	0.13	0.00	0.00	-0.14	0.27	0.14	Q/P

Na jedné větvi je umístěno více dvojcestných přípojek a oblouků, které na dané větvi vytváří tlakovou ztrátu. Celková tlaková ztráta všech přípojek na jedné větvi se stanoví sečtením všech tlakových ztrát (které vytvářejí dvojcestné přípojky a oblouky) na dané větvi. Tento součet je zobrazen v tab. 10, kde index *p* značí přímý směr a index *b* boční směr.

Tabulka 10 – Tlakové ztráty větvi vzniklé změnou směru, nebo spojením proudů pro 100% chod strojů

Větev	Tlakové ztráty na větvi vlivem oblouků a přípojek						Celkové ztráty oblouků. a přípoj. [Pa]
1	A	A/B- p	C/F -p	G/M-p	N/J -p	O/P-P	877.32
	23,19	213.24	294.89	102.39	211.18	32.43	
2	A/B - b	C/F -p	G/M-p	N/J -p	O/P-P	845.59	
	204.69	294.89	102.39	211.18	32.43		
3	E/D - b	C/F-b	G/M-p	N/J -p	O/P-P	932.74	
	196.14	390.60	102.39	211.18	32.43		
4	E/D - p	C/F-b	G/M-p	N/J -p	O/P-P	950.92	
	214.32	390.60	102.39	211.18	32.43		
5	K/L -b	G/M - b	N/J -p	O/P-P	12.01		
	30.43	-262.02	211.18	32.43			
6	K/L -b	G/M - b	N/J -p	O/P-P	12.01		
	30.43	-262.02	211.18	32.43			
7	H/L -b	N/J -b	O/P-P	320.65			
	30.64	257.58	32.43				
8	H/L -p	N/J -b	O/P-P	320.65			
	30.64	257.58	32.43				
9	P	O/P-b	23.44				
	23.19	0.25					

4.2.3 Výpočet celkové tlakové ztráty větvi a velikost doškrcení

Celková tlaková ztráta na větvi je vypočtena sečtením všech tlakových ztrát, které se vyskytují na dané větvi. V tab. 11. jsou spočítány celkové tlakové ztráty jednotlivých větví. Hlavní větví se stává větev 4 (má největší tlakovou ztrátu) a zbývající větve se musí doškrtit na tuto hodnotu maximální tlakové ztráty.

Tabulka 11 – Celkové tlakové ztráty při 100% chodu strojů

Celkové tlakové ztráty větví																
Větev	Úseky cest						Délka cesty	Celková délka cesty	Tlaková ztráta	Max. tlaková ztráta rovného potrubí	Tlaková ztráta vlivem změny směru	Tlaková ztráta přívodních hadic	Tlaková ztráta elementu na konci	Celková tlaková ztráta	Max. celková tlaková ztráta	Doškrvení na klapce
[-]	[-]						[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1	A	C	G	N	O	Q	17.5	17.53	343.30	345.71	877.32	151.44	61.83	1433.90	1561.62	127.72
2	B	C	G	N	O	Q	16.7		311.00		845.59	151.44	61.83	1369.86		191.76
3	D	F	G	N	O	Q	15.9		316.58		932.74	196.54	68.46	1514.32		47.31
4	E	F	G	N	O	Q	16.5		345.71		950.92	196.54	68.46	1561.62		0.00
5	K	M	N	O	Q		13.5		335.81		12.01	196.54	68.46	612.83		948.79
6	L	M	N	O	Q		13.5		292.88		12.01	196.54	68.46	569.90		991.73
7	H	J	O	Q			13.5		257.77		320.65	114.01	58.22	750.65		810.98
8	I	J	O	Q			13.6		261.19		320.65	114.01	58.22	754.07		807.56
9	P	Q					10.3		215.22		23.44	151.44	92.75	482.85		1078.78

4.2.4 Zhodnocení 100% současnosti chodu strojů

Pro 100% chod strojů je hlavní větev 4. Rozdíl tlakové ztráty mezi jednotlivými větvemi a hlavní větví se musí doškrtit tj. na maximální hodnotu celkové tlakové ztráty, která činí 1562 Pa. Větve 9,6,5 se musí výrazně doškrtit. Bylo by vhodné použít dvě klapky za sebou v dostatečně velké vzdálenosti tak, aby se profil proudu znovu ustálil. Použití dvou klapek sníží hladinu hluku. Pokud by se zde neumístila další klapka, došlo by k náhlému poklesu rychlosti, který by mohl způsobit usazování částic v potrubí v místech blízkých klapce. Rychlost v potrubí je blízká 16 m/s, a tedy splňuje požadavky pro zadaný systém. Pro 100% chod strojů není problém regulovat soustavu.

4.3 Výpočet tlakových ztrát potrubím při 89% současnosti chodu strojů

V následující části je proveden rozbor pro případ, kdy je odstaven jeden stroj z devíti, tedy 89% současnost chodu strojů.

4.3.1 Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky

V tab. 12 jsou vypočteny hodnoty tlakové ztráty třením jednotlivých úseků na větví, tlaková ztráta sacího zákrytu na vstupu u stroje a tlaková ztráta přípojné hadice. Dále jsou v ní vypočteny rychlosti v jednotlivých úsecích.

Tabulka 12 – Vypočtené hodnoty potrubní sítě pro 89% chod strojů

Návrh vzduchotechnické sítě pro 89% chod strojů															
Chod stroje	Úsek	D	S	L	V	V	Wvýp	Pd	Re	λ	Součinitel tlakové ztráty	Tlakové ztráty na 1m potrubí	Tlakové ztráty úseků	Tlaková ztráta přívodních hadic	Tlaková ztráta elementu
%	[-]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³ /h]	[m ³ /s]	[m/s]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[Pa/m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
100	A	0.1	0.00785	2.53	453.6	0.126	16.05	154.58	110696.24	0.02	0.40	37.86	95.77	151.44	61.83
0	B	0.1	0.00785	1.68	453.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	C	0.14	0.01539	1.34	453.6	0.126	8.19	40.24	79068.75	0.02	0.00	7.08	9.48	0.00	0.00
100	D	0.08	0.00502	1.74	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	85.69	196.54	68.46
100	E	0.08	0.00502	2.34	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	114.82	196.54	68.46
100	F	0.11	0.0095	0.49	576	0.16	16.84	170.25	127787.87	0.02	0.00	36.85	18.12	0.00	0.00
100	G	0.18	0.02543	3.89	1029.6	0.286	11.24	75.87	139590.50	0.02	0.00	9.40	36.57	0.00	0.00
100	H	0.125	0.01227	1.30	705.6	0.196	15.98	153.21	137755.33	0.02	0.38	28.50	37.05	114.01	68.46
100	I	0.125	0.01227	1.42	705.6	0.196	15.98	153.21	137755.33	0.02	0.38	28.50	40.47	114.01	68.46
100	J	0.16	0.0201	3.00	1411.2	0.392	19.51	228.30	215242.70	0.02	0.00	30.54	91.56	0.00	0.00
100	K	0.08	0.00502	1.10	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	54.05	196.54	58.22
100	L	0.08	0.00502	1.17	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	57.49	196.54	58.22
100	M	0.11	0.0095	2.58	576	0.16	16.84	170.25	127787.87	0.02	0.00	36.85	95.12	0.00	0.00
100	N	0.2	0.0314	0.55	1605.6	0.446	14.20	121.05	195914.78	0.02	0.00	12.79	6.97	0.00	0.00
100	O	0.25	0.04906	2.23	3016.8	0.838	17.08	175.04	294487.15	0.02	0.00	13.72	30.60	0.00	0.00
100	P	0.1	0.00785	3.32	453.6	0.126	16.05	154.58	110696.24	0.02	0.60	37.86	125.85	151.44	92.75
100	Q	0.28	0.06154	7.00	3470.4	0.964	15.66	147.21	302469.33	0.02	0.00	10.14	70.98	0.00	0.00

4.3.2 Výpočet tlakových ztrát vlivem přípojek a změny směru

V tab. 13 jsou stanoveny jednotlivé místní tlakové ztráty vlivem přípojek a změny směru. Dále součinitele místních tlakových ztrát použitých pro výpočet daných tlakových ztrát. Značení je shodné jako u tab. 9.

Tabulka 13 – Tlakové ztráty přípojek a změn směru pro 89% chod strojů

Tlakové ztráty jednotlivých elementů (přípojek a oblouků)													
Změna směru	P _{b1}	P _{b2} oblouk	P _p	P _{bc}	P _{pc}	S _b /S		B	P	ξ _b	ξ _P	ξ _V	Změna směru
[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
A	0.00	0.00	23.19	0.00	23.19	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	A
A/B	0.00	0.00	203.15	0.00	203.15	S _b /S _c	0.51	0.00	0.40	1.78	1.31	0.15	A/B
C/F	58.19	23.83	152.63	82.02	176.46	S _f /S _d	0.37	0.00	0.45	0.34	2.01	0.14	C/F
D/E	174.84	21.30	214.32	196.14	214.32	S _d /S _f	0.53	0.00	0.46	1.15	1.41	0.14	D/E
K/L	30.43	0.00	30.43	30.43	30.43	V _b /V	0.50	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	K/L
G/M	-43.10	23.83	57.06	-43.10	57.06	S _m /S _n	0.30	0.00	0.14	-0.25	0.75	0.14	G/M
H/i	30.64	0.00	30.64	30.64	30.64	V _b /V	0.50	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	H/i
N/J	355.06	31.96	134.07	387.03	134.07	S _j /S _o	0.41	0.00	0.30	1.56	1.11	0.14	N/J
P	0.00	0.00	23.19	0.00	23.19	P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	P
Q/P	24.35	21.64	24.51	46.00	24.51	S _p /S _q	0.13	0.00	0.00	0.16	0.29	0.14	Q/P

Součet tlakových ztrát vlivem dvojcestných rozboček a oblouků na jedné větvi je stanoven v tab. 14. Označení pro tuto tabulku je identické s tab.10.

Tabulka 14 – Tlakové ztráty větví vzniklé změnou směru, nebo spojením proudů pro 89% chod strojů

Větev	Tlakové ztráty na větví vlivem oblouků a přípojek						Celkové ztráty obl. a přípoj. [Pa]
1	A	A/B- p	C/F -p	G/M-p	N/J -p	O/P-P	618,44
	23,19	203.15	176.46	57.06	134.07	24.51	
2	A/B - b	C/F -p	G/M-p	N/J -p	O/P-P	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
3	E/D - b	C/F-b	G/M-p	N/J -p	O/P-P	493.79	
	196.14	82.02	57.06	134.07	24.51		
4	E/D - p	C/F-b	G/M-p	N/J -p	O/P-P	511.97	
	214.32	82.02	57.06	134.07	24.51		
5	K/L -b	G/M - b	N/J -p	O/P-P	145.91		
	30.43	-43.10	134.07	24.51			
6	K/L -b	G/M - b	N/J -p	O/P-P	145.91		
	30.43	-43.10	134.07	24.51			
7	H/L -b	N/J -b	O/P-P	442.17			
	30.64	387.03	24.51				
8	H/L -p	N/J -b	O/P-P	442.17			
	30.64	387.03	32.43				
9	P	O/P-b	69.18				
	23.19	46.00					

4.3.3 Výpočet celkové tlakové ztráty větví a velikost doškrcení

Výpočet celkové tlakové ztráty pro jednotlivé větve je popsán u tab.11. V tab.15 jsou vypočteny hodnoty po situaci 89% současnosti chodu strojů.

Tabulka 15 – Celkové tlakové ztráty při 89% chodu strojů

Celkové tlakové ztráty větvi																
Větev	Úseky cest						Délka cesty	Celková délka cesty	Tlaková ztráta	Max. tlaková ztráta rovného potrubí	Tlaková ztráta vlivem změny směru	Tlaková ztráta přívodních hadic	Tlaková ztráta elementu na konci	Celková tlaková ztráta	Max. celková tlaková ztráta	Doškrčení na klapce
[-]	[-]						[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1	A	C	G	N	O	Q	17.5	17.53	250.37	308.24	618.44	151.44	61.83	1082.08	1082.08	0.00
2	B	C	G	N	O	Q	16.7		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
3	D	F	G	N	O	Q	15.9		248.93		493.79	196.54	68.46	1007.72		74.36
4	E	F	G	N	O	Q	16.5		278.05		511.97	196.54	68.46	1055.03		27.06
5	K	M	N	O	Q		13.5		308.24		145.91	196.54	68.46	719.15		362.94
6	L	M	N	O	Q		13.5		261.16		145.91	196.54	68.46	672.07		410.01
7	H	J	O	Q			13.5		230.19		442.17	114.01	58.22	844.59		237.49
8	I	J	O	Q			13.6		233.61		442.17	114.01	58.22	848.01		234.07
9	P	Q					10.3		196.83		69.18	151.44	92.75	510.21		571.88

4.3.4 Zhodnocení 89% současnosti chodu strojů

Počet strojů, které jsou v chodu je 8. Pro situaci, kdy se například vypne stroj ležící na úseku B tj. stroj 2, vznikne následující: hlavní větev bude vedena od stroje 1, zbývající větve v systému se musí zregulovat na novou hodnotu největší tlakové ztráty, která činí 1082 Pa. V systému se začnou projevat problémy s regulací, protože při vypnutí jakéhokoliv stroje se musí celá soustava znovu zregulovat (za předpokladu, že se vypne pouze jeden stroj v systému, může vzniknout 9 rozdílných situací). Rozdíl tlaků, které jsou zapotřebí seškrtnit je na pomezí použití jedné klapky. Pro regulaci se použijí obě klapky, aby se snížila hladina hluku.

4.4 Výpočet tlakových ztrát potrubím při 78% současnosti chodu strojů

V následující části je proveden rozbor pro případ, kdy jsou odstaveny dva stroje z devíti, tedy 78% současnost chodu strojů.

4.4.1 Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky

V tab. 16 jsou vypočteny hodnoty tlakové ztráty třením jednotlivých úseků na větvi, tlaková ztráta sacího zákrytu na vstupu u stroje a tlaková ztráta přípojné hadice. Dále jsou v ní vypočteny rychlosti v jednotlivých úsecích.

Tabulka 16 – Vypočtené hodnoty potrubní sítě pro 78% chod strojů

Návrh vzduchotechnické sítě pro 78% chod strojů															
Chod stroje	Úsek	D	S	L	V	V	Wvýp	Pd	Re	λ	Součinitel tlakové ztráty	Tlakové ztráty na 1m potrubí	Tlakové ztráty úseků	Tlaková ztráta přívodních hadic	Tlaková ztráta elementu
%	[-]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³ /h]	[m ³ /s]	[m/s]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[Pa/m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
100	A	0.1	0.00785	2.53	453.6	0.126	16.05	154.58	110696.24	0.02	0.40	37.86	95.77	151.44	61.83
0	B	0.1	0.00785	1.68	453.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	C	0.14	0.01539	1.34	453.6	0.126	8.19	40.24	79068.75	0.02	0.00	7.08	9.48	0.00	0.00
0	D	0.08	0.00502	1.74	288	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	E	0.08	0.00502	2.34	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	114.82	196.54	68.46
100	F	0.11	0.0095	0.49	288	0.08	8.42	42.56	63893.94	0.03	0.00	10.04	4.94	0.00	0.00
100	G	0.18	0.02543	3.89	741.6	0.206	8.10	39.36	100544.21	0.02	0.00	5.08	19.77	0.00	0.00
100	H	0.125	0.01227	1.30	705.6	0.196	15.98	153.21	137755.33	0.02	0.38	28.50	37.05	114.01	68.46
100	I	0.125	0.01227	1.42	705.6	0.196	15.98	153.21	137755.33	0.02	0.38	28.50	40.47	114.01	68.46
100	J	0.16	0.0201	3.00	1411.2	0.392	19.51	228.30	215242.70	0.02	0.00	30.54	91.56	0.00	0.00
100	K	0.08	0.00502	1.10	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	54.05	196.54	58.22
100	L	0.08	0.00502	1.17	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	57.49	196.54	58.22
100	M	0.11	0.0095	2.58	576	0.16	16.84	170.25	127787.87	0.02	0.00	36.85	95.12	0.00	0.00
100	N	0.2	0.0314	0.55	1317.6	0.366	11.66	81.52	160773.12	0.02	0.00	8.83	4.81	0.00	0.00
100	O	0.25	0.04906	2.23	2728.8	0.758	15.45	143.22	266373.82	0.02	0.00	11.37	25.35	0.00	0.00
100	P	0.1	0.00785	3.32	453.6	0.126	16.05	154.58	110696.24	0.02	0.60	37.86	125.85	151.44	92.75
100	Q	0.28	0.06154	7.00	3182.4	0.884	14.36	123.79	277368.14	0.02	0.00	8.62	60.34	0.00	0.00

4.4.2 Výpočet tlakových ztrát vlivem přípojek a oblouků

V tab. 17 jsou stanoveny jednotlivé místní tlakové ztráty vlivem přípojek a oblouků. Dále součinitele místních tlakových ztrát použitých pro výpočet daných tlakových ztrát. Značení je shodné jako u tab. 9.

Tabulka 17 – Tlakové ztráty přípojek a změn směru pro 78% chod strojů

Tlakové ztráty jednotlivých elementů (přípojek a oblouků)													
Změna směru	Pb1	Pb2 oblouk	Pp	Pbc	Ppc	Sb/S		B	P	ξ_b	ξ_P	ξ_V	Změna směru
[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
A	0.00	0.00	23.19	0.00	23.19	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	A
A/B	0.00	0.00	203.15	0.00	203.15	Sb/Sc	0.51	0.00	0.40	1.78	1.31	0.15	A/B
C/F	91.69	5.96	67.68	97.65	73.64	Sf/Sd	0.37	0.00	0.45	2.15	1.72	0.14	C/F
D/E	0.00	0.00	222.12	0.00	222.12	Sd/Sf	0.53	0.00	0.46	5.38	1.46	0.14	D/E
K/L	30.43	0.00	30.43	30.43	30.43	Vb/V	0.50	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	K/L
G/M	184.18	23.83	33.11	184.18	33.11	Sm/Sn	0.30	0.00	0.14	1.08	0.84	0.14	G/M
H/i	30.64	0.00	30.64	30.64	30.64	Vb/V	0.50	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	H/i
N/J	463.89	31.96	93.07	495.86	93.07	Sj/So	0.41	0.00	0.30	2.03	1.14	0.14	N/J
P	0.00	0.00	23.19	0.00	23.19	P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	P
Q/P	63.08	21.64	20.05	84.72	20.05	Sp/Sq	0.13	0.00	0.00	0.41	0.31	0.14	Q/P

Součet tlakových ztrát vlivem dvojcestných rozboček a oblouků na jedné větvi pro 78% současnost chodu strojů je stanoven v tab. 14. Označení pro tuto tabulku je identické s tab.10.

Tabulka 18 – Tlakové ztráty větví vzniklé změnou směru, nebo spojením proudů pro 78% chod strojů

Větev	Tlakové ztráty na větví vlivem oblouků a přípojek						Celkové ztráty obl. a přípoj. [Pa]
1	A	A/B- p	C/F -p	G/M-p	N/J -p	O/P-P	446.22
	23.19	203.15	73.64	33.11	93.07	20.05	
2	A/B - b	C/F -p	G/M-p	N/J -p	O/P-P		0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
3	E/D - b	C/F-b	G/M-p	N/J -p	O/P-P		0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
4	E/D - p	C/F-b	G/M-p	N/J -p	O/P-P		466.00
	222.12	97.65	33.11	93.07	20.05		
5	K/L -b	G/M - b	N/J -p	O/P-P			327.73
	30.43	184.18	93.07	20.05			
6	K/L -b	G/M - b	N/J -p	O/P-P			327.73
	30.43	184.18	93.07	20.05			
7	H/L -b	N/J -b	O/P-P				546.55
	30.64	495.86	20.05				
8	H/L -p	N/J -b	O/P-P				546.55
	30.64	495.86	32.43				
9	P	O/P-b					107.91
	23.19	84.72					

4.4.3 Výpočet celkové tlakové ztráty větví a velikost doškrcení

Výpočet celkové tlakové ztráty pro jednotlivé větve je popsán u tab.11. V tab.19 jsou zobrazeny vypočtené hodnoty po situaci 78% současnosti chodu strojů. Hlavní větví se stává větev 8 (má největší tlakovou ztrátu).

Tabulka 19 – Celkové tlakové ztráty při 78% chodu strojů

Celkové tlakové ztráty větví																
Větev	Úseky cest						Délka cesty	Celková délka cesty	Tlaková ztráta	Max. tlaková ztráta rovného potrubí	Tlaková ztráta vlivem změny směru	Tlaková ztráta přívodních hadic	Tlaková ztráta elementu na konci	Celková tlaková ztráta	Max. celková tlaková ztráta	Doškrvení na klapce
[-]	[-]						[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1	A	C	G	N	O	Q	17.5	17.53	215.52	292.35	446.22	151.44	61.83	875.01	961.03	86.02
2	B	C	G	N	O	Q	16.7		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
3	D	F	G	N	O	Q	15.9		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
4	E	F	G	N	O	Q	16.5		230.02		466.00	196.54	68.46	961.03		0.00
5	K	M	N	O	Q		13.5		292.35		327.73	196.54	68.46	885.08		75.95
6	L	M	N	O	Q		13.5		243.11		327.73	196.54	68.46	835.84		125.19
7	H	J	O	Q			13.5		214.30		546.55	114.01	58.22	933.08		27.95
8	I	J	O	Q			13.6		217.72		546.55	114.01	58.22	936.50		24.53
9	P	Q					10.3		186.19		107.91	151.44	92.75	538.29		422.73

4.4.4 Zhodnocení 78% současnosti chodu strojů

Pro zvolený vypnutý stroj číslo 3 ležící na úseku D se tato situace opět změní a pro tento stav se hlavní větví stane větev vedoucí od stroje 8. Úsek I bude mít plně otevřenou klapku a zbývající klapky v systému se musí nastavit tak, aby doškrtily potřebou maximální tlakovou ztrátou, která je 961 Pa. V systému se začnou výrazněji projevovat problémy s regulací, jelikož při vypnutí jakékoliv kombinace dvou strojů, se musí celá soustava znovu zregulovat (za předpokladu, že se vypnou dva stroje v systému, může vzniknout 36 rozdílných situací [9]). Nyní je v systému více klapek, než je zapotřebí, ale jsou zde umístěny pro 100% chod strojů.

4.5 Výpočet tlakových ztrát potrubím při 67% současnosti chodu strojů

V následující části je proveden rozbor pro případ, kdy jsou odstaveny tři stroje z devíti, tedy 67% současnost chodu strojů.

4.5.1 Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky

V tab. 20 jsou vypočteny hodnoty tlakové ztráty třením jednotlivých úseků na větví, tlaková ztráta sacího elementu na vstupu u stroje a tlaková ztráta přípojné hadice. Dále jsou v ní vypočteny rychlosti v jednotlivých úsecích.

Tabulka 20 – Vypočtené hodnoty potrubí sítě pro 67% chod strojů

Návrh vzduchotechnické sítě pro 67% chod strojů															
Chod stroje	Úsek	D	S	L	V	V	Wvýp	Pd	Re	λ	Součinitel tlakové ztráty	Tlakové ztráty na 1m potrubí	Tlakové ztráty úseků	Tlaková ztráta přívodních hadic	Tlaková ztráta elementu
%	[-]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³ /h]	[m ³ /s]	[m/s]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[Pa/m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
100	A	0.1	0.00785	2.53	453.6	0.126	16.05	154.58	110696.24	0.02	0.40	37.86	95.77	151.44	61.83
0	B	0.1	0.00785	1.68	453.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	C	0.14	0.01539	1.34	453.6	0.126	8.19	40.24	79068.75	0.02	0.00	7.08	9.48	0.00	0.00
0	D	0.08	0.00502	1.74	288	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	E	0.08	0.00502	2.34	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	114.82	196.54	68.46
100	F	0.11	0.0095	0.49	288	0.08	8.42	42.56	63893.94	0.03	0.00	10.04	4.94	0.00	0.00
100	G	0.18	0.02543	3.89	741.6	0.206	8.10	39.36	100544.21	0.02	0.00	5.08	19.77	0.00	0.00
100	H	0.125	0.01227	1.30	705.6	0.196	15.98	153.21	137755.33	0.02	0.38	28.50	37.05	114.01	68.46
0	I	0.125	0.01227	1.42	705.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.46
100	J	0.16	0.0201	3.00	705.6	0.196	9.75	57.07	107621.35	0.02	0.00	8.33	24.96	0.00	0.00
100	K	0.08	0.00502	1.10	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	54.05	196.54	58.22
100	L	0.08	0.00502	1.17	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	57.49	196.54	0.00
100	M	0.11	0.0095	2.58	576	0.16	16.84	170.25	127787.87	0.02	0.00	36.85	95.12	0.00	0.00
100	N	0.2	0.0314	0.55	1317.6	0.366	11.66	81.52	160773.12	0.02	0.00	8.83	4.81	0.00	0.00
100	O	0.25	0.04906	2.23	2023.2	0.562	11.45	78.73	197496.16	0.02	0.00	6.49	14.47	0.00	0.00
100	P	0.1	0.00785	3.32	453.6	0.126	16.05	154.58	110696.24	0.02	0.60	37.86	125.85	151.44	92.75
100	Q	0.28	0.06154	7.00	2476.8	0.688	11.18	74.98	215870.23	0.02	0.00	5.39	37.71	0.00	0.00

4.5.2 Výpočet tlakových ztrát vlivem přípojek a změny směru

V tab. 21 jsou stanoveny jednotlivé místní tlakové ztráty vlivem přípojek a změny směru. Dále součinitele místních tlakových ztrát použitých pro výpočet daných tlakových ztrát. Značení je shodné jako u tab. 9.

Tabulka 21 – Tlakové ztráty přípojek a změny směru pro 67% chod strojů

Tlakové ztráty jednotlivých elementů (přípojek a oblouků)													
Změna směru	Pb1	Pb2 oblouk	Pp	Pbc	Ppc	Sb/S		B	P	ξ_b	ξ_P	ξ_V	Změna směru
[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
A	0.00	0.00	23.19	0.00	23.19	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	A
A/B	0.00	0.00	203.15	0.00	203.15	Sb/Sc	0.51	0.00	0.40	1.78	1.31	0.15	A/B
C/F	91.69	5.96	67.68	97.65	73.64	Sf/Sd	0.37	0.00	0.45	2.15	1.72	0.14	C/F
D/E	0.00	0.00	222.12	0.00	222.12	Sd/Sf	0.53	0.00	0.46	5.38	1.46	0.14	D/E
K/L	30.43	0.00	30.43	30.43	30.43	Vb/V	0.50	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	K/L
G/M	184.18	23.83	33.11	184.18	33.11	Sm/Sn	0.30	0.00	0.14	1.08	0.84	0.14	G/M
H/i	0.00	0.00	30.64	0.00	30.64	Vb/V	0.50	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	H/i
N/J	27.13	7.99	82.56	35.12	82.56	Sj/So	0.41	0.00	0.30	0.48	1.01	0.14	N/J
P	0.00	0.00	23.19	0.00	23.19	P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	P
Q/P	215.49	21.64	11.02	237.13	11.02	Sp/Sq	0.13	0.00	0.00	1.39	0.38	0.14	Q/P

Součet tlakových ztrát vlivem dvojcestných rozboček a oblouků na jedné větvi pro 67% současnost chodu strojů je stanoven v tab. 14. Označení pro tuto tabulku je identické s tab.10.

Tabulka 22 – Tlakové ztráty větví vzniklé změnou směru, nebo spojením proudů pro 67% chod strojů

Větev	Tlakové ztráty na větví vlivem oblouků a přípojek						Celkové ztráty obl. a přípoj. [Pa]
1	A	A/B- p	C/F -p	G/M-p	N/J -p	O/P-P	426.68
	23.19	203.15	73.64	33.11	82.56	11.02	
2	A/B - b	C/F -p	G/M-p	N/J -p	O/P-P	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
3	E/D - b	C/F-b	G/M-p	N/J -p	O/P-P	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
4	E/D - p	C/F-b	G/M-p	N/J -p	O/P-P	446.46	
	222.12	97.65	33.11	82.56	11.02		
5	K/L -b	G/M - b	N/J -p	O/P-P	308.19		
	30.43	184.18	82.56	11.02			
6	K/L -b	G/M - b	N/J -p	O/P-P	308.19		
	30.43	184.18	82.56	11.02			
7	H/L -b	N/J -b	O/P-P	46.14			
	0.00	35.12	11.02				
8	H/L -p	N/J -b	O/P-P	0.00			
	0.00	0.00	0.00				
9	P	O/P-b	260.32				
	23.19	237.13					

4.5.3 Výpočet celkové tlakové ztráty větví a velikost doškrcení

Výpočet celkové tlakové ztráty pro jednotlivé větve je popsán u tab.11. V tab.23 jsou zobrazeny vypočtené hodnoty po situaci 67% současnosti chodu strojů. Hlavní větví se stává větev 4 (má největší tlakovou ztrátu).

Tabulka 23 – Celkové tlakové ztráty při 67% chodu strojů

Celkové tlakové ztráty větví																
Větev	Úseky cest						Délka cesty	Celková délka cesty	Tlaková ztráta	Max. tlaková ztráta rovného potrubí	Tlaková ztráta vlivem změny směru	Tlaková ztráta přívodních hadic	Tlaková ztráta elementu na konci	Celková tlaková ztráta	Max. celková tlaková ztráta	Doškrncení na klapce
[-]	[-]						[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1	A	C	G	N	O	Q	17.5	17.53	182.01	258.84	426.68	151.44	61.83	821.96	907.98	86.02
2	B	C	G	N	O	Q	16.7		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
3	D	F	G	N	O	Q	15.9		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
4	E	F	G	N	O	Q	16.5		196.51		446.46	196.54	68.46	907.98		0.00
5	K	M	N	O	Q		13.5		258.84		308.19	196.54	68.46	832.03		75.95
6	L	M	N	O	Q		13.5		209.60		308.19	196.54	68.46	782.79		125.19
7	H	J	O	Q			13.5		114.19		46.14	114.01	58.22	332.56		575.42
8	I	J	O	Q			13.6		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
9	P	Q					10.3		163.56		260.32	151.44	92.75	668.07		239.90

4.5.4 Zhodnocení 67% současnosti chodu strojů

Zvolil jsem situaci, kdy v systému nebudou v chodu stroje ležící na úseku B, D a I. Pro tento stav nám vyjde nová hlavní větev vedoucí od stroje 4 ležícím na úseku E. Zbytek systému se musí opětovně zregulovat na nově vzniklou situaci, při které je maximální tlaková ztráta dána hodnotou 908 Pa. V systému se začnou výrazněji projevovat problémy s regulací, jelikož při vypnutí jakékoliv kombinace tří strojů se musí celá soustava znovu zregulovat (za předpokladu, že se vypnou tři stroje v systému, může vzniknout 84 rozdílných situací) [9].

4.6 Výpočet tlakových ztrát potrubím při 56% současnosti chodu strojů

V následující části je proveden rozbor pro případ, kdy jsou odstaveny čtyři stroje z devíti, tedy 56% současnost chodu strojů.

4.6.1 Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky

V tab. 24 jsou vypočteny hodnoty tlakové ztráty třením jednotlivých úseků na větví, tlaková ztráta sacího elementu na vstupu u stroje a tlaková ztráta přípojné hadice. Dále jsou v ní vypočteny rychlosti v jednotlivých úsecích.

Tabulka 24 – Vypočtené hodnoty potrubí sítě pro 56% chod strojů

Návrh vzduchotechnické sítě pro 56% chod strojů															
Chod stroje	Úsek	D	S	L	V	V	Wvýp	Pd	Re	λ	Součinitel tlakové ztráty	Tlakové ztráty na 1m potrubí	Tlakové ztráty úseků	Tlaková ztráta přívodních hadic	Tlaková ztráta elementu
%	[-]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³ /h]	[m ³ /s]	[m/s]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[Pa/m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
100	A	0.1	0.00785	2.53	453.6	0.126	16.05	154.58	110696.24	0.02	0.40	37.86	95.77	151.44	61.83
0	B	0.1	0.00785	1.68	453.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	C	0.14	0.01539	1.34	453.6	0.126	8.19	40.24	79068.75	0.02	0.00	7.08	9.48	0.00	0.00
0	D	0.08	0.00502	1.74	288	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	E	0.08	0.00502	2.34	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	114.82	196.54	68.46
100	F	0.11	0.0095	0.49	288	0.08	8.42	42.56	63893.94	0.03	0.00	10.04	4.94	0.00	0.00
100	G	0.18	0.02543	3.89	741.6	0.206	8.10	39.36	100544.21	0.02	0.00	5.08	19.77	0.00	0.00
100	H	0.125	0.01227	1.30	705.6	0.196	15.98	153.21	137755.33	0.02	0.38	28.50	37.05	114.01	0.00
0	I	0.125	0.01227	1.42	705.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.46
100	J	0.16	0.0201	3.00	705.6	0.196	9.75	57.07	107621.35	0.02	0.00	8.33	24.96	0.00	0.00
0	K	0.08	0.00502	1.10	288	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.22
100	L	0.08	0.00502	1.17	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	57.49	196.54	0.00
100	M	0.11	0.0095	2.58	288	0.08	8.42	42.56	63893.94	0.03	0.00	10.04	25.93	0.00	0.00
100	N	0.2	0.0314	0.55	1029.6	0.286	9.11	49.78	125631.45	0.02	0.00	5.56	3.03	0.00	0.00
100	O	0.25	0.04906	2.23	1735.2	0.482	9.82	57.91	169382.82	0.02	0.00	4.86	10.85	0.00	0.00
100	P	0.1	0.00785	3.32	453.6	0.126	16.05	154.58	110696.24	0.02	0.60	37.86	125.85	151.44	92.75
100	Q	0.28	0.06154	7.00	2188.8	0.608	9.88	58.56	190769.04	0.02	0.00	4.27	29.91	0.00	0.00

4.6.2 Výpočet tlakových ztrát vlivem přípojek a změny směru

V tab. 25 jsou stanoveny jednotlivé místní tlakové ztráty vlivem přípojek a změny směru. Dále součinitele místních tlakových ztrát použitých pro výpočet daných tlakových ztrát. Značení je shodné jako u tab. 9.

Tabulka 25 – Tlakové ztráty přípojek a změny směru pro 56% chod strojů

Tlakové ztráty jednotlivých elementů (přípojek a oblouků)													
Změna směru	Pb1	Pb2 oblouk	Pp	Pbc	Ppc	Sb/S		B	P	ξ_b	ξ_P	ξ_V	Změna směru
[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
A	0.00	0.00	23.19	0.00	23.19	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	A
A/B	0.00	0.00	203.15	0.00	203.15	Sb/Sc	0.51	0.00	0.40	1.78	1.31	0.15	A/B
C/F	91.69	5.96	67.68	97.65	73.64	Sf/Sd	0.37	0.00	0.45	2.15	1.72	0.14	C/F
D/E	0.00	0.00	222.12	0.00	222.12	Sd/Sf	0.53	0.00	0.46	5.38	1.46	0.14	D/E
K/L	0.00	0.00	30.43	0.00	30.43	Vb/V	1.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	K/L
G/M	-65.51	5.96	25.62	-65.51	25.62	Sm/Sn	0.30	0.00	0.14	-1.54	0.65	0.14	G/M
H/i	0.00	0.00	30.64	0.00	30.64	Vb/V	1.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	H/i
N/J	56.40	7.99	52.86	64.40	52.86	Sj/So	0.41	0.00	0.30	0.99	1.06	0.14	N/J
P	0.00	0.00	23.19	0.00	23.19	P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	P
Q/P	320.19	21.64	8.11	341.83	8.11	Sp/Sq	0.13	0.00	0.00	2.07	0.41	0.14	Q/P

Součet tlakových ztrát vlivem dvojcestných rozboček a oblouků na jedné větvi pro 56% současnost chodu strojů je stanoven v tab. 14. Označení pro tuto tabulku je identické s tab.10.

Tabulka 26 – Tlakové ztráty větvi vzniklé změnou směru, nebo spojením proudů pro 56% chod strojů

Větev	Tlakové ztráty na větvi vlivem oblouků a přípojek						Celkové ztráty obl. a přípoj. [Pa]
1	A	A/B- p	C/F -p	G/M-p	N/J -p	O/P-P	386.58
	23.19	203.15	73.64	25.62	52.86	8.11	
2	A/B - b	C/F -p	G/M-p	N/J -p	O/P-P	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
3	E/D - b	C/F-b	G/M-p	N/J -p	O/P-P	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
4	E/D - p	C/F-b	G/M-p	N/J -p	O/P-P	406.36	
	222.12	97.65	25.62	52.86	8.11		
5	K/L -b	G/M - b	N/J -p	O/P-P	0.00		
	0.00	0.00	0.00	0.00			
6	K/L -b	G/M - b	N/J -p	O/P-P	25.89		
	30.43	-65.51	52.86	8.11			
7	H/L -b	N/J -b	O/P-P	72.50			
	0.00	64.40	8.11				
8	H/L -p	N/J -b	O/P-P	0.00			
	0.00	0.00	0.00				
9	P	O/P-b	365.02				
	23.19	341.83					

4.6.3 Výpočet celkové tlakové ztráty větvi a velikost doškrcení

Výpočet celkové tlakové ztráty pro jednotlivé větve je popsán u tab.11. V tab.23 jsou zobrazeny vypočtené hodnoty po situaci 56% současnosti chodu strojů. Hlavní větví se stává větev 4 (má největší tlakovou ztrátu).

Tabulka 27 – Celkové tlakové ztráty při 57% chodu strojů

Celkové tlakové ztráty větví																	
Větev	Úseky cest						Délka cesty	Celková délka cesty	Tlaková ztráta	Max. tlaková ztráta rovného potrubí	Tlaková ztráta vlivem změny směru	Tlaková ztráta přírodních hadic	Tlaková ztráta elementu na konci	Celková tlaková ztráta	Max. celková tlaková ztráta	Doškrvení na klapce	
[-]	[-]						[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	
1	A	C	G	N	O	Q	17.5	17.53	168.80	183.31	386.58	151.44	61.83	768.65	854.67	86.02	
2	B	C	G	N	O	Q	16.7		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
3	D	F	G	N	O	Q	15.9		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
4	E	F	G	N	O	Q	16.5		183.31		406.36	196.54	68.46	854.67		0.00	
5	K	M	N	O	Q		13.5		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
6	L	M	N	O	Q		13.5		127.21		25.89	196.54	68.46	418.10		436.57	
7	H	J	O	Q			13.5		102.77		72.50	114.01	58.22	347.50		507.17	
8	I	J	O	Q			13.6		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	
9	P	Q					10.3		155.76		365.02	151.44	92.75	764.97		89.70	

4.6.4 Zhodnocení 55% současnosti chodu strojů

Pro čtyři vypnuté stoje z devíti se dostáváme na hranici počtu vypnutých strojů, při které se dají splnit požadavky na soustavu. Vypnuli se stroje ležící na úseku B, D, I a K. Pro tuto situaci se nezmění hlavní větev, pouze bude nutné přeregulovat systém na nově vzniklou maximální tlakovou ztrátu 855 Pa. Systém přestává být regulovatelný, protože při vypnutí jakékoliv kombinace čtyř strojů se musí celá soustava znovu zregulovat (za předpokladu, že se vypnou čtyři stroje v systému, může vzniknout 125 rozdílných situací [9]).

4.7 Výpočet tlakových ztrát potrubím při 44% současnosti chodu strojů

V následující části je proveden rozbor pro případ, kdy je odstaveno pět strojů z devíti, tedy 44% současnost chodu strojů.

4.7.1 Vypočtené hodnoty pro jednotlivé úseky

V tab. 28 jsou vypočteny hodnoty tlakové ztráty třením jednotlivých úseků na větví, tlaková ztráta sacího elementu na vstupu u stroje a tlaková ztráta přípojné hadice. Dále jsou v ní vypočteny rychlosti v jednotlivých úsecích.

Tabulka 28 – Vypočtené hodnoty potrubní sítě pro 44% chod strojů

Návrh vzduchotechnické sítě pro 44% chod strojů															
Chod stroje	Úsek	D	S	L	V	V	Wvýp	Pd	Re	λ	Součinitel tlakové ztráty	Tlakové ztráty na 1m potrubí	Tlakové ztráty úseků	Tlaková ztráta přívodních hadic	Tlaková ztráta elementu
%	[-]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³ /h]	[m ³ /s]	[m/s]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[Pa/m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
100	A	0.1	0.00785	2.53	453.6	0.126	16.05	154.58	110696.24	0.02	0.40	37.86	95.77	151.44	61.83
0	B	0.1	0.00785	1.68	453.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	C	0.14	0.01539	1.34	453.6	0.126	8.19	40.24	79068.75	0.02	0.00	7.08	9.48	0.00	0.00
0	D	0.08	0.00502	1.74	288	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	E	0.08	0.00502	2.34	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	114.82	196.54	68.46
100	F	0.11	0.0095	0.49	288	0.08	8.42	42.56	63893.94	0.03	0.00	10.04	4.94	0.00	0.00
100	G	0.18	0.02543	3.89	741.6	0.206	8.10	39.36	100544.21	0.02	0.00	5.08	19.77	0.00	0.00
100	H	0.125	0.01227	1.30	705.6	0.196	15.98	153.21	137755.33	0.02	0.38	28.50	37.05	114.01	0.00
0	I	0.125	0.01227	1.42	705.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.46
100	J	0.16	0.0201	3.00	705.6	0.196	9.75	57.07	107621.35	0.02	0.00	8.33	24.96	0.00	0.00
0	K	0.08	0.00502	1.10	288	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.22
100	L	0.08	0.00502	1.17	288	0.08	15.92	152.14	87854.16	0.03	0.45	49.13	57.49	196.54	0.00
100	M	0.11	0.0095	2.58	288	0.08	8.42	42.56	63893.94	0.03	0.00	10.04	25.93	0.00	0.00
100	N	0.2	0.0314	0.55	1029.6	0.286	9.11	49.78	125631.45	0.02	0.00	5.56	3.03	0.00	0.00
100	O	0.25	0.04906	2.23	1735.2	0.482	9.82	57.91	169382.82	0.02	0.00	4.86	10.85	0.00	0.00
0	P	0.1	0.00785	3.32	453.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	Q	0.28	0.06154	7.00	1735.2	0.482	7.83	36.80	151234.66	0.02	0.00	2.76	19.35	0.00	0.00

4.7.2 Výpočet tlakových ztrát vlivem přípojek a změny směru

V tab. 29 jsou stanoveny jednotlivé místní tlakové ztráty vlivem přípojek a změny směru. Dále součinitele místních tlakových ztrát použitých pro výpočet daných tlakových ztrát. Značení je shodné jako u tab. 9.

Tabulka 29 – Tlakové ztráty přípojek a změny směru pro 44% chod strojů

Tlakové ztráty jednotlivých elementů (přípojek a oblouků)													
Změna směru	Pb1	Pb2 oblouk	Pp	Pbc	Ppc	Sb/S		B	P	ξ_b	ξ_P	ξ_v	Změna směru
[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
A	0.00	0.00	23.19	0.00	23.19	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	A
A/B	0.00	0.00	203.15	0.00	203.15	Sb/Sc	0.51	0.00	0.40	1.78	1.31	0.15	A/B
C/F	91.69	5.96	67.68	97.65	73.64	Sf/Sd	0.37	0.00	0.45	2.15	1.72	0.14	C/F
D/E	0.00	0.00	222.12	0.00	222.12	Sd/Sf	0.53	0.00	0.46	5.38	1.46	0.14	D/E
K/L	0.00	0.00	30.43	0.00	30.43	Vb/V	1.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	K/L
G/M	-65.51	5.96	25.62	-65.51	25.62	Sm/Sn	0.30	0.00	0.14	-1.54	0.65	0.14	G/M
H/i	0.00	0.00	30.64	0.00	30.64	Vb/V	1.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	H/i
N/J	56.40	7.99	52.86	64.40	52.86	Sj/So	0.41	0.00	0.30	0.99	1.06	0.14	N/J
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	P
Q/P	0.00	0.00	8.11	0.00	8.11	Sp/Sq	0.13	0.00	0.00	-0.36	0.07	0.14	Q/P

Součet tlakových ztrát vlivem dvojcestných rozboček a oblouků na jedné větvi pro 44% současnost chodu strojů je stanoven v tab. 14. Označení pro tuto tabulku je identické s tab.10.

Tabulka 30 – Tlakové ztráty větvi vzniklé změnou směru, nebo spojením proudů pro 44% chod strojů

Větev	Tlakové ztráty na větvi vlivem oblouků a přípojek						Celkové ztráty obl. a přípoj. [Pa]
1	A	A/B- p	C/F -p	G/M-p	N/J -p	O/P-P	386.58
	23.19	203.15	73.64	25.62	52.86	8.11	
2	A/B - b	C/F -p	G/M-p	N/J -p	O/P-P	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
3	E/D - b	C/F-b	G/M-p	N/J -p	O/P-P	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
4	E/D - p	C/F-b	G/M-p	N/J -p	O/P-P	406.36	
	222.12	97.65	25.62	52.86	8.11		
5	K/L -b	G/M - b	N/J -p	O/P-P	25.89		
	30.43	-65.51	52.86	8.11			
6	K/L -b	G/M - b	N/J -p	O/P-P	0.00		
	0.00	0.00	0.00	0.00			
7	H/L -b	N/J -b	O/P-P	72.50			
	0.00	64.40	8.11				
8	H/L -p	N/J -b	O/P-P	0.00			
	0.00	0.00	0.00				
9	P	O/P-b	0.00				
	0.00	0.00					

4.7.3 Výpočet celkové tlakové ztráty větvi a velikost doškrcení

Celková tlaková ztráta na větvi je vypočtena sečtením všech tlakových ztrát, které se vyskytují na dané větvi. V tab. 31 jsou spočítány celkové tlakové ztráty jednotlivých větví. Hlavní větví se stává větev 4 (má největší tlakovou ztrátu) a zbývající větve se musí doškrtit na tuto hodnotu maximální tlakové ztráty.

Tabulka 31 – Celkové tlakové ztráty při 44% chodu strojů

Celkové tlakové ztráty větví																	
Větev	Úseky cest						Délka cesty	Celková délka cesty	Tlaková ztráta	Max. tlaková ztráta rovného potrubí	Tlaková ztráta vlivem změny směru	Tlaková ztráta přívodních hadic	Tlaková ztráta elementu na konci	Celková tlaková ztráta	Max. celková tlaková ztráta	Doškrvení na klapce	
[-]	[-]						[m]	[m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	
1	A	C	G	N	O	Q	17.5	17.53	158.24	172.75	386.58	151.44	61.83	758.10	844.11	86.02	
2	B	C	G	N	O	Q	16.7		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
3	D	F	G	N	O	Q	15.9		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
4	E	F	G	N	O	Q	16.5		172.75		406.36	196.54	68.46	844.11		0.00	
5	K	M	N	O	Q		13.5		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
6	L	M	N	O	Q		13.5		116.65		25.89	196.54	68.46	407.54		436.57	
7	H	J	O	Q			13.5		92.21		72.50	114.01	58.22	336.94		507.17	
8	I	J	O	Q			13.6		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	
9	P	Q					10.3		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00

4.7.4 Zhodnocení 44% současnosti chodu strojů

Vzniklá situace se nedá regulovat tak, aby byly splněny zadané parametry. Rychlost v úseku Q poklesne pod 8 m/s a způsobí tak usazování částic v potrubním systému (za předpokladu, že se vypne pět strojů v systému, může vzniknout 125 rozdílných situací[9]).

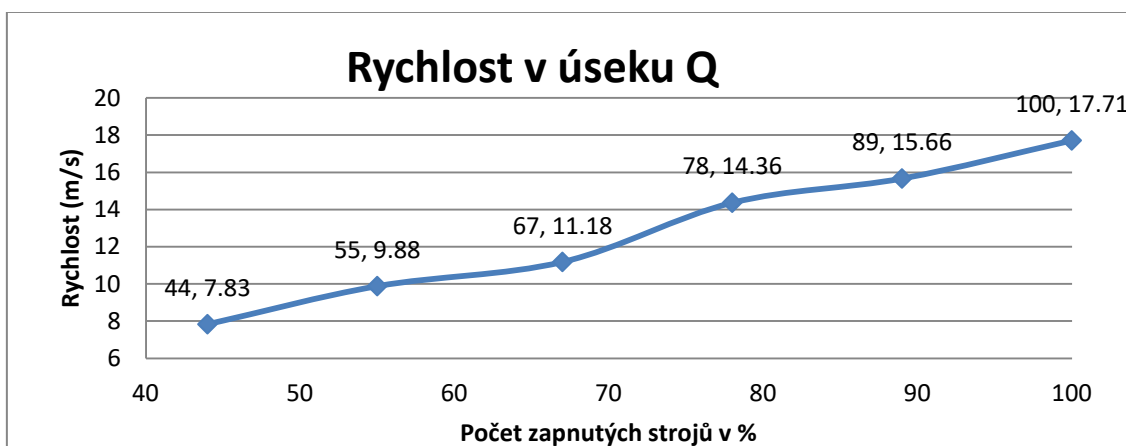
5. Závěr první části

V tabulkách 32 a 33 je červeně zobrazena rychlost pod 8 m/s, tedy stav, který nevyhovuje zadání, oranžově jsou znázorněny rychlosti blízké 8 m/s a hrozí u nich usazování částic v potrubí, žlutou barvou jsou znázorněny méně kritické rychlosti.

V systému je mnoho kombinací pro zapojení. Tabulky 32 a 33 nezobrazují veškeré možnosti odstavování strojů pro tento systém (slouží pouze pro zobrazení nejkritičtějšího místa).

Tabulka 32 – Pokles rychlosti pro úsek Q

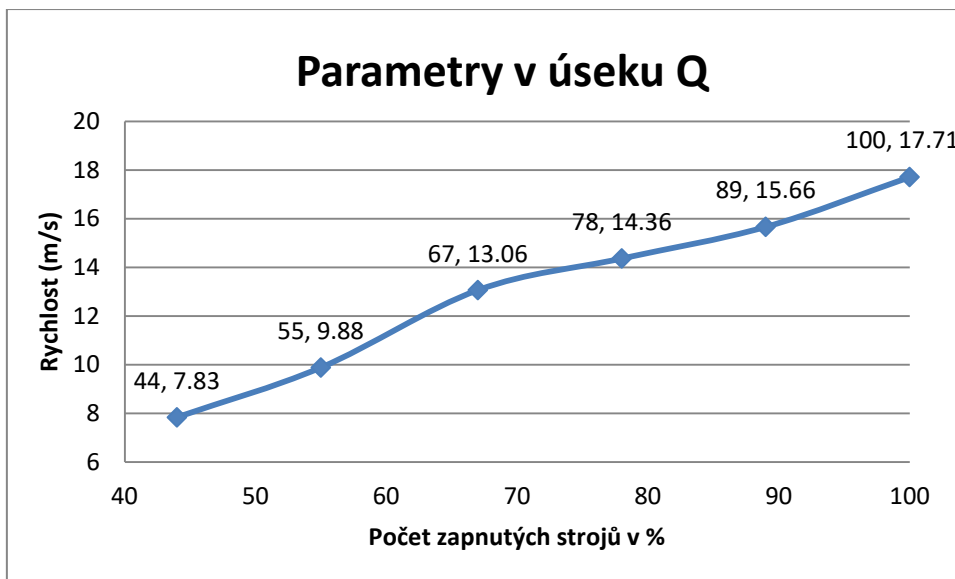
Příklad poklesu rychlosti na zvoleném úseku Q												
Úsek	100 %		89 %		78 %		67 %		56 %		44 %	
	Chod stroje	Wvýp	Chod stroje	Wvýp	Chod stroje	Wvýp	Chod stroje	Wvýp	Chod stroje	Wvýp	Chod stroje	Wvýp
	%	[m/s]	%	[m/s]	%	[m/s]	%	[m/s]	%	[m/s]	%	[m/s]
A	100	16.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	100	16.05	100	16.05	100	16.05	100	16.05	100	16.05	100	16.05
C	100	16.38	100	8.19	100	8.19	100	8.19	100	8.19	100	8.19
D	100	15.92	100	15.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92
F	100	16.84	100	16.84	100	8.42	100	8.42	100	8.42	100	8.42
G	100	16.20	100	11.24	100	8.10	100	8.10	100	8.10	100	8.10
H	100	15.98	100	15.98	100	15.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I	100	15.98	100	15.98	100	15.98	100	15.98	100	15.98	100	15.98
J	100	19.51	100	19.51	100	19.51	100	9.75	100	9.75	100	9.75
K	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92	0.00	0.00	0.00	0.00
L	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92
M	100	16.84	100	16.84	100	16.84	100	16.84	100	8.42	100	8.42
N	100	18.22	100	14.20	100	11.66	100	11.66	100	9.11	100	9.11
O	100	19.65	100	17.08	100	15.45	100	11.45	100	9.82	100	9.82
P	100	16.05	100	16.05	100	16.05	100	16.05	100	16.05	0.00	0.00
Q	100	17.71	100	15.66	100	14.36	100	11.18	100	9.88	100	7.83



Obrázek 7 – Pokles rychlosti v potrubním úseku Q

Tabulka 33 – Pokles rychlosti pro úsek Q

Příklad poklesu rychlosti na zvoleném úseku Q												
Úsek	100 %		89 %		78 %		67 %		55 %		44 %	
	Chod stroje	Wvýp	Chod stroje	Wvýp	Chod stroje	Wvýp	Chod stroje	Wvýp	Chod stroje	Wvýp	Chod stroje	Wvýp
	%	[m/s]	%	[m/s]	%	[m/s]	%	[m/s]	%	[m/s]	%	[m/s]
A	100	16.05	100	16.05	100	16.05	100	16.05	100	16.05	100	16.05
B	100	16.05	100	16.05	100	16.05	100	16.05	100	16.05	0.00	0.00
C	100	16.38	100	16.38	100	16.38	100	16.38	100	16.38	100	8.19
D	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92
E	100	15.92	100	15.92	100	15.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	100	16.84	100	16.84	100	16.84	100	8.42	100	8.42	100	8.42
G	100	16.20	100	16.20	100	16.20	100	13.05	100	13.05	100	8.10
H	100	15.98	100	15.98	100	15.98	100	15.98	0.00	0.00	0.00	0.00
I	100	15.98	100	15.98	100	15.98	100	15.98	100	15.98	100	15.98
J	100	19.51	100	19.51	100	19.51	100	19.51	100	9.75	100	9.75
K	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92	100	15.92
L	100	15.92	100	15.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M	100	16.84	100	16.84	100	8.42	100	8.42	100	8.42	100	8.42
N	100	18.22	100	18.22	100	15.67	100	13.12	100	13.12	100	9.11
O	100	19.65	100	19.65	100	18.02	100	16.39	100	12.39	100	9.82
P	100	16.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q	100	17.71	100	15.66	100	14.36	100	13.06	100	9.88	100	7.83



Obrázek 8 – Pokles rychlosti v potrubním úseku Q

Potrubní síť je navržena na ideální chod, což je 100% současnosti chodu strojů. S každým dalším vypnutím některého ze strojů se zhoršují vlastnosti tohoto systému. Pokud by rychlost klesla pod 8 m/s, hrozí usazování částic v potrubí (tato hodnota je zjištěna ze zkušeností). Tento stav se začíná projevovat již při vypnutí jednoho stroje (rychlost v blízkém potrubí rapidně klesne viz. tab. 32. V tab. 33 a 32 lze vidět situaci, kdy se vypne pět náhodně zvolených strojů (tj. 44% chod soustavy). Nastává situace, kdy rychlost v potrubí klesne pod 8 m/s, a riziko usazování částic v potrubí narůstá. S každým dalším vypnutím odsávání se tato situace výrazně zhorší a to nejen v úseku Q, pro který je zvolen tento příklad.

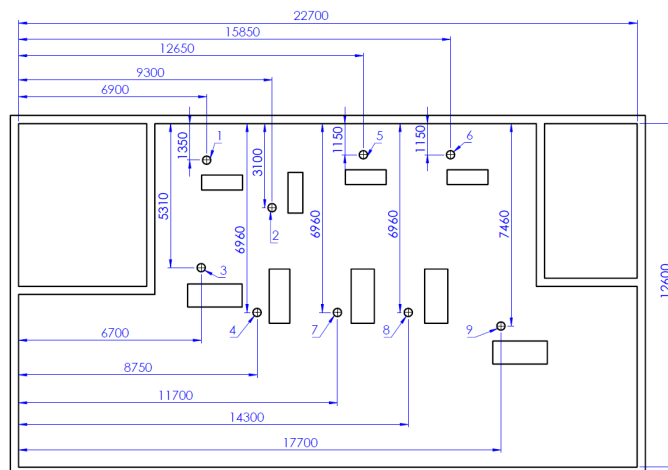
6. Systém s komorou stálého statického podtlaku

6.1 Zadané parametry

Výstupní hodnoty od strojů jsou shodné s předchozí variantou (tj. pro systém s centrální větví a jsou zobrazeny v tab. 34 a obr. 9)

Tabulka 34 – Zadané parametry pro směšovací komoru

Stroj	D	v	Součinitel tlakové ztráty
	[m]	[m ³ /s]	[-]
1	0.1	0.126	0.4
2	0.1	0.126	0.4
3	0.08	0.08	0.45
4	0.08	0.08	0.45
5	0.125	0.196	0.38
6	0.125	0.196	0.38
7	0.08	0.08	0.45
8	0.08	0.08	0.45
9	0.1	0.126	0.6



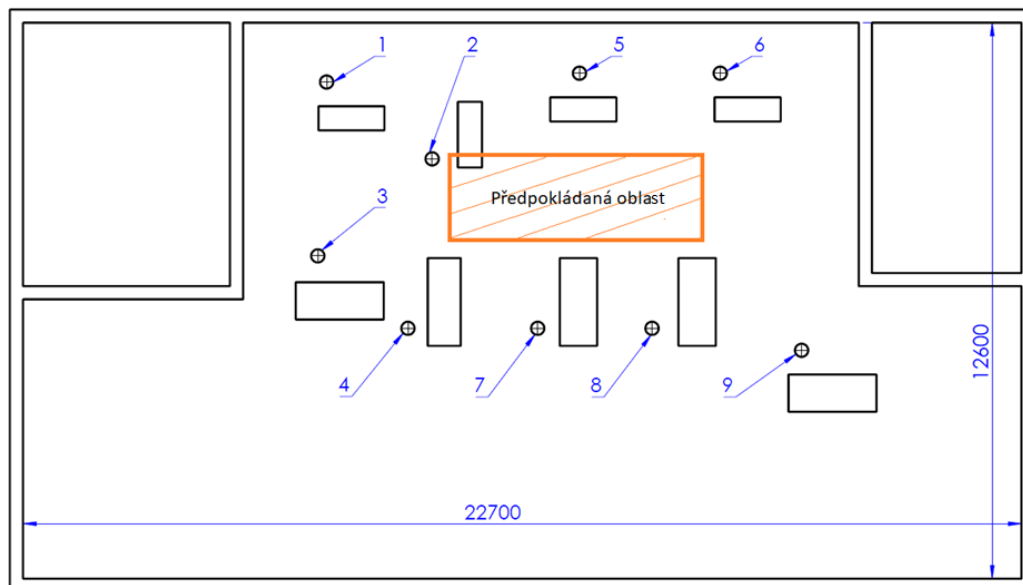
Obrázek 9 – Zadané parametry potrubní sítě pro směšovací komoru

6.2 Analýza související úpravy systému a volba alternativy

Centrální systém se nahradí systémem se směšovací komorou, který bude při odstávce některého ze strojů udržovat neměnný odsávaný průtok od ostatních strojů. Nejlepší umístění komory stálého statického podtlaku je uprostřed haly.

6.2.1 Dispoziční změny

Směšovací komora musí být umístěna co nejvíce uprostřed dané odsávací soustavy a zároveň musí být zajištěn prostor pod výsypkou směšovací komory tak, aby bylo možné odstranit usazené velké nečistoty. Předpokládané umístění komory je na obr. 10. Další změna je v možnosti umístění vzduchotechnického zařízení. Systém se směšovací komorou nám umožňuje téměř libovolné umístění vzduchotechnické jednotky.



Obrázek 10 – Vhodná oblast pro umístění směšovací komory

6.3 Funkce systému se směšovací komorou

Do vzduchotechnické sítě se umístí box, který nazýváme směšovací komorou. Do této komory jsou svedeny veškeré větve. Vzduchotechnická síť má za účel odvod jemného prachu od strojů a zároveň udržovat konstantní odsávaný průtok od všech strojů tak, aby při jakémkoliv zásahu do sítě (odstavení libovolných strojů z provozu) nedocházelo k výrazné změně odsávaného průtoku od strojů.

Princip komory stálého statického podtlaku

Jestliže je odsávací potrubí od obráběcích strojů napojeno do směšovací komory, kde dochází k poklesu dynamického tlaku pod zanedbatelnou hodnotu, která je cca 5 % původní hodnoty dynamického tlaku, potom platí pro celkový podtlak v komoře:

$$\Delta P_c \approx \Delta P_s \quad (11)$$

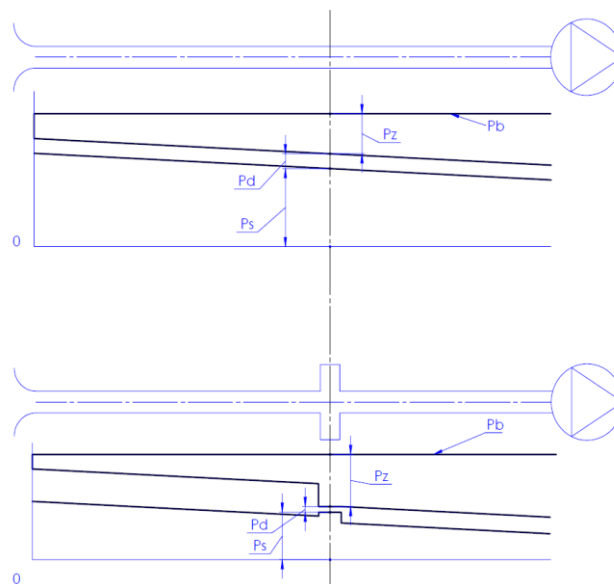
Potom pro tlakové ztráty odsávacího potrubí zapojeného do komory platí:

$$\Delta P_z = \Delta P_c \approx \Delta P_s \quad (12)$$

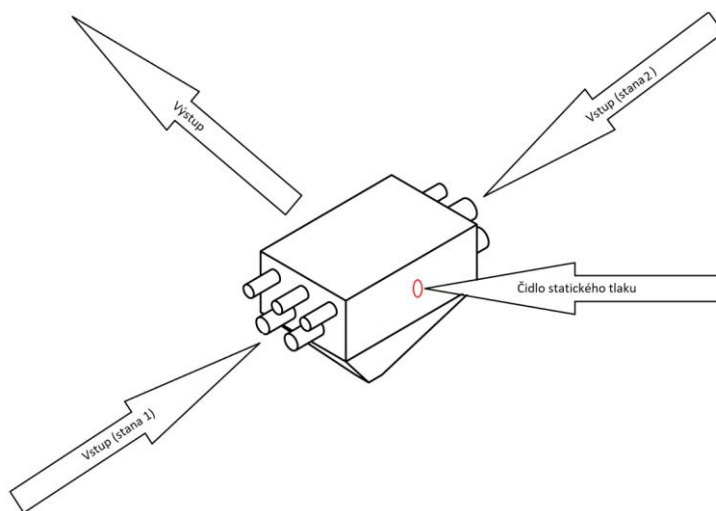
Za předpokladu, že se udržuje v komoře konstantní statický podtlak, zůstává u všech zapojených potrubí do směšovací komory konstantní odsávaný průtok.

Na obr. 11 je symbolicky znázorněn průběh tlaků se směšovací komorou a bez směšovací komory. Lze si všimnout, že dynamický tlak vlivem rozšíření potrubí (směšovací komory) prudce klesl, zatímco statický tlak vykazuje nárůst. Tyto dvě hodnoty se sobě téměř rovnají viz rovnice 12.

V situaci, kdy se vypne jeden nebo více strojů, je zapotřebí reagovat změnou velikosti odsávaného průtoku. Pro změření velikosti odsávaného průtoku je umístěno čidlo statického podtlaku v komoře, které informuje ventilátor o dané situaci (ventilátor změnou otáček zvýší/zmenší odsávaný průtok z komory). Čidlo statického podtlaku musí být umístěno tak, aby vystupující proud vzduchu z komory co nejméně ovlivňoval tento senzor. Proto se umístí na opačnou stěnu komory, než je výstup proudu vzduchu z komory, jak je znázorněno na obr. 12.



Obrázek 11 – Průběh tlaků v komoře



Obrázek 12 – Směšovací komora

Na následujícím příkladu je popsána situace při vypnutí některého ze strojů:

- průtok v jednotlivých větvích se zvýší
- dojde k nárůstu tlakových ztrát jednotlivých větví
- zvýší se statický podtlak v komoře
- regulační zásah (údaj z regulačního čidla statického tlaku v komoře bude informovat motor, aby se snížily otáčky ventilátoru, tím dojde ke snížení průtoku na novou hodnotu)
- ustálení na stanoveném podtlaku v komoře [7]

6.4 Teorie k výpočtu

Pomocí standardního postupu stanovíme celkovou tlakovou ztrátu jednotlivých větví (teorie k výpočtu je rozepsána v první části v kapitole 3).

6.5 Návrh směšovací komory

6.5.1 Hodnoty vstupující do směšovací komory

Do komory stálého statického podtlaku (směšovací komory) vstupují stejné hodnoty, jaké jsou zadané, tj. potrubí je vedeno samostatně až do směšovací komory. V tab. 34 jsou stanoveny hodnoty, které vstupují do komory a jsou shodné se zadanými hodnotami.

Tabulka 34 – Hodnoty vstupující do směšovací komory

Stroj [-]	D [m]	S [m ²]	V [m ³ /s]	Wvýp [m/s]
1	0.10	0.00785	0.126	16.1
2	0.10	0.00785	0.126	16.1
3	0.08	0.00502	0.080	15.9
4	0.08	0.00502	0.080	15.9
5	0.125	0.01227	0.196	16.0
6	0.125	0.01227	0.196	16.0
7	0.08	0.00502	0.080	15.9
8	0.08	0.00502	0.080	15.9
9	0.10	0.00785	0.126	16.1

6.5.2 Stanovení rozměrů směšovací komory

Do směšovací komory bude napojeno celkem 9 větví. Čtyři větve budou připojeny na jednu stranu a pět větví se připojí na protější stranu. Rozdělení větví, které budou vstupovat do jednotlivých stěn komory je zapsáno v tab. 35. Rozdělení proběhlo tak, aby se střední rychlost spojených proudů z větví na jedné a druhé straně komory (při 100% chodu strojů) co nejvíce rovnaly.

Tabulka 35 – Vstupy do směřovací komory

	Stroj	V [m ³ /s]	Vc [m/s]		Stroj	V [m ³ /s]	Vc [m/s]
1. stěna směřovací komory	1	0.126	0.492	2. stěna směřovací komory	5	0.196	0.598
	2	0.126			6	0.196	
	3	0.08			8	0.08	
	4	0.08			9	0.126	
	7	0.08					

Uvažujeme-li, že hodnota dynamického tlaku v průtočném průřezu bude mít 5% hodnotu ze své původní velikosti pro maximální objemový průtok, pak tento dynamický tlak budeme uvažovat za statický tlak s přijatelnou chybou.

$$V_{max} = 16,1 \text{ m/s}$$

$$P_D = 155,5 \text{ Pa}$$

$$P_{D5\%} \cong P_s = 0,05 \cdot 155,5 = 7,8 \text{ Pa}$$

Abychom byly na straně bezpečnosti, zvolíme 5 Pa.

Maximální rychlosti v průtočném průřezu komory pak činí

$$V = \sqrt{\frac{P_{Dmax} \cdot 2}{\rho}} = 2,88 \text{ m/s}$$

Rozměry směřovací komory

$$\frac{\sum V_i}{S} = 2,88 \rightarrow S_1 = 0,17 \text{ m}^2; S_2 = 0,21 \text{ m}^2$$

6.5.3 Rychlost ve směřovací komoře

Zvolil jsem velikost komory tak, aby byla na straně bezpečnosti (větší), to nám zajistí, že dynamický tlak v komoře bude ještě menší. Zvolené rozměry jsou stanoveny v tab. 36 a jsou navrženy s dispozičním zohledněním v prostoru. Další prvek, který vstupuje do volby rozměru je průměr vytékajícího proudu vzduchu ve zvolené vzdálenosti od okraje stěny komory (proudy by se neměly ovlivňovat, aby nedocházelo například k přísávání z jiné větve).

Tabulka 36 – Rychlost ve směřovací komoře z první a druhé strany

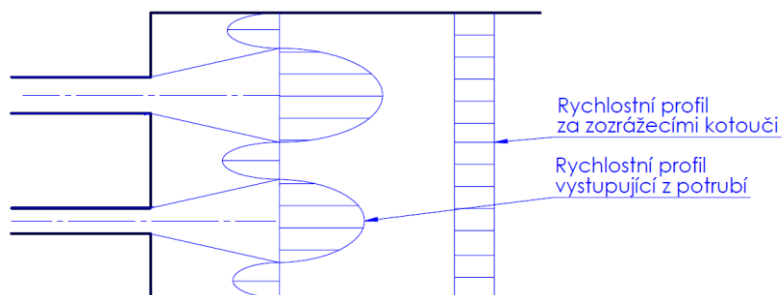
	[m]	S [m ²]	Wvýps1 [m/s]	Wvýps2 [m/s]	Pd1 [Pa]	Pd2 [Pa]
Š	0.65	0.26	1.9	2.3	2.14	3.17
V	0.4					

Kde: Wvýps1 [m/s] je rychlost ze směru stěny jedna; Wvýps2 [m/s] je rychlost ze směru stěny dva; Pd1 [Pa] je dynamický tlak ze směru jedna; Pd2 [Pa] je dynamický tlak ze směru dva; Š [m] je šířka; V [m] je výška

6.5.4 Rozbití proudu vzduchu

Do proudu vzduchu, který vytéká z potrubí, se umístí rozrážecí kotouč, který bude mít za úkol zrovnoměřit rychlostní profil v komoře obr. 13. Pokud by zde nebyl vložen rozrážecí kotouč, musela by směšovací komora být mnohem delší tak, aby se vyrovnal rychlostní profil v komoře.

Rozrážecí kotouč musí být minimálně stejně velký jako je předpokládaný průměr proudu vzduchu ve vzdálenosti umístění rozrážecího kotouče. Dalším omezením je minimální vzdálenost proudu vzduchu od vstupu do směšovací komory. Vzdálenost by měla být alespoň 4-6 průměrů vstupujícího potrubí, aby nedocházelo ke zbytečným tlakovým ztrátám ze vstupu do směšovací komory. Výchozí a zvolené hodnoty pro vzdálenost umístění rozrážecích kotoučů jsou stanoveny v tab. 37.



Obrázek 13 – Znázornění rychlostního profilu ve směšovací komoře

Tabulka 37 – Vzdálenost umístění rozrážecího kotouče

		L min.	L zvoleno
		[mm]	
D100	[mm]	400	500
D80	[mm]	320	500
D125	[mm]	500	500

Kde: L [mm] je vzdálenost od vstupního bodu; D [mm] je průměr potrubí

6.5.5 Velikost rozrážecího kotouče

Uvažujeme volný výtok z potrubí do směšovací komory bez přísávání vzduchu s úhlem rozptylu 25° ve vzdálenosti L=500 mm od vstupu proudů do komory. V tab. 38 je stanoveno, jak široký by byl proud vzduchu vytékající teoreticky do volného prostoru ve vzdálenosti umístění rozrážecího kotouče.

Tabulka 38 – Orientační průměr rozšířeného proudu ve vzdálenosti 500 mm

l	[mm]	500.0
D+	[mm]	221.7
D	100.0 [mm]	321.7
xk	[mm]	1240
D	80.0 [mm]	301.7
xk	[mm]	992
D	125.0 [mm]	346.7
xk	[mm]	1550

Hodnota x_k v tab. 38 je uvedena pouze pro představu, v jaké vzdálenosti by bylo nejlepší umístit rozrážecí kotouč, z důvodu velikosti tlakových ztrát. Takovou vzdálenost nemůžeme uvažovat z prostorových důvodů.

Na základě tab.38 se zvolí potřebný průměr rozrážecího kotouče a tyto rozměry jsou zobrazeny v tab. 39:

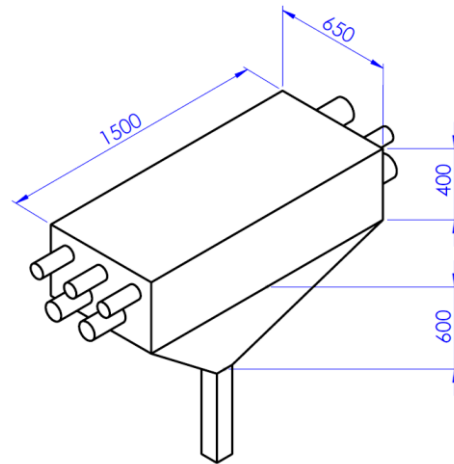
Tabulka 39 – Velikost rozrážecího elementu

D potrubí	80	100	125	[mm]
D zd500	301	321.7	346.7	[mm]
D zvolený	310.0	330.0	360.0	[mm]

6.5.6 Celkové rozměry směšovací komory

Průtočný průřez je již stanovený. Délka komory se musí zvolit z těchto parametrů:

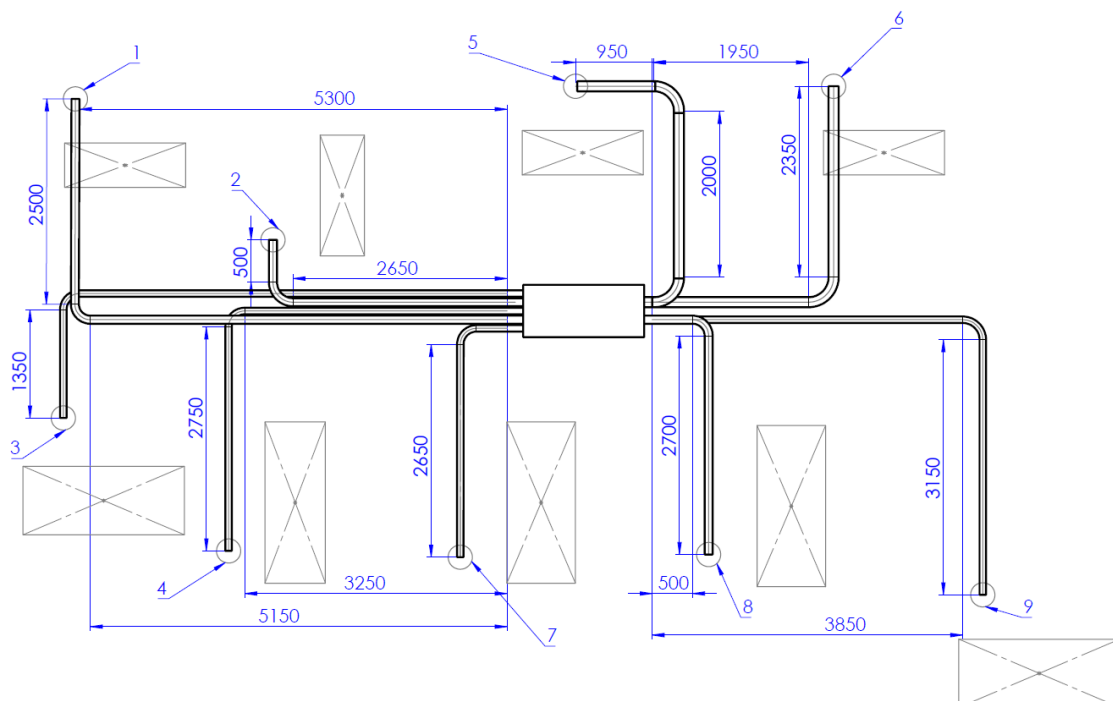
1. Proudů vstupujících do komory z jednotlivých stěn komory by se neměly ovlivňovat.
2. Prostor pro umístění čidla statického tlaku (tak, aby odsávaný průtok co nejméně ovlivňoval toto čidlo).
3. Prostor pro umístění výsypky ve spodní části komory.



Obrázek 14 – Rozměry směšovací komory

Po uvážení těchto parametrů se zvolila celková délka směšovací komory 1,5 m, obr. 15. Mezi rozrážecími kotouči proudů vzduchu na jedné a druhé straně je 500 mm. Pokud by se za provozu zjistilo, že čidlo je značně ovlivněno proudem vzduchu, je možné tuto hodnotu zvětšit.

6.6 Umístění směšovací komory



Obrázek 15 – Rozměry potrubní sítě pro směšovací komoru

Směšovací komora by měla být umístěna s ohledem na celkové tlakové ztráty jednotlivých větví tak, aby se zbývající větve mohly doškrtnit o co nejmenší hodnotu. Musíme brát v úvahu i prostorové možnosti haly (pod komorou stálého statického tlaku musí být prostor pro nádobu, do které se budou usazovat velké částice vzniklé při obrábění). Dalším parametrem je celkový objemový průtok z jedné strany komory a druhé strany komory. Snaha by měla vést k vyváženým hodnotám z jedné a druhé strany. Zvolené umístění vůči strojům je zobrazeno na obr. 14.

6.6.1 Délka potrubí

Pro tento případ umístění směšovací komory je délka jednotlivých úseků názorně zobrazena na obr. 14, ze kterého lze stanovit jednotlivé délky větví vedoucí do směšovací komory. Celková délka jednotlivých větví je zobrazena v tab. 40:

Tabulka 40 – Délka potrubních větví pro směšovací komoru

		L [m]	Lc [m]
1.stěna	1	2.50	8.32
		5.15	
		0.20	
		r 0.47	
	2	0.50	3.82
		2.65	
		0.20	
		r 0.47	
	3	1.35	7.23
		5.30	
		0.20	
		r 0.38	
	4	2.75	6.58
		3.25	
		0.20	
		r 0.38	
7	2.65	3.53	
	0.30		
	0.20		
	r 0.38		
2.stěna	5	0.95	2.43
		0.20	
		0.10	
		r 0.59	
	6	1.95	4.40
		2.35	
		0.10	
		r 0.59	
	8	0.50	3.30
		2.70	
		0.10	
		r 0.38	
9	3.15	7.10	
	3.85		
	0.10		
	r 0.38		

6.7 Vlastnosti potrubního systému

Pevná potrubní síť je tvořena pouze přímými úseky a oblouky o 90°. Výpočet je rozdělen na dvě části a to na výpočet místních tlakových ztrát vlivem změny směru a na výpočet třecích tlakových ztrát.

6.7.1 Vzorový výpočet pro větev 1:

Stanovení průřezové plochy potrubních úseků:

$$S_A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} = 0,0079 \text{ m}^2$$

Stanovení celkové délky potrubí:

Viz obr. 14

Větev 1 je složena z úseků A, B, C a r o rozměrech:

$$A = 2,5 \text{ m}; \quad B = 5,15 \text{ m}; \quad C = 0,2 \text{ m}; \quad r = 0,38 \text{ m}$$

Celková délka větve 1 :

$$L = A + B + C + r = 2,5 + 5,150 + 0,2 + 0,38 = 8,32 \text{ m}$$

Stanovení rychlosti průtoku:

$$w = \frac{S_1}{V_1} = \frac{0,079}{0,126} = 16,05 \text{ m/s}$$

Stanovení Reynoldsova čísla:

$$Re_1 = \frac{D_A \cdot w_A}{\nu} = \frac{0,1 \cdot 16,05}{1,45 \cdot 10^{-5}} = 110\,696$$

Stanovení součinitele třecí (tlakové) ztráty:

$$\lambda = \frac{0,0812}{Re_1^{0,125} \cdot D_1^{0,11}} = \frac{0,0812}{110696^{0,125} \cdot 0,1^{0,11}} = 0,024$$

Stanovení ztráty pro potrubí:

$$P_{D1} = \lambda \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \rho \cdot \frac{w_1^2}{2} = 0,024 \cdot \frac{8,32}{0,1} \cdot 1,2 \cdot \frac{16,05^2}{2} = 315,04 \text{ Pa}$$

Stanovení součinitele lokální (tlakové) ztráty pro změnu směru:

Tento součinitel je odečten pro hodnotu 90°

$$\xi_{ZA} = 0,15[-]$$

Stanovení lokální tlakové ztráty pro změnu směru:

$$P_{L1} = \xi_{ZA} \cdot \rho \cdot \frac{w_1^2}{2} = 0,15 \cdot 1,2 \cdot \frac{16,05^2}{2} = 23,19 \text{ Pa}$$

Stanovení tlakové ztráty ohebné hadice:

$$P_{had} = 2 \cdot \lambda \cdot \frac{L_{had}}{D_A} \cdot \rho \cdot \frac{u_A^2}{2} = 2 \cdot 0,024 \cdot \frac{2}{0,1} \cdot 1,2 \cdot \frac{16,05^2}{2} = 151,44 \text{ Pa}$$

Stanovení součinitele tlakové ztráty pro sací zákryt:

Tento součinitel je odečten ze zadaných hodnot

$$\xi_{zA} = 0,4$$

Stanovení tlakové ztráty pro sacího zákrytu:

$$P_A = \xi_{zA} \cdot \rho \cdot \frac{w_A^2}{2} = 0,4 \cdot 1,2 \cdot \frac{16,05^2}{2} = 61,83 \text{ Pa}$$

Stanovení celkové tlakové ztráty větve I :

$$P_{celk} = \sum P = P_{D1} + P_{L1} + P_{had} + P_{konc} + P_{výtok} = 315,04 + 23,19 + 151,44 + 61,83 + 154,58 \\ = 706,08 \text{ Pa}$$

6.7.2 Výpočet tlakové ztráty změnou směru

Potrubní síť je složena z mnoha oblouků. V tab. 41 je vypsán počet oblouků, ze kterých jsou jednotlivé větve tvořeny a jejich místní tlakové ztráty.

Tabulka 41 – Výpočet tlakové ztráty změnou směru

Stroj	Součinitel místní tlakové ztráty ξ	Počet odbočení	Tlaková ztráta odbočením	Tlaková ztráta odbočením
[-]	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]
1	0.15	1	23.19	23.19
2	0.15	1	23.19	23.19
3	0.15	1	22.82	22.82
4	0.15	1	22.82	22.82
5	0.15	2	22.98	45.96
6	0.15	1	22.98	22.98
7	0.15	1	22.82	22.82
8	0.15	1	22.82	22.82
9	0.15	1	23.19	23.19

6.7.3 Tlakové ztráty třením v potrubí

V tab. 42 jsou vypsány veškeré tlakové ztráty třením pro jednotlivé větve v systému se směšovací komorou. Dále jsou zde vypsány tlakové ztráty přívodních hadic a tlakové ztráty zákrytu u stroje. Rychlost v potrubní síti je podle zadaných optimálních podmínek také zobrazena v tab. 42.

Tabulka 42 – Tlakové ztráty potrubím

Tlakové ztráty potrubím															
Stroj	Chod stroje	D	S	L	V	W _{vyp}	P _d	Re	λ	Součinitel tlakové ztráty elementu	Třecí ztráty na 1m potrubí	Třecí ztráty potrubí	Tlaková ztráta přípojovacích hadic	Tlaková ztráta elementu	Tlaková ztráta „do volného prostoru“
[-]	%	[m]	[m ²]	[m]	[m ³ /s]	[m/s]	[Pa]	[-]	[-]	[-]	[Pa/m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1	100	0.1	0.0079	8.32	0.126	16.05	154.58	110696	0.0245	0.4	37.86	315.04	151.44	61.83	154.58
2	100	0.1	0.0079	3.82	0.126	16.05	154.58	110696	0.0245	0.4	37.86	144.67	151.44	61.83	154.58
3	100	0.08	0.0050	7.23	0.08	15.92	152.14	87854.2	0.0258	0.45	49.13	355.09	196.54	68.46	152.14
4	100	0.08	0.0050	6.58	0.08	15.92	152.14	87854.2	0.0258	0.45	49.13	323.15	196.54	68.46	152.14
5	100	0.125	0.0123	3.53	0.196	15.98	153.21	137755	0.0233	0.38	28.50	100.52	114.01	58.22	153.21
6	100	0.125	0.0123	2.43	0.196	15.98	153.21	137755	0.0233	0.38	28.50	69.19	114.01	58.22	153.21
7	100	0.08	0.0050	4.40	0.08	15.92	152.14	87854.2	0.0258	0.45	49.13	216.19	196.54	68.46	152.14
8	100	0.08	0.0050	3.30	0.08	15.92	152.14	87854.2	0.0258	0.45	49.13	162.14	196.54	68.46	152.14
9	100	0.1	0.0079	7.10	0.126	16.05	154.58	110696	0.0245	0.6	37.86	268.81	151.44	92.75	154.58

6.7.4 Celkové tlakové ztráty

Aby systém s komorou stálého statického podtlaku správně fungoval, je zapotřebí zjistit větev s největší tlakovou ztrátou, aby se zbývající větve regulovaly na tuto hodnotu. V tab. 43 jsou sečteny veškeré tlakové ztráty, které se vyskytují na dané větvi. V této tabulce je patrné, že větev s největší tlakovou ztrátou je větev vedoucí od stroje 3, a také je zde stanovena hodnota, o kterou se zbývající větve musí doškrtnit.

Tabulka 43 – Celkové tlakové ztráty

Celkové tlakové ztráty větví									
Stroj	Tlaková ztráta potrubím	Max. tlaková ztráta rovného potrubí	Tlaková ztráta vlivem změny směru	Tlaková ztráta přírodních hadic	Tlaková ztráta elementu na konci	Tlaková ztráta „do volného prostoru“	Celková tlaková ztráta	Max. celková tlaková ztráta	Doškrtnení
[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1	315.04	355.09	23.19	151.44	61.83	154.58	706.08	795.04	88.96
2	144.67		23.19	151.44	61.83	154.58	535.71		259.33
3	355.09		22.82	196.54	68.46	152.14	795.04		0.00
4	323.15		22.82	196.54	68.46	152.14	763.10		31.94
5	100.52		45.96	114.01	58.22	153.21	471.92		323.12
6	69.19		22.98	114.01	58.22	153.21	417.61		377.43
7	216.19		22.82	196.54	68.46	152.14	656.15		138.89
8	162.14		22.82	196.54	68.46	152.14	602.10		192.94
9	268.81		23.19	151.44	92.75	154.58	690.77		104.27

6.8 Systém doškrtnení

Jsou dvě různé možnosti, jak zvýšit tlakovou ztrátu jednotlivých úseků. Za pomoci klapky, nebo za pomoci konické redukční vložky.

6.8.1 Doškrtnení pomocí klapky

Tento systém umožňuje regulovat velikost tlakové ztráty. To znamená, že pokud zůstane pouze jeden stroj v chodu, můžeme počítat pouze s jeho tlakovou ztrátou v potrubí. Za předpokladu, že bude jiný chod než 100%, mohou se zbývající klapky přeregulovat na stávající maximální tlakovou ztrátu (pokud se vypne sání od stroje, který není hlavní větví, nemusí se přeregulovat, ale pokud se vypne sání od stroje, který je hlavní větví, může, ale i nemusí se přeregulovat na stávající maximální tlakovou ztrátu). Přeregulování zajistí nižší spotřebu energie pro chod systému.

Použití klapky je vhodné pro sání s jemným prachem.

6.8.2 Doškrtnení pomocí konické redukční vložky

Konické redukční vložky se nedají regulovat. Jejich tlaková ztráta je dána jejich vnitřním průměrem a úhlem náběhu. Používají se v průmyslu, kde vznikají velké částice z obrábění (špony, piliny,...), protože v konstrukci konických vložek nejsou hrany, kde by docházelo k usazování.

7. Závěr druhé části

Systém využívající komory stálého statického podtlaku je stabilní a jednoduše regulovatelný. Problém vzniká při poklesu rychlosti v potrubí udržující stálý statický podtlak v komoře. Aby se zajistila širší variabilita, je odvod ze směšovací komory veden dvěma potrubími cestami. Při odstavení více strojů se uzavře jedna z potrubních cest ze směšovací komory. Toto opatření nám umožní cca 25% chod strojů při zadaných podmínkách (hodnota 25 % je závislá na variaci odstávky strojů - důvodem je rozdílná hodnota odsávaného množství vzduchu od strojů).

8. Větrání prostoru haly

Kapitola je věnována větrání haly a využití odsávaného vzduchu, jako je například zpětné získávání tepla, nebo možnosti využití oběhového vzduchu.

Větráním se rozumí výměna vzduchu uzavřeného prostoru za venkovní. Pro průmysl se často využívá podtlakové větrání, aby se nefiltrovaný vzduch nešířil do okolí. V tomto případě se může využít v kombinaci s místním odsáváním.

Pro stanovení potřebného průtoku pro halu se vychází ze tří hledisek, z hygienických požadavků na osobu, odvodu škodlivin a odvodu tepelné zátěže. Pro každé z hledisek je zapotřebí stanovit potřebný průtok V1, V2, V3 který splňuje konkrétní požadavky daného hlediska. Zajímá nás pouze největší průtok, protože pouze ten dokáže splnit podmínky i pro ostatní hlediska.

8.1 Stanovení objemu vzduchu

8.1.1 Objem vzduchu pro odvod tepelné zátěže

Tepelné zisky od strojů

Při 100% chodu strojů odhadujeme tepelnou zátěž od strojů na 18 kW za předpokladu, že jeden obráběcí stroj má 2 kW.

Produkce tepla lidmi

- Tepelný výkon na jednoho dělníka je stanoven na $Q = 70 \text{ W}$
- V hale při maximální obsazenosti bude 10 lidí

$$Q_l = n_{lidí} * Q$$

$$Q_l = 10 * 70 = 700 \text{ W}$$

Produkce tepla svítidly

- Potřebná osvětlená plocha je 3m od oken o rozměrech $19,7 \cdot 9,6 \text{ m}$ činí 189 m^2
- Počítáme s odhadem zátěže pro osvětlení $1 \text{ m}^2 = 5 \text{ W/m}$
- Tepelná zátěž bude přibližně $Q_{sv} = 945 \text{ W}$

Tepelné zisky okny

Nejsou zadány žádné parametry dané haly, proto vypočtená hodnota je pouze orientační s velkou možností chyby.

Zvolené parametry haly

- Součinitel prostupu tepla pro okna s dřevěným rámem $k_0 = 3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Maximální denní teplota $t_{max} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
- Teplota vnitřního vzduchu $t_i = 23 \text{ }^\circ\text{C}$
- Celková plocha oken orientovaná na sever $S = 9 \text{ m}^2$
- Celková plocha oken orientovaná na jih $S = 12 \text{ m}^2$

Intenzita celkové sluneční radiace pro červenec procházející standardním zasklením

- Sever $I_{oS} = 141 \text{ W/m}^2$
- Jih $I_{oJ} = 435 \text{ W/m}^2$

korekční činitel pro čistotu atmosféry $C_o = 0,85$

Poloha Slunce v závislosti na slunečním čase a roční době:

- Výška Slunce $h = 60$
- Sluneční azimut $\alpha = 180^\circ$
- Azimut severní stěny $\gamma = 0^\circ$
- Azimut jižní stěny $\gamma = 180^\circ$

Stínící součinitel pro dvojitě sklo $s = 0,9$

Přestup tepla konvekcí

$$Q_{ok} = k_o \cdot S_o \cdot (t_{omax} - t_i) \quad (13)$$

$$Q_{ok} = 3,3 \cdot 21 \cdot (32 - 23) = 623 \text{ W}$$

Intenzita sluneční radiace pro severní stěnu

$$Q_{or} = [S_{oS} \cdot I_o \cdot C_o + (S_o - S_{oS}) \cdot I_{odif}] \cdot s \quad (14)$$

$$Q_{or} = [9 \cdot 131 \cdot 0,85] \cdot 0,9 = 901 \text{ W}$$

Intenzita sluneční radiace pro jižní stěnu

$$Q_{or} = [S_{oS} \cdot I_o \cdot C_o + (S_o - S_{oS}) \cdot I_{odif}] \cdot s \quad (15)$$

$$Q_{or} = [12 \cdot 435 \cdot 0,85] \cdot 0,9 = 3990 \text{ W}$$

Tepelné zisky stěnou

Součinitel prostupu tepla vnější stěnou (středně těžká stavba) $k = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$

Lehká stěna s malou tepelnou kapacitou $\delta=0,25 \text{ m}$

Rovnocenná sluneční teplota $t_{r\psi} = 36,7 \text{ }^\circ\text{C}$

Průměrná rovnícenná sluneční teplota

- Severní stěna $t_{rm} = 27,6 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Jižní stěna $t_{rm} = 30,5 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Východní stěna $t_{rm} = 30,9 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Západní stěna $t_{rm} = 30,9 \text{ } ^\circ\text{C}$

Plocha bez oken pro jednotlivé orientace

- Severní stěna $S = 70 \text{ m}^2$
- Jižní stěna $S = 67 \text{ m}^2$
- Východní stěna $S = 44 \text{ m}^2$
- Západní stěna $S = 44 \text{ m}^2$

Součinitel zmenšení teplotního kolísání

$$m = \frac{1 + (32 \cdot \delta - 0,5) \cdot \delta}{2500^\delta} \quad (16)$$

$$m = 1 + \frac{(32 \cdot 0,25 - 0,5) \cdot 0,25}{2500^{0,25}} = 0,41 \text{ Kg/m}^2$$

Tepelné zisky stěnami

$$Q_S = k \cdot S[(t_{rm} - t_i) + m \cdot (t_{r\psi} - t_{rm})] \quad (17)$$

- Severní stěna $Q_S = 0,45 \cdot 70[(27,6 - 23) + 0,41 \cdot (36,7 - 27,6)] = 262 \text{ W}$
- Jižní stěna $Q_S = 0,45 \cdot 67[(30,5 - 23) + 0,41 \cdot (36,7 - 30,5)] = 318 \text{ W}$
- Východní stěna $Q_S = 0,45 \cdot 44[(30,9 - 23) + 0,41 \cdot (36,7 - 30,9)] = 203 \text{ W}$
- Západní stěna $Q_S = 0,45 \cdot 44[(30,9 - 23) + 0,41 \cdot (36,7 - 30,9)] = 203 \text{ W}$

Tepelné zisky stropem

Intenzita sluneční radiace pro červenec $I_{os} = 729 \text{ W/m}^2$

Plocha střechy $S=286 \text{ m}^2$

Součinitel prostupu tepla stropem $k = 0,48$

$$Q_S = 0,45 \cdot 286 \cdot 9 = 1158 \text{ W}$$

[3], [4]

Celkové tepelné zisky

Tepelné zisky od lidí	0,7	kW
Tepelné zisky svítidly	0,95	kW
Tepelné zisky přístroje	18	kW
Tepelné zisky okny	5,5	kW
<u>Tepelné zisky stěnami a stropem</u>	<u>2,1</u>	<u>kW</u>
Tepelné zisky celkem	31,75	kW

Rozdíl mezi teplotou místnosti a přiváděného vzduchu $\Delta T = 8\text{K}$

$$V_p = \frac{Q_{zisky}}{\zeta \cdot c_v \cdot \Delta T} \quad (18)$$

$$V_p = \frac{31\,750 \cdot 3\,600}{1\,000 \cdot 1,2 \cdot 8} = 11\,906 \text{ m}^3/\text{h}$$

8.1.2 Objem vzduchu z hygienického hlediska

Prívod čerstvého vzduchu na osobu při práci ve stoje činí $70 \text{ m}^3/\text{h}$

$$V_e = n \cdot V_{pos} \quad (19)$$

$$V_e = 10 \cdot 70 = 700 \text{ m}^3/\text{h}$$

8.1.3 Objem vzduchu pomocí expozičního limitu prachů

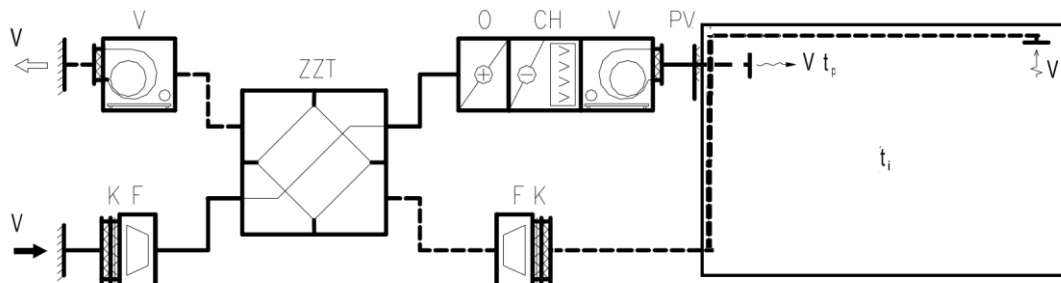
Z důvodu neznámého množství produkce prachu se tento potřebný objem nadá určit. Bude zapotřebí mít v systému dostatečně účinné filtry, pokud budeme chtít využít oběhový vzduch. Příslušný limit PEL_c pro železo a jeho slitiny je $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ [8].

8.1.4 Zhodnocení

Není možné určit, jaký z vypočtených objemů vzduchu bude největší, ale z orientačního výpočtu se zjistilo, že s největší pravděpodobností bude objem potřebný na odvod tepelné zátěže ten největší. Proto se dále bude uvažovat s variantou, kdy je potřebný objem vzduchu na odvod tepelné zátěže stěžejní. [5]

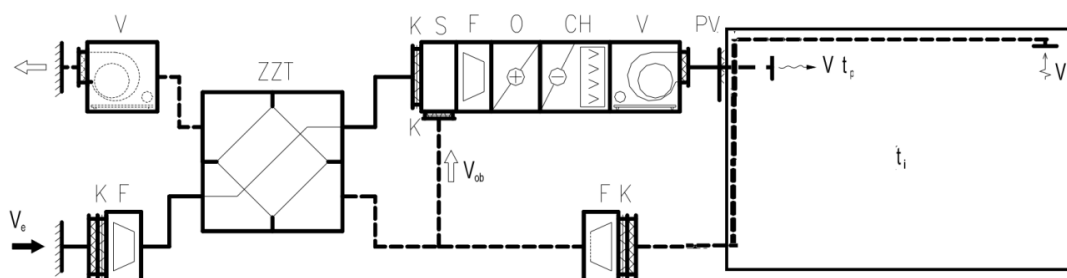
8.2 Systémy větrání

Pro klimatizační systém se ZZT bez směšování zobrazený na obr. 16 platí: $V = V_e$. Systém se ZZT je často používaný systém z důvodu velké úspory energie na vytápění/chlazení. Je zapotřebí, aby do ZZT komory vstupoval čistý vzduch, aby nedocházelo k zanášení (toto zařízení se nedá čistit).



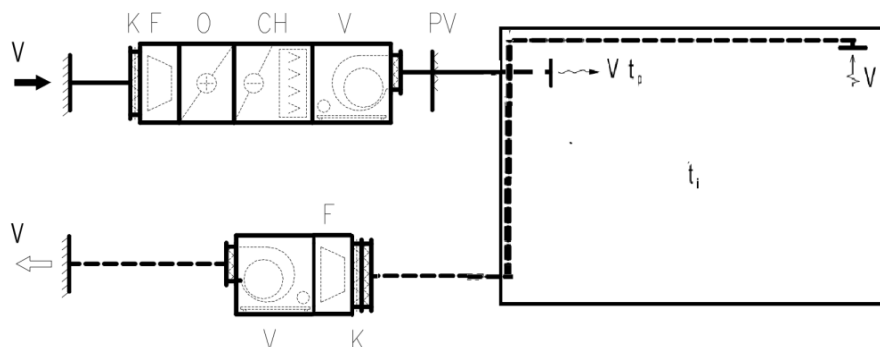
Obrázek 16 – Větrání se systémem ZZT

Pro klimatizační systém ZZT se směšováním zobrazený na obr. 17 platí: $V = V_e + V_{ob}$. Výhodou využití směšování je větší úspora energie, než v předešlé variantě. Vhodné využití je v místech, kde není zapotřebí přivádět velké množství čerstvého vzduchu do větraného prostoru.



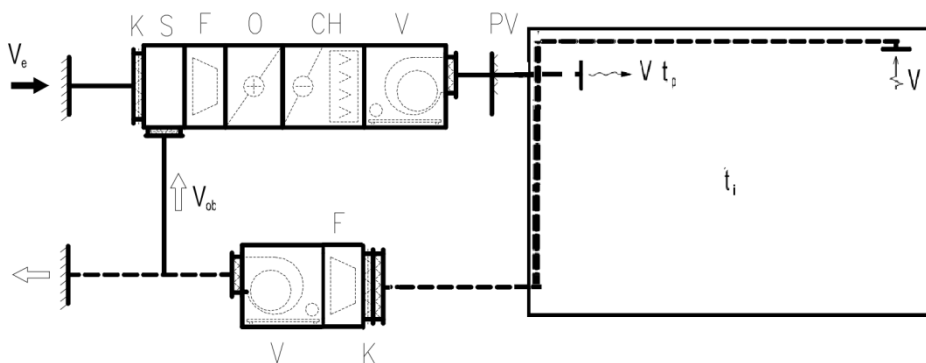
Obrázek 17 – Větrání se systémem ZZT a oběhovým větráním

Pro klimatizační systém bez cirkulace zobrazený na obr. 18 platí: $V = V_e$. Jde o prostou výměnu vzduchu. Je to systém, který neumožňuje žádnou úsporu energie. Provoz je jeden z nejnákladnějších ze všech systémů větrání, ale pořizovací náklady jsou v porovnání s ostatními systémy menší.



Obrázek 18 – Větrání bez jakékoliv úspory energie

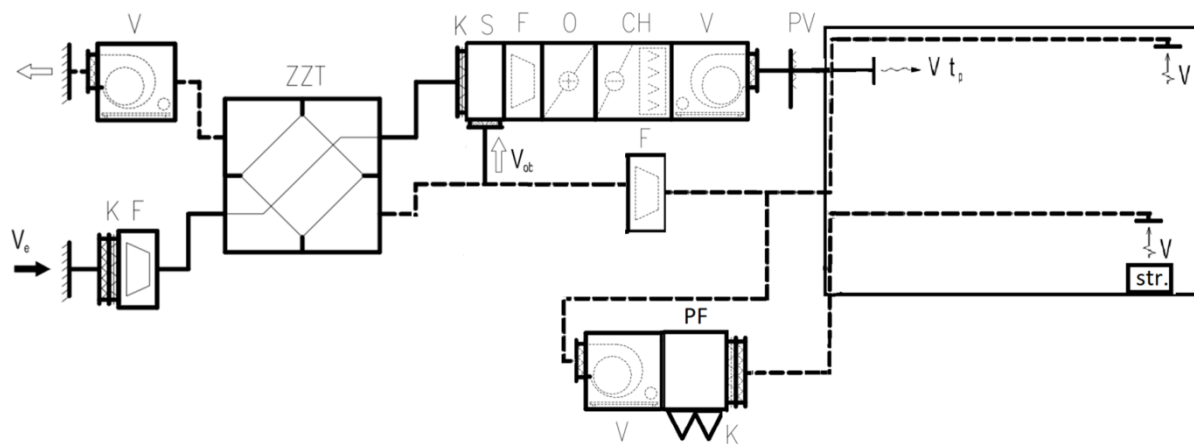
Pro klimatizační systém s cirkulací zobrazený na obr. 19 platí: $V = V_e + V_{ob}$. Jednoduchý princip, který umožňuje směšování čerstvého vzduchu s oběhovým.



Obrázek 19 – Větrání s oběhem

8.3 Navrhovaný systém větrání

Navrhovaný systém bere v potaz velké tepelné zisky, které se vyskytují v hale a relativně malé množství znečištěného vzduchu. Systém bude mít vyšší pořizovací náklady z důvodu použití dvou ventilátorů pro odvod škodlivin z haly. Naopak během provozu dojde k výrazné úspoře. Tato úspora je způsobena díky dvěma cestám k filtraci (z haly se musí odvést větší množství vzduchu, než je odsávané množství od strojů, a pokud by se veškerý odsávaný vzduch filtroval i přes PF (průmyslový filtr), docházelo by k velkým tlakovým ztrátám). Jedna filtrační cesta je proto vedena od odsávání strojů, kde se přímo nasávají nečistoty do vzduchotechnického potrubí. Tato cesta musí obsahovat průmyslový filtr, aby byla hodna $c = 1-5 \text{ [mg/m}^3\text{]}$, poté dojde ke spojení přefiltrovaného vzduchu s druhou cestou, která má za úkol odvést zbývající potřebný objem vzduchu pro dodržení hygienických podmínek. Schéma zapojení pro navrhovaný systém je patrné z obr. 20.



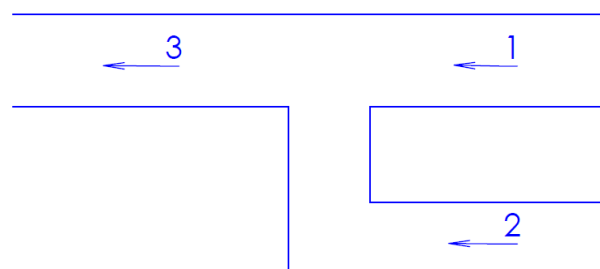
Obrázek 20 – Navrhované větrání

Regulace větrání haly:

Měnicí se odsávaný průtok vzduchu od strojů se musí kompenzovat pomocí odsávaného množství vzduchu z prostoru haly. Na **obr. 21** je znázorněno potrubí vedoucí z haly (potrubí 1), potrubí vedoucí od strojů (potrubí 2) a výstupní potrubí (potrubí 3). Samotná regulace by spočívala ve hlídání průtoku v potrubí 3. Pokud by klesl odsávaný průtok z potrubí 2, musel by ventilátor v potrubí 3 zvýšit otáčky tak, aby se pomocí potrubí 1 nahradil chybějící průtok.

Možností je i systém vůbec neregulovat a pouze ponechat konstantní otáčky ventilátoru v potrubí 3. Za předpokladu, že se v systému vypne libovolný stroj, klesnou i tepelné zisky v hale, a není tedy nutné zajišťovat tak velkou výměnu vzduchu pro odvod tepelné zátěže.

Provedení větrání v hale bych nejdříve nechal bez regulace, při projevu nedostatku větrání bych se zaměřil na variantu s regulací (větší výměna vzduchu by vedla k nevhodnému provozu).



Obrázek 21 – Schéma potrubní sítě pro regulaci

9. Závěr třetí části

Navrhovaný systém větrání je stanoven z orientačních hodnot. Pro tuto halu nebyly známy dostačující parametry na určení přesného řešení. Je možné, že se hala bude moci větrat přirozeně a pro tento případ by se měla zvážit zcela jiná varianta větrání. Přirozené větrání nebylo uvažováno z důvodu hlučnosti a možného znečišťování okolí.

10. Závěr

Touto prací jsem potvrdil předpoklad, že systémem využívajícím komory stálého statického podtlaku se docílí jednodušší regulace a umožní vypínání libovolného stroje v systému, bez ovlivnění odsávání od ostatních strojů. Odsávání od strojů nebude stačit pro potřebnou výměnu vzduchu, z tohoto důvodu je potřeba odsávat i z prostoru haly. S rozvodem čerstvého vzduchu po hale by neměl vzniknout žádný problém. Je nutné dohlédnout na umístění výústek tak, aby nedocházelo k víření prachu a nepříjemnému průvanu.

Použitá literatura

1. NOVÝ, Richard. *Technika prostředí*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-010-2108-4.
2. BARTÁK, Martin. *Úvod do přenosových jevů pro inteligentní budovy*. Praha, 2010.
3. AMBROŽOVÁ, Iva a Petr HORÁK. Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření v energetickém hodnocení budov. *Tzbinfo* [online]. 2012, 27.8.2012 [cit. 2018-06-06]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8972-stanoveni-tepelných-zisků-zasklení-ze-slunečního-záření-v-energetickém-hodnocení-budov>
4. ČSN 73 0542. *Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov*. 1995.
5. MATHAUSEROVÁ, Zuzana. Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb. *Tzbinfo* [online]. 25.2.2013 [cit. 2018-06-06]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitri-prostredi-staveb>
6. PA 12 0359. *Rozbočky dvoječné pro kruhové potrubie skupiny II*. Nové Město na Váhom: Vzduchotechnika, n, 1982.
7. DRKAL, František, Jiří HEMERKA a Richard NOVÝ. Odsávání a čištění spalin z tavicích agregátů Skláren Český křišťál, Chlum u Třeboně. *Silika 4/94*, str. 243-245
8. ČESKÁ REPUBLIKA. Sbírka Zákonů: České repu. In: *Sbírka zákonů*. 2007, ročník 2007, částka 111, číslo 361.
9. Kombinace. *Matematika.cz: Tady to pochopíš* [online]. Nová média, s. r. o. ©, 2014 [cit. 2018-06-13]. Dostupné z: <https://matematika.cz/kombinace>

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Zadané parametry potrubní sítě.....	11
Tabulka 2 – Celkové délky úseků potrubní sítě svedené do hlavní větve.....	12
Tabulka 3 – Délka potrubních větví.....	12
Tabulka 4 – Součinitel místní tlakové ztráty pro kruhové potrubí se změnou směru.....	15
Tabulka 5 – Koeficient pro místní tlakové ztráty pro $\alpha \neq 90^\circ$	15
Tabulka 6 – Koeficient B pro odbočky kruhové.....	16
Tabulka 7 – Koeficient P pro odbočky kruhové.....	16
Tabulka 8 – Vypočtené hodnoty potrubní sítě pro 100% chod strojů.....	20
Tabulka 9 – Tlakové ztráty přípojek a změn směru pro 100% chod strojů.....	21
Tabulka 10 – Tlakové ztráty větví vzniklé změnou směru, nebo spojením proudů pro 100% chod strojů.....	22
Tabulka 11 – Celkové tlakové ztráty při 100% chodu strojů.....	23
Tabulka 12 – Vypočtené hodnoty potrubní sítě pro 89% chod strojů.....	24
Tabulka 13 – Tlakové ztráty přípojek a změn směru pro 89% chod strojů.....	25
Tabulka 14 – Tlakové ztráty větví vzniklé změnou směru, nebo spojením proudů pro 89% chod strojů.....	26
Tabulka 15 – Celkové tlakové ztráty při 89% chodu strojů.....	27
Tabulka 16 – Vypočtené hodnoty potrubní sítě pro 78% chod strojů.....	28
Tabulka 17 – Tlakové ztráty přípojek a změn směru pro 78% chod strojů.....	29
Tabulka 18 – Tlakové ztráty větví vzniklé změnou směru, nebo spojením proudů pro 78% chod strojů.....	30
Tabulka 19 – Celkové tlakové ztráty při 78% chodu strojů.....	31
Tabulka 20 – Vypočtené hodnoty potrubní sítě pro 67% chod strojů.....	32
Tabulka 21 – Tlakové ztráty přípojek a změn směru pro 67% chod strojů.....	33
Tabulka 22 – Tlakové ztráty větví vzniklé změnou směru, nebo spojením proudů pro 67% chod strojů.....	34
Tabulka 23 – Celkové tlakové ztráty při 67% chodu strojů.....	35

Tabulka 24 – Vypočtené hodnoty potrubí sítě pro 56% chod strojů.....	36
Tabulka 25 – Tlakové ztráty přípojek a změn směru pro 56% chod strojů.....	37
Tabulka 26 – Tlakové ztráty větví vzniklé změnou směru, nebo spojením proudů pro 56% chod strojů	38
Tabulka 27 – Celkové tlakové ztráty při 57% chodu strojů	39
Tabulka 28 – Vypočtené hodnoty potrubní sítě pro 44% chod strojů.....	40
Tabulka 29 – Tlakové ztráty přípojek a změn směru pro 44% chod strojů.....	41
Tabulka 30 – Tlakové ztráty větví vzniklé změnou směru, nebo spojením proudů pro 44% chod strojů	42
Tabulka 31 – Celkové tlakové ztráty při 44% chodu strojů	43
Tabulka 32 – Pokles rychlosti pro úsek Q.....	44
Tabulka 33 – Pokles rychlosti pro úsek Q.....	45
Tabulka 34 – Zadané parametry pro směšovací komoru.....	47
Tabulka 35 – Vstupy do směšovací komory	50
Tabulka 36 – Rychlost ve směšovací komoře z první a druhé strany	50
Tabulka 37 – Vzdálenost umístění rozrážecího kotouče.....	51
Tabulka 38 – Orientační průměr rozšířeného proudu ve vzdálenosti 500 mm	51
Tabulka 39 – Velikost rozrážecího elementu	52
Tabulka 40 – Délka potrubních větví pro směšovací komoru.....	53
Tabulka 41 – Výpočet tlakové ztráty změnou směru	55
Tabulka 42 – Tlakové ztráty potrubím.....	56
Tabulka 43 – Celkové tlakové ztráty.....	57

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Zadané parametry haly	10
Obrázek 2 – Rozměrové parametry pevné potrubní sítě	11
Obrázek 3 – Moodyho diagram.....	14
Obrázek 4 – Výchozí parametry pro oblouk	15
Obrázek 5 – Spojení proudu.....	16
Obrázek 6 – T rozbočka	16
Obrázek 7 – Pokles rychlosti v potrubním úseku Q.....	44
Obrázek 8 – Pokles rychlosti v potrubním úseku Q.....	46
Obrázek 9 – Zadané parametry potrubní sítě pro směšovací komoru	47
Obrázek 10 – Vhodná oblast pro umístění směšovací komory	47
Obrázek 11 – Průběh tlaků v komoře.....	48
Obrázek 12 – Směšovací komora.....	48
Obrázek 13 – Znázornění rychlostního profilu ve směšovací komoře.....	51
Obrázek 14 – Rozměry směšovací komory.....	52
Obrázek 15 – Rozměry potrubní sítě pro směšovací komoru	52
Obrázek 16 – Větrání se systémem ZZT.....	61
Obrázek 17 – Větrání se systémem ZZT a oběhovým větráním.....	61
Obrázek 19 – Větrání s oběhem	62
Obrázek 18 – Větrání bez jakékoliv úspory energie	62
Obrázek 20 – Navrhované větrání.....	63
Obrázek 21 – Schéma potrubní sítě pro regulaci	63