

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav základního zpracování dřeva



Odsávání ve stolařském závodu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Přílohy: Výkres schéma odsávacího potrubí



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Pavel Lysáček**
Studijní program: Dřevařství
Obor: Dřevařství
Název tématu: **Odsávání ve stolářském závodu**
Rozsah práce: 30-40 stran

Zásady pro vypracování:

1. Analýza problematiky stávajícího odsávacího systému firmy SCHS s.r.o, Svatý Štěpán.
2. Zásady výpočtu odsávání.
3. Výpočetní kontrola stávajícího stavu, posouzení konstrukce odsávacího systému.
4. Zhodnocení stávajícího stavu a návrh úprav odsávacího systému.
5. Aplikace výpočetních postupů na konkrétní navrženou úpravu.
6. Konečný návrh odsávacího systému, porovnání vlastností nového návrhu s původním řešením.



Seznam odborné literatury:


1. HEJMA, J. *Vzduchotechnika v dřevozpracovávajícím průmyslu*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981. 398 s.
2. HANINEC, I. – BRECHTI, J. – HAJZOK, L. *Základne vlastnosti sypkých drevných materiálov*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1977. 153 s. Riport.
3. MATUŠINEC, T. *Měření ve vzduchotechnických zařízeních*. Diplomová práce. MZLU v Brně, 2003.

Datum zadání bakalářské práce: listopad 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: květen 2015


Pavel Lysáček
Autor práce




prof. Ing. Miroslav Rousek, CSc.
Vedoucí práce


Ing. Karel Krontorád, CSc.
Vedoucí ústavu


prof. Dr. Ing. Petr Horáček
Děkan LDF MENDELU

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: *Odsávání ve stolařském závodu* zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:

podpis studenta:

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce prof. Ing. Miroslavu Rouskovi, CSc. za jeho ochotu a cenné rady při tvorbě této práce. Také bych rád poděkoval firmě SCHS s.r.o. za možnost sběru dat.

Jméno autora: Pavel Lysáček

Název bakalářské práce: Odsávání ve stolařském závodu

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá dimenzováním odsávacího zařízení pro stolařskou firmu a popisuje potřebné úpravy současného stavu tak, aby byl zajištěn bezproblémový provoz.

V práci je popsán teoretický výpočet odsávacího zařízení metodou celkových tlaků. Z množství odsávaného vzduchu a celkového tlaku hlavní větve je poté vypočítán potřebný výkon ventilátoru k zajištění bezproblémového odsávání odpadu od strojů.

Klíčová slova: odsávání, výpočet, potrubí,

Name: Pavel Lysáček

The title of the Bachelor thesis: Exhaustion in joinery workshops

Abstract

The bachelor thesis is focused on dimensioning of the exhaustion system for joinery manufacturers and describes necessary adjustments for the smooth operation of the manufactory.

The thesis also deals with the theoretical calculation for the output of the exhaustion system using the method of total pressure. For the calculation of an output needed for ensuring the smooth exhaustion of wood residues around machines the amount of exhausted air and the total pressure of the main branch of the exhaustion system are used.

Key words: exhaustion, calculation, pipes

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce.....	2
3	Literární přehled	3
3.1	Vlastnosti dřevního odpadu v proudu vzduchu.....	3
3.1.1	Směšovací poměr	3
3.1.2	Volba rychlosti vzduchu v odsávání.....	3
3.2	Proudění ve vzduchovodu	6
3.3	Rovnice kontinuity	6
3.4	Tlakové poměry v potrubí.....	7
3.4.1	Tlaková ztráta	9
3.5	Části odsávacího zařízení	15
3.5.1	Ventilátor	15
3.5.2	Odsávací zákryty.....	17
3.6	Zásady výpočtu odsávacího potrubí.....	20
3.6.1	Metoda celkových tlaků.....	21
4	Materiál a metodika	23
4.1	Tvorba schéma potrubí.....	23
4.2	Získání informací o strojích	23
4.3	Postup výpočtu odsávacího systému	24
4.3.1	Tvorba tabulky pro výpočet.....	24
4.3.2	Vyrovnání tlaků ve větvích.....	26
4.4	Výpočetní kontrola stávajícího stavu odsávacího systému	28
4.5	Analýza problematiky stávajícího odsávání a posouzení konstrukce	28
5	Výsledky.....	29
5.1	Schéma č. 1	30
5.2	Schéma č. 2	32

5.3	Schéma č. 3	34
5.4	Schéma č. 4	36
5.5	Schéma č. 5	38
5.6	Schéma č. 6	41
5.7	Schéma č. 7	44
5.8	Výpočet výkonu ventilátoru	44
5.9	Porovnání navrženého a stávajícího systému a jeho změny	45
6	Diskuse	47
7	Závěr.....	48
8	Summary.....	49
9	Seznam literatury.....	50
10	Přílohy.....	51

1 Úvod

Při třískovém opracování dřeva vzniká odpad. Vlastnosti tohoto odpadu se liší podle způsobu opracování, ale také druhu materiálu. Příliš velký objem tohoto odpadu zhoršuje manipulaci na pracovišti, snižuje kvalitu opracování, ale také jeho přesnost. Jemné části tohoto odpadu se dostávají také do ovzduší kolem stroje, a zhoršují hygienické podmínky na pracovišti. Proto je nutné tento odpad od stroje odstranit.

Odstranění tohoto odpadu se nejčastěji provádí odsáváním. Zařízení pracuje na principu unášení odpadu v proudu vzduchu. Vzduch je zde pouze unášecím médiem, které má odpad přenést do místa uskladnění. Oddělení vzduchu a odpadu se provádí v odlučovacích zařízeních. Po tomto oddělení se tuhý odpad používá k dalšímu zpracování ať už spálení nebo také k výrobě pelet. Vzdušný odpad se v dnešní době nejčastěji nějakým způsobem vrací. Podle čistoty tohoto vzduchu se přímo vrací do výrobního objektu, nebo se čistí přes filtry.

Pro správný chod je důležitý výběr způsobu odsávání (centrální, skupinové, jednotkové, nebo dělené). Dalším z aspektů určujícím správnou funkčnost odsávání je návrh potrubní sítě a správné dimenzování ventilátoru. Odsávání by mělo být co nejjednodušší, a nemělo by obsahovat zbytečně mnoho tvarových kusů.

2 Cíl práce

Cílem této práce bylo správné nadimenzování odsávacího potrubí ve stolárně. Odsávání je zde vybudováno již několik desítek let a za tu dobu touto výrobní halou prošlo několik firem. Dnešní firma do této sítě přiřadila nové stroje a má problém s ucpáváním sítě a příliš velkou prašností strojů. Dokumenty ke stávající síti nebyly bohužel nalezeny, a proto se musí provést přepočítání této sítě. Při tomto přepočtu kromě nadimenzování výkonu motoru, budou také navrženy změny v konstrukci vzduchovodu, které by měly zvýšit účinnost tohoto odsávání. Předkládaná práce slouží jako návod k úpravě stávajícího odsávacího systému, tak aby se odstranily problémy s jeho funkčností.

3 Literární přehled

3.1 Vlastnosti dřevního odpadu v proudu vzduchu

3.1.1 Směšovací poměr

V dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu vzniká dřevní odpad, který má vlastnosti sypkého materiálu. Nejčastějším způsobem dopravy je v proudu vzduchu. Energetickou i ekonomickou náročnost této dopravy lze ovlivnit tzv. směšovacím poměrem, to je poměr dopravovaného materiálu a vzduchu. Optimální směšovací poměr je stav, ve kterém zařízení dopravuje maximální množství materiálu bez ucpávání. (Hajzok, 1986)

Vzorec pro výpočet směšovacího poměru:

$$\mu = \frac{G_m}{G_v} = \frac{G_m}{Q_v * \rho_v} \quad (-) \quad (1.)$$

μ – hmotnostní směšovací poměr (-)

G_m – hmotnost dopravovaného materiálu ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

G_v – hmotnost dopravovaného vzduchu ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

ρ – objemová hmotnost dopravovaného vzduchu ($\text{kg} \cdot \text{m}^3$)

Q_v – objem dopravovaného vzduchu ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

3.1.2 Volba rychlosti vzduchu v odsávání

Další důležitou jednotkou při optimalizaci odsávacího zařízení je rychlost vnosu odsávané částice. Rozumí se rychlost vzduchu, při které se částice vznese a dále nestoupá ani neklesá, nachází se v tzv. beztížném stavu. V tomto stavu zaujímá co největší plochu proti proudu vzduchu. Tento stav je důležitý pro volbu minimální dopravní rychlosti, aby nedocházelo k usazování částic v potrubí.

Na tyto částice působí síly:

1. Tíha:

$$G = V_m * \rho_m * g \quad (N) \quad (2.)$$

V_m – objem třísky (m^3)

ρ_m – hustota třísky ($\text{kg} \cdot \text{m}^3$)

g – tíhové zrychlení zemské ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

2. Proud vzduchu působí na částici silou:

$$W = \psi * S * \frac{v_s^2 * \rho_v}{2} \quad (\text{N}) \quad (3.)$$

W – aerodynamická síla (N)

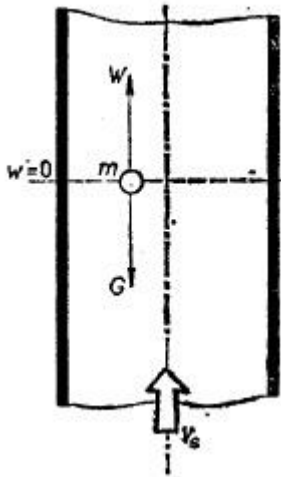
ψ – odporový součinitel částice (-)

S – plocha částice vystavená proudu vzduchu (m^2)

ρ_v – měrná hmotnost dopravního vzduchu ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

v_s – rychlost vznosu částice ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Vztlakovou sílu lze zanedbat, neboť je řádově menší než tíha. (Hejma a kol. 1981)



Obr. 1. Vznos částice (Hejma a kol. 1981)

Pro částice jako jsou hobliny a jiný dřevěný odpad je součinitel odporu ψ stálý a nezávislý na poměru obtékání. Pro částice tvaru obdélníkové desky vystavené vzduchu plochou $S = l * b$ jsou součinitele sestaveny v Tab. 1.

Tab. 1. Součinitel odporu ψ obdélníkové desky (Urban, 1964)

l/b	1	2	4	10	18	∞
ψ	1,10	1,15	1,19	1,29	1,40	2,01

Aby se tříška rovnoměrně pohybovala, musí platit silová rovnováha $G = W$.

Proto platí:

$$m * g = \psi * S * \frac{v_s^2 * \rho_v}{2} \quad (4.)$$

Z toho vyplývá:

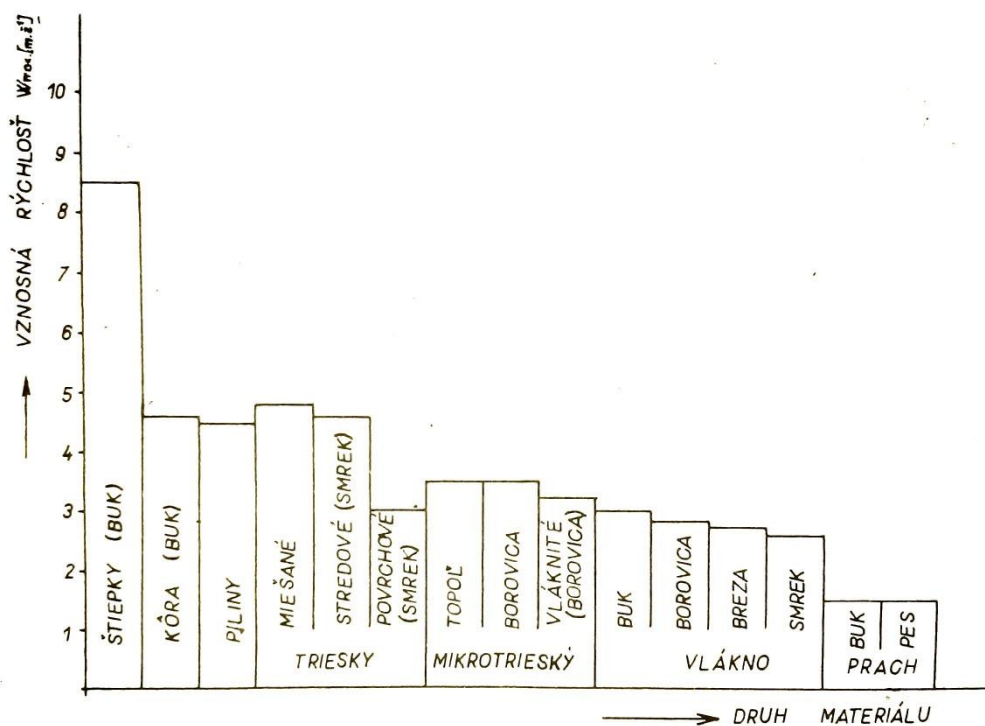
$$v_s = \sqrt{\frac{2m * g}{S * \psi * \rho_v}} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (5.)$$

m – hmotnost částice (kg)

V praxi je vždy rychlost dopravovaného materiálu menší než rychlost vzduchu, který ho dopravuje. Ve vodorovném a svislém potrubí musíme zajistit rychlost vzduchu, která je minimálně rychlostí vnosu materiálu, jinak se materiál dále nepohybuje a způsobuje ucpávání. Tato podmínka neplatí u potrubí šikmého stoupání, zde se může materiál usazovat i při rychlostech menších než je rychlost vnosu. Při 33° stoupání potrubí, musí být rychlost dopravního vzduchu až o 9,1 % vyšší než rychlost vnosu odsávaných částic, jinak se potrubí může ucpat. (Hejma a kol. 1981)

Tab. 2. Doporučené rychlosti vzduchu při odsávání různých materiálů (Hejma, 1981)

Druh směsi	Rychlost (m.s ⁻¹)
Odřezky	20 až 23
Hoblíny	19 až 25
Piliny	16 až 20
Brusný prach	15 až 17
Čistý vzduch	10 až 13



Obr. 2. Vznosné rychlosti některých materiálů. (Haninec a kol. 1977)

3.2 Proudění ve vzduchovodu

Proudění vzduchu v potrubí je možné rozdělit podle toho, jaký pohyb částice vzduchu vykonávají. Základní proudění je laminární, u tohoto proudění se mezi vrstvami pohybují pouze molekuly (mikroskopické částice), ostatní částice (makroskopické) se po sobě pouze posouvají a to rovnoběžně. Mezi vrstvami, které se po sobě posouvají, vzniká tangenciální napětí. Díky tomuto napětí rychlejší vrstvy zrychlují vrstvy pomalejší a obráceně. Toto proudění probíhá při menších rychlostech nebo vysoké vaznosti proudících částic. V odsávacím potrubí se však laminární proudění nevyskytuje.

Turbulentní proudění je vytvořeno víry, díky kterým se mísí vrstvy jedna do druhé. Makroskopické částice dělají kromě pohybu rovnoběžně se směrem proudu, také pohyby všemi směry.

Druhy proudění se odlišují rozložením rychlosti po průřezu a také velikostí odporu, který působí proti proudění. Rychlost, kdy se mění laminární proudění na turbulentní je dána kritickou hodnotou Reynoldsova čísla (Re). Kromě rychlosti proudění je druh proudu závislý také na průměru potrubí a fyzikálních vlastnostech proudící látky. Laminární proudění je v kruhovém, hladkém a kovovém potrubí stabilní po hodnotu Re menší než 2200. Turbulentní proudění v tom samém potrubí začíná při Re větším než 2200. V drsném potrubí nastává turbulentní proudění při nižších Re . (Lougauer, 1991)

Výpočet Reynoldsova čísla (Re):

$$Re = \frac{v_s \cdot d}{\nu} \quad (-) \quad (6.)$$

v_s – střední rychlost proudu ($m \cdot s^{-1}$)

ν – kinetická vaznost ($m^2 \cdot s^{-1}$)

d – průměr potrubí (m)

3.3 Rovnice kontinuity

Při průtoku nestlačitelné tekutiny dvěma průřezy S_1 a S_2 vzdálenými od sebe o dx . Zákon o zachování hmotnosti říká, že hmotnost tekutiny, která do daného průřezu za určitý čas vteče, musí z něj za stejný čas také vytéct. Po upravení tohoto zákona dostaneme velice jednoduchou rovnici kontinuity.

$$vS = konst. \quad (7.)$$

Podle této rovnice lze vypočítat průtok potrubím Q , který je v jednoduchém potrubí bez větvení v celé délce stálý.

V potrubí protéká za sekundu objem Q , nazývá se časový objem (průtok). V této práci je uváděn jako množství vzduchu. Je možné ho vyjádřit vztahem.

$$Q = S \cdot v \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (8.)$$

S – plocha průřezu (m^2)

v – střední rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Tekutina proudící v potrubí, se stejnou plochou průřezu v celé délce má také vždycky stejnou rychlost v . Rychlost se bude měnit, pouze pokud se změní plocha průřezu. Ze zákona o zachování hmotnosti lze říct, že objem tekutiny, která proteče za nějaký čas jakýmkoliv průřezem, je vždy stejný. Vztah vyjadřující tento jev se nazývá *rovnice kontinuity proudu*. Obecný tvar je:

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = S \cdot v = \text{konst} = 0 \quad (9.)$$

Tedy pokud známe časový průtok, který proteče zvoleným průřezem, můžeme vypočítat rychlost proudu. Podle upraveného vzorečku (8.).

$$v = \frac{Q}{S} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (10.)$$

Samozřejmě lze vyjádřit také průřez potrubí, pokud známe rychlost proudu a časový průtok.

$$S = \frac{Q}{v} \quad (\text{m}^2) \quad (11.)$$

3.4 Tlakové poměry v potrubí

Tlakové poměry v odsávacím potrubí lze popsat Bernoulliho rovnicí. Pro průřez A a B má obecný tvar:

$$\rho \cdot g \cdot h_a + p_A + \frac{\rho}{2} \cdot v_A^2 = \rho \cdot g \cdot h_B + p_B + \frac{\rho}{2} \cdot v_B^2 + \Delta p_{zA-B} \quad (12.)$$

Pro rozložení tlaku po délce potrubí je důležitá tlaková ztráta v potrubí. Při odstranění výškových rozdílů, a pokud je proudění nestlačitelné tekutiny stacionární, lze tuto rovnici napsat ve tvaru:

$$p_A + \frac{v_A^2}{2} \cdot \rho_v = p_B + \frac{v_B^2}{2} \cdot \rho_v + \Delta p_{zA-B} \quad (13.)$$

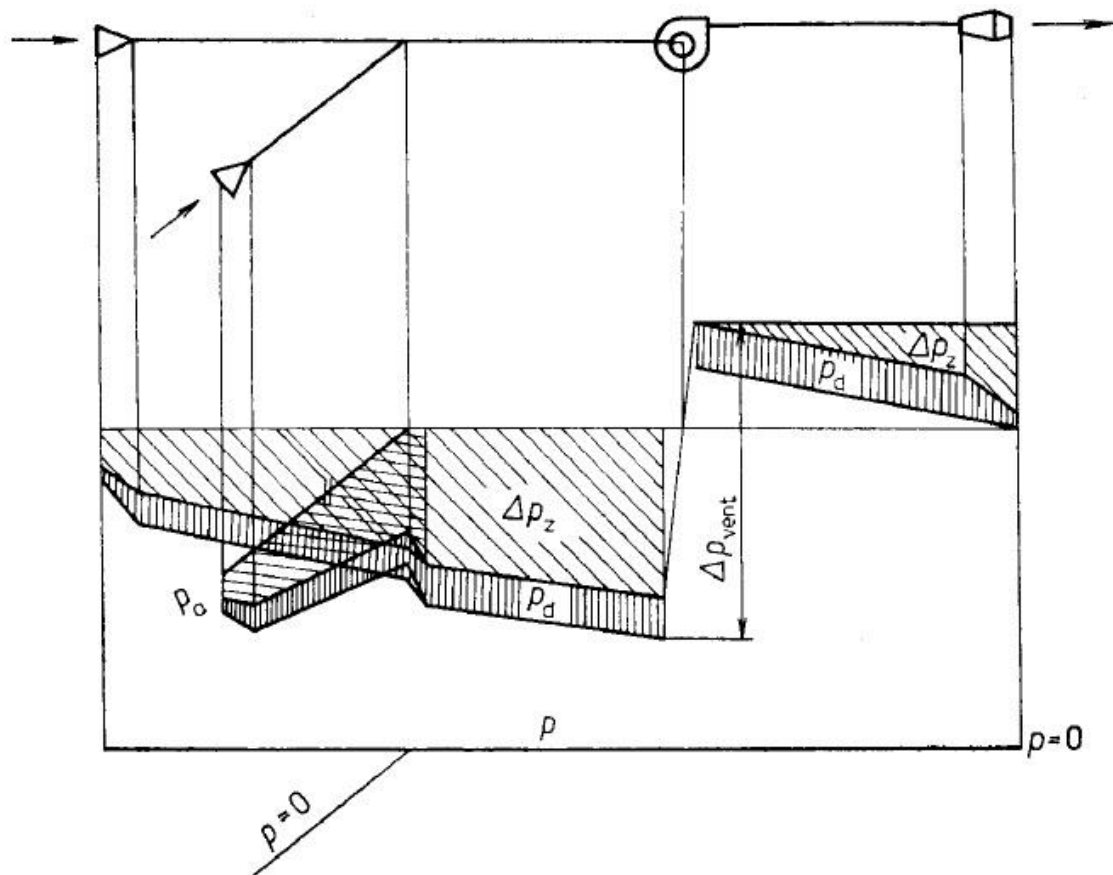
p_A (p_B) – statický tlak (Pa)

v – rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

ρ_v – hustota vzduchu ($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Δp_{zA-B} – tlaková ztráta (Pa)

Podle této rovnice lze říct, že součet dynamického a statického tlaku v jednom průřezu je roven dynamickému a statickému tlaku v průřezu druhém s přičtením tlakové ztráty.



Obr. 3. – Průběh tlaků v odsávací síti (Hejma a kol. 1981)

Součet statického tlaku, dynamického tlaku a tlakových ztrát ve všech průřezech na sací straně se rovná atmosférickému tlaku. Na straně výtlačné je součet tlaků větší než atmosférický tlak o celkový přetlak. (Hejma a kol. 1981)

3.4.1 Tlaková ztráta

Tlaková ztráta vzniká při průchodu vazké tekutiny potrubím. Tyto ztráty se dělí na odpory způsobené třením nebo vřazené odpory.

3.4.1.1 Odpory třením

Energie potřebné na překonání odporu proti proudu. Jejich vznik je způsoben vzájemným třením částic tekutiny a třením tekutiny o povrch potrubí. Také se mohou nazývat délkové odpory, protože závisí na délce potrubí. Velikost těchto odporů se může vyjádřit jak pro laminární tak i turbulentní proudění vztahem:

$$\Delta p_{zp} = \lambda \cdot \frac{l}{d_h} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho_v \quad (\text{Pa}) \quad (14.)$$

λ – součinitel tření (l)

d_h – hydraulický průměr, kruhové potrubí $d_h = d$ (m)

l – délka potrubí

v – rychlost proudění ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

ρ_v – hustota vzduchu ($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

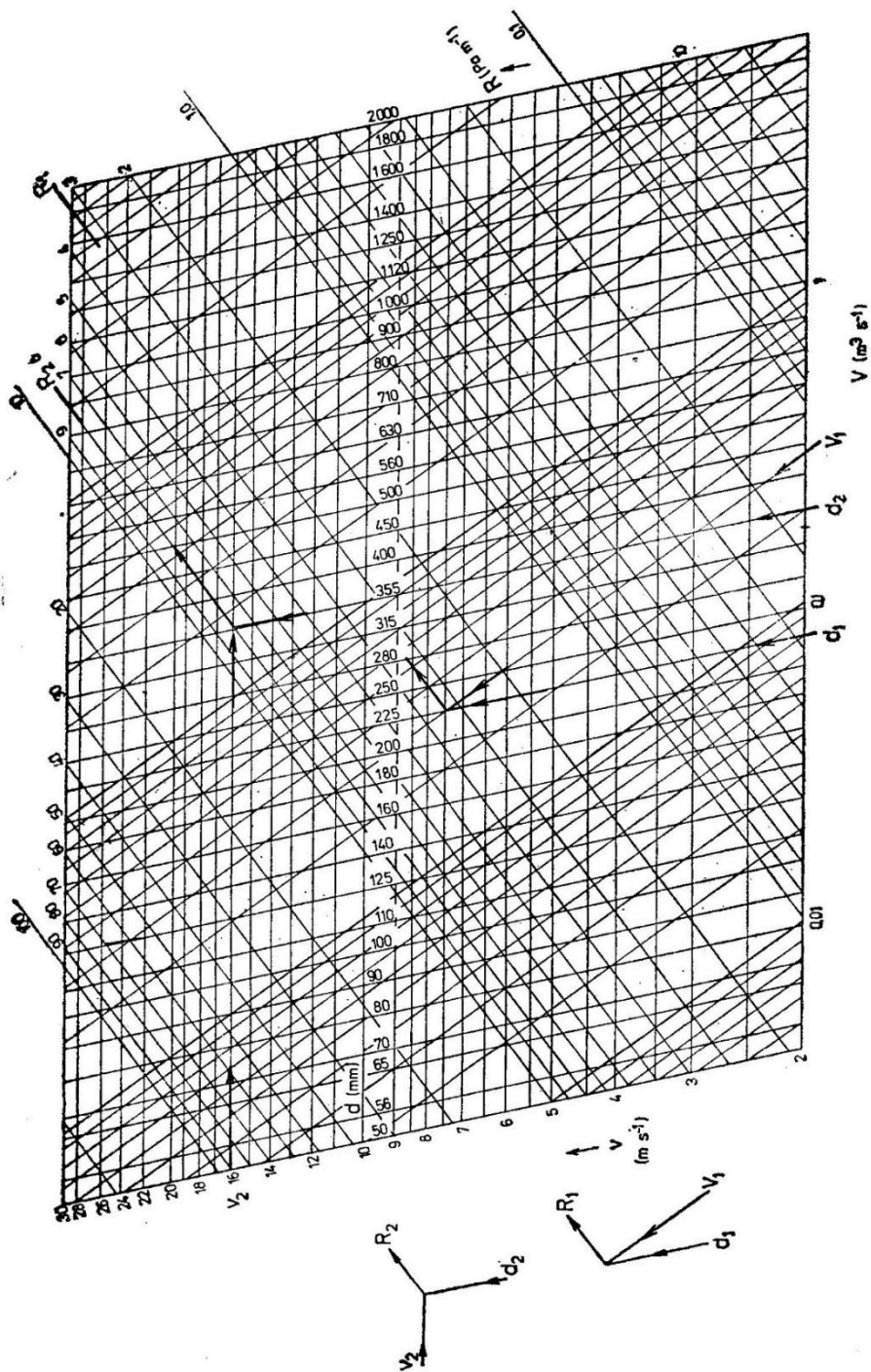
Pro výpočet součinitele tření (λ) ve vzduchotechnické potrubní síti je poměrně přesný a velice jednoduchý vztah:

$$\lambda = \frac{Re^{0,125} \cdot d^{0,11}}{0,082} \quad (-) \quad (15.)$$

Re – reynoldsovo číslo (-)

d – průměr potrubí (m)

V inženýrské praxi se pro výpočet tohoto odporu využívá diagram. Tento diagram je uvedený na Obr. 4. a je navržený pro standartní vzduch ($t_v = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $v = 15,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). Odpor R je zde v závislosti na rychlosti vzduchu \mathbf{v} , množství vzduchu \mathbf{Q} (v diagramu uvedené jako V) nebo na průměru potrubí \mathbf{d} . Hodnotu R lze získat libovolným zvolením dvou z těchto hodnot. (Hejma a kol. 1981) (Longauer, 1991)



Obr. 4. Diagram pro určení tlakové ztráty R na 1 m v přímém potrubí (Chyský, 1973)

3.4.1.2 Vřazené odpory

V literatuře bývá označován také jako *místní odpor*. Tento odpor je tvořen každou částí potrubí, která způsobí větší tlakovou ztrátu než přímé potrubí stejně dlouhé při stejných podmínkách. Podle těchto podmínek je to každá změna průřezu potrubí nebo změna směru proudu. Vztah pro výpočet:

$$\Delta p_{z\zeta} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho_v \quad (\text{Pa}) \quad (16.)$$

ζ – součinitel vřazeného odporu

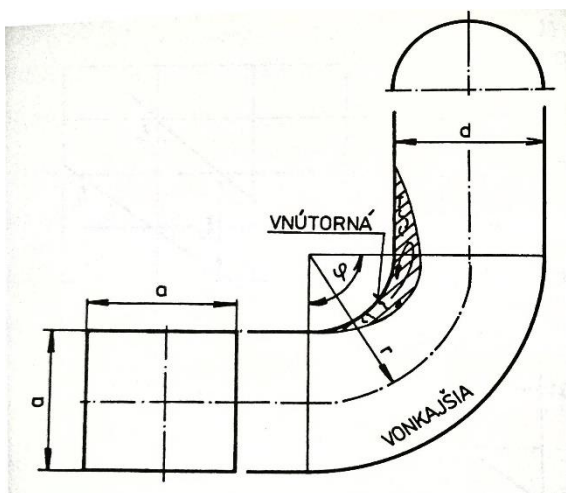
v – rychlost proudění ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

ρ_v – hustota vzduchu ($\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

Součinitel vřazeného odporu při běžném použití není závislý na Re , ale závisí jen na tvaru použitého kusu. Výpočtem tento součinitel jde určit jen v některých případech. V převážné většině se zjišťuje měřením na přístrojích, a proto jsou zde zahrnuty i ztráty způsobené třením při průchodu vzduchu. Některé tyto součinitele jsou popsány v Tab. 3. a 4. Při použití několika těchto odporů za sebou bude výsledná tlaková ztráta o něco menší nebo větší, protože se proud vzduchu nestihne ustálit. (Hejma a kol. 1981) (Longauer, 1991)

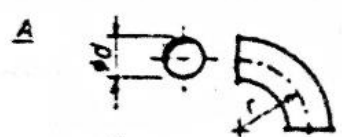
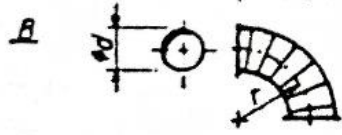
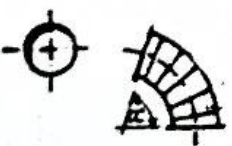
3.4.1.2.1 Vřazené odpory způsobené změnou směru

Tento odpor vzniká v obloucích, kolenech a všech úsecích kde se mění směr proudu. Prouděním v ohnutém potrubí se proud odtrhne od vnitřní stěny to je naznačeno na Obr. 5. V místě odtržení vznikají víry a zpětné proudy, zde se mechanická energie mění na teplo, které prakticky nelze využít.



Obr. 5. Proud v místě ohybu (Longauer, 1991)

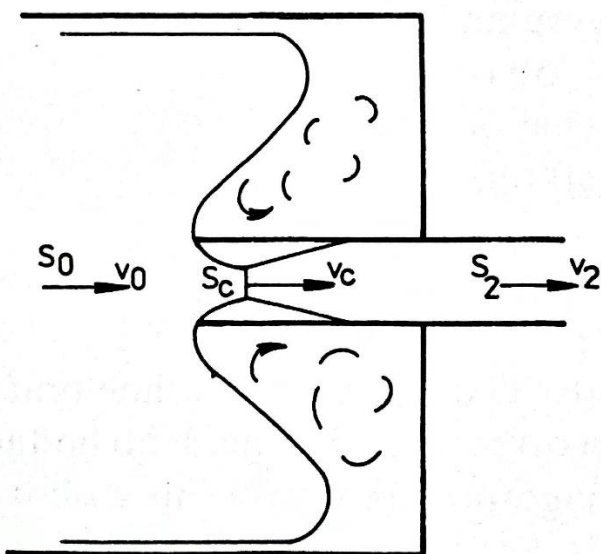
Tab. 3. Součinitele vřazených odporů pro změnu směru (Hejma a kol. 1981)

Změny směru																											
1.1.	Oblouk kruhového průřezu $\alpha = 90^\circ$ $\varnothing d$	 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>r/d</th> <th>0,75</th> <th>1,0</th> <th>1,5</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ζ_{oB}</td> <td>0,55</td> <td>0,21</td> <td>0,17</td> <td>0,15</td> <td>0,12</td> </tr> <tr> <td>ζ_{oA}</td> <td>-</td> <td>0,4</td> <td>0,25</td> <td>0,2</td> <td>0,1</td> </tr> </tbody> </table>	r/d	0,75	1,0	1,5	2	3	ζ_{oB}	0,55	0,21	0,17	0,15	0,12	ζ_{oA}	-	0,4	0,25	0,2	0,1						
r/d	0,75	1,0	1,5	2	3																						
ζ_{oB}	0,55	0,21	0,17	0,15	0,12																						
ζ_{oA}	-	0,4	0,25	0,2	0,1																						
1.2.	Oblouky jiného úhlu $\alpha \neq 90^\circ$ $\varnothing d$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>15°</th> <th>30°</th> <th>45°</th> <th>60°</th> <th>75°</th> <th>90°</th> <th>135°</th> <th>180°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K_1</td> <td>0,25</td> <td>0,45</td> <td>0,60</td> <td>0,78</td> <td>0,90</td> <td>1,0</td> <td>1,23</td> <td>1,40</td> </tr> </tbody> </table>	α	15°	30°	45°	60°	75°	90°	135°	180°	K_1	0,25	0,45	0,60	0,78	0,90	1,0	1,23	1,40					$\zeta_{o\alpha} = K_1 \cdot \zeta_{oA,B}$	
α	15°	30°	45°	60°	75°	90°	135°	180°																			
K_1	0,25	0,45	0,60	0,78	0,90	1,0	1,23	1,40																			

3.4.1.2.2 Vřazené odpory způsobené změnou průřezu

a) Zmenšení průřezu

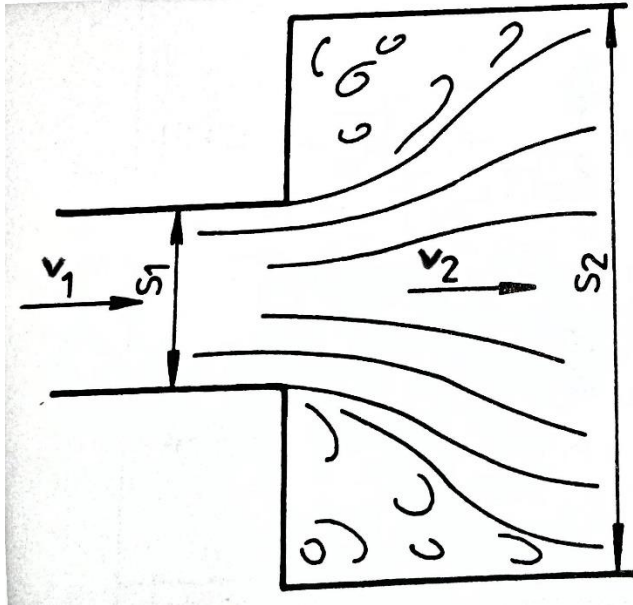
Při zmenšování průřezu se sbíhají proudnice tekutiny a tím se zvětší tření mezi částicemi. Proudové vlákno se odtrhne od stěn, kde se vytváří víry a mění se pohybová energie na tepelnou. Úpravou vtoku, zaoblením hrany atd., je možné snížit tlakovou ztrátu.



Obr. 6. Proudění při náhlém zúžení průřezu. (Longauer, 1991)

b) Zvětšení průřezu

Při takovéto změně průřezu zvětšení způsobí, že krajní proudnice se odtrhnou a v rozích rozšířeného potrubí vytváří víry, které způsobují tlakovou ztrátu. Velikost této ztráty závisí také na úpravě výtokové hrany potrubí. Při konstruování potrubí se doporučuje, aby přechod nebyl náhlý ale pozvolný. (Longauer, 1991)



Obr. 7. Proudové vlákno při náhlém rozšíření (Longauer, 1991)

Tab. 4. Součinitel vřazeného odporu pro změnu průřezu (Hejma a kol. 1981)

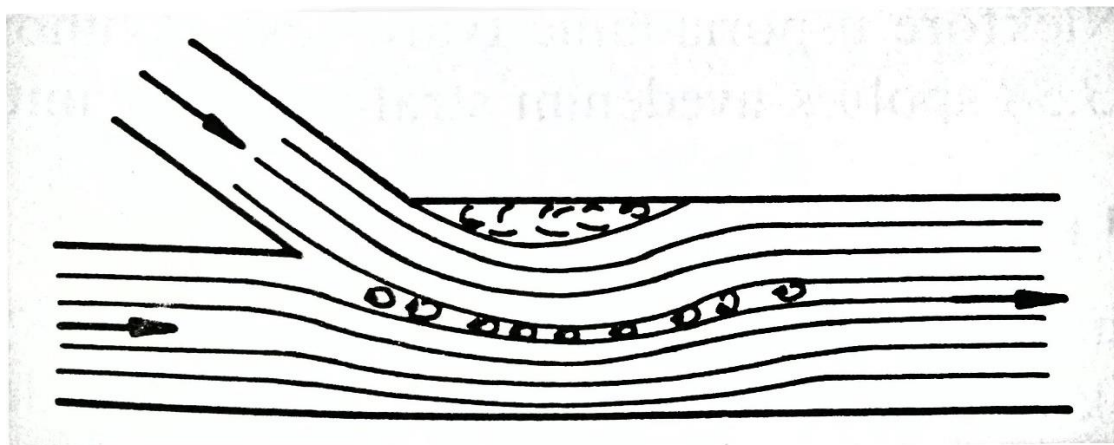
Změny průřezu													
2.1	Náhlé rozšíření		S_1/S_2	0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
			ζ	1,0	0,65	0,36	0,3	0,15	0,1	0,05	0	0	
2.2	Pozvolné zúžení		S_1/S_2										
			α	> 0	0,2	0,4	0,6	0,8					
			45°	0,11	0,08	0,06	0,04	0,02					
			90°	0,17	0,14	0,11	0,07	0,03					
			120°	0,28	0,23	0,17	0,11	0,05					
150°	0,38	0,31	0,23	0,20	0,08								
2.3	Pozvolné rozšíření		S_1/S_2	> 0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3				
			α										
			20°	0,02	0,05	0,08	0,16	0,25	0,35				
			30°	0,03	0,08	0,13	0,20	0,30	0,45				
			>30°	0,04	0,12	0,16	0,25	0,35	0,65				

3.4.1.2.3 Vřazené odpory způsobené rozdělováním a spojováním proudů

Při spojování nebo rozdělování proudu, vzniknou najednou ztráty změnou směru a změnou průřezu. Na spojování nebo rozdělování proudu se používají tvarovky. Součinitel vřazeného odporu u tvarovky závisí na množství protékající tekutiny, průměru odbočky, úhlu odbočky, úpravě vtokové hrany a samozřejmě jestli se jedná o rozdělování nebo spojování proudů.

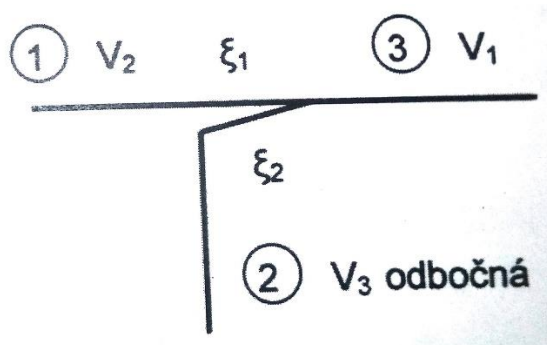
Tyto odpory nejsou dosud úplně prozkoumané. Proto se v praxi používají průměrné hodnoty pro tvarovky s podobnými průměry hrdel a stejné hodnoty se používají i při rozdílných průměrech hrdel. Chyba vzniklá při takovémto výpočtu není příliš velká.

Ve vzduchotechnice se nejčastěji používají nasávací odbočky. Na obr. 8 je zobrazena jednostranně nasávající tvarovka. Na tomto obrázku vidíme, že ztráty vznikají odtržením proudu od stěny hlavního vedení, odtržení je způsobeno stlačením hlavního proudu proudem z odbočky. Poté mezi těmito dvěma proudy vzniká víření, také vznikne nové rozdělení rychlostí. (Longauer, 1991)



Obr. 8. Proudové vlákno při spojování proudů (Longauer, 1991)

V této práci se pro výpočet vřazeného odporu při spojování proudů využívá metoda uvedená v publikaci Rousek a kol. 2007 a je to opis oborové normy. Tato metoda je založena na poměrech rychlostí v potrubí.



Obr. 9. Schéma k výpočtové tabulce 5. (Opis oborové normy)

Tab. 5. Výpočtová tabulka odporu při spojování proudů (Opis oborové normy)

Poměry rychlostí						
V_1/V_2	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
ζ_1	0,4	0,35	0,2	0,1	0	0
V_3/V_2	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
ζ_2	1,3	0,7	0	0,1	0,25	0,35

3.5 Části odsávacího zařízení

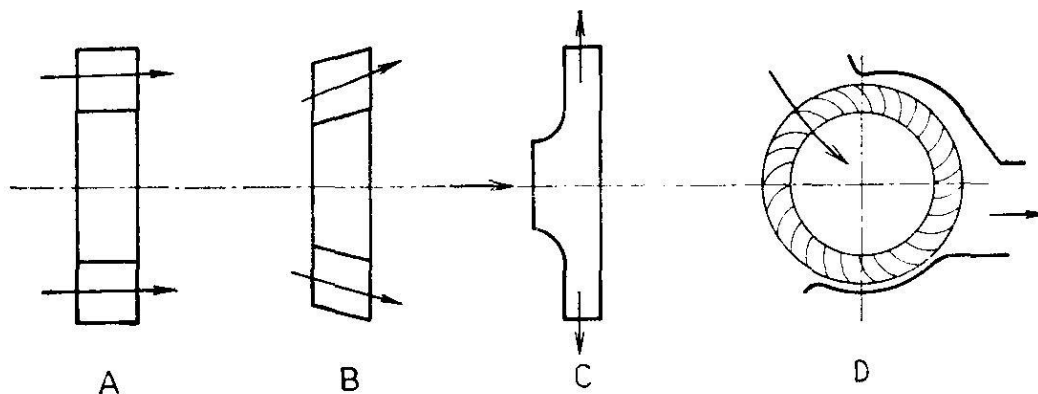
3.5.1 Ventilátor

Pohyb vzduchu a tím také dřevního odpadu je způsoben rozdílem tlaků v potrubním vedení. Takto vyvozený rozdíl tlaků se mění v kinetickou energii. K tomuto účelu se nejčastěji využívá ventilátor, v některých případech, kdy ventilátor nevyvine dostatečný tlak, se používá dmýchadlo.

3.5.1.1 Typy ventilátorů

Ventilátor má vždy oběžné kolo a skříň. Podle směru proudění vzduchu ve skříni se ventilátory rozdělují:

- a) Radiální (odstředivé)
- b) Axiální (osové)
- c) Diametrální
- d) Diagonální

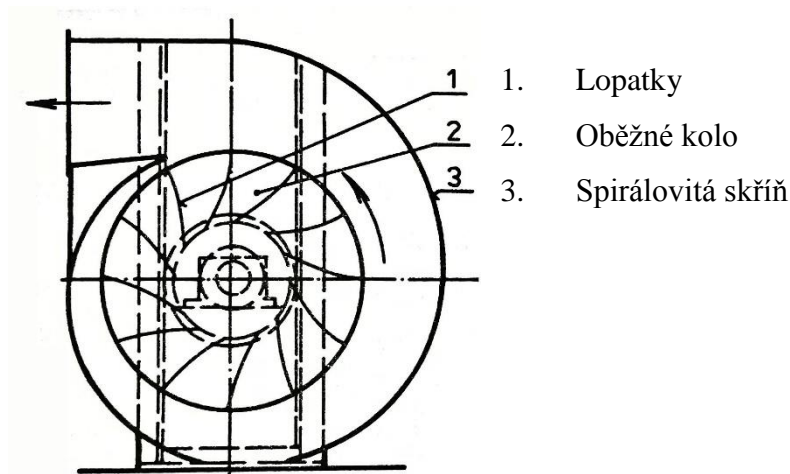


A – Axiální (osové), B – Diagonální, C – Radiální (odstředivý), D – Diametrální

Obr. 10. Směr průtoku vzduchu různými ventilátory. (Hejma a kol. 1981)

Ad. a) Radiální (odstředivý)

Vzduch s odsávaným materiálem je nasáván lopatkami ve středě ventilátoru, poté je odstředivou silou vytlačěn do skříně, která má spirálovitý tvar.



Obr. 11. Schéma odstředivého ventilátoru (Longauer, 1991)

Na dopravu materiálu, který prochází přímo ventilátorem jako tomu je u odsávání dřevního odpadu, se používá 6 až 8 lopatek rovných nebo jen málo zakřivených. Často se lopatky zakřivují pro lepší odolnost proti poškození dopravovaným materiálem.

Ad. b) Axiální (osové)

Směr proudu vzduchu se v tomto ventilátoru nemění, jak můžeme vidět na obr. 9. Tento ventilátor má použití při dopravování velkého objemu vzduchu ale malém tlakovém rozdílu. Používá se při malých tlakových rozdílech maximálně po 1 800 Pa. (Longauer, 1991)

3.5.1.2 Parametry a výpočet ventilátoru

Ventilátory se nejčastěji vyrábějí v tzv. typových řadách. Typová řada obsahuje různé velikosti ventilátorů, které jsou navrženy tak, aby jejich výtoková část byla pro všechny velikosti podobná. Typové řady jsou uváděny v katalogích, kde jsou také uvedené technické a aerodynamické vlastnosti.

Aerodynamické vlastnosti se vyjadřují celkovým tlakem p_c (Pa), objemovým průtokem vzdušiny Q_v ($m^3 \cdot s^{-1}$), a příkonem P_v (W). Tyto vlastnosti nejvíce závisí na druhu ventilátoru, velikosti ventilátoru a vlastnostech dopravovaného materiálu.

Při výpočtu ventilátoru jde o to, aby dosáhl předepsaného množství dopravovaného vzduchu a potřebného tlaku. Typ ventilátoru je daný velikostí a tvarem oběžných lopatek. Při výpočtu vycházíme z hodnot, které byly uvedeny při výpočtu odsávací sítě, tj. tlakové ztráty celé sítě, druh dopravovaného média, délku dopravního potrubí a dopravované množství. Při zanedbaní stlačitelnosti vzduchu můžeme výkon získat:

$$P_v = Q_v \cdot p_c \quad (W) \quad (17.)$$

Q_v – množství dopravovaného vzduchu ($m^3 \cdot s^{-1}$)

p_c – tlaková ztráta sítě (Pa)

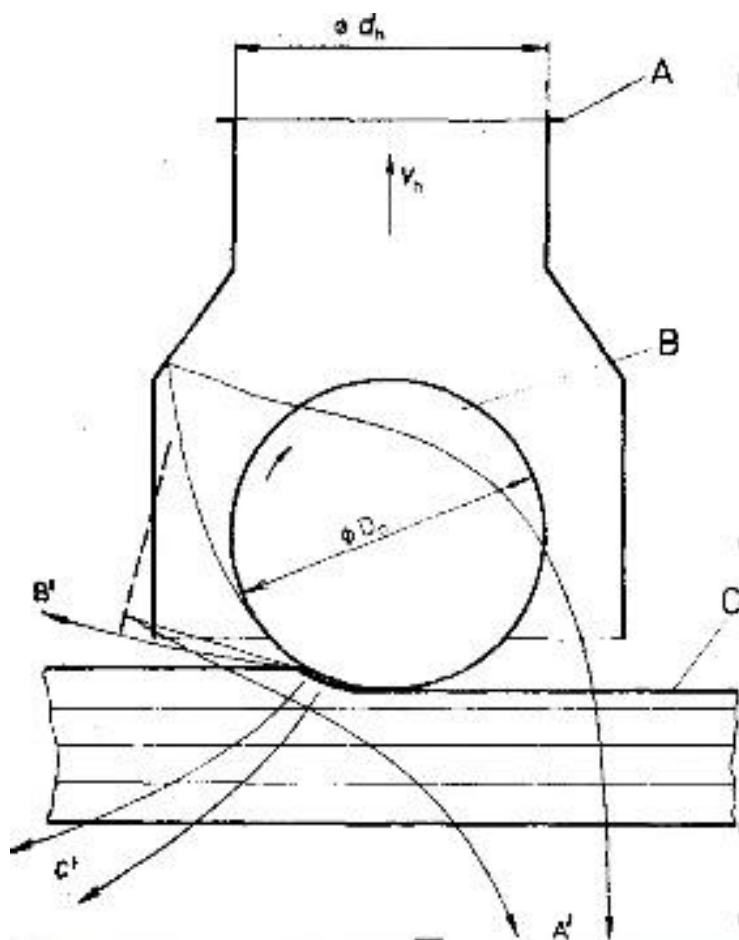
3.5.2 Odsávací zákryty

Otvor na odsávání vzduchu a dopravovaného materiálu se nazývá odsávací zákryt. Tento kryt je určený k lepšímu usměrnění odsávaného materiálu, který má velkou kinetickou energii a může způsobit i poranění pracovníka.

Zásady pro navrhování zákrytů:

1. Zákryt umístíme co nejbližší ke zdroji dopravovaného materiálu.
2. Tvar navrhujeme tak, aby všechny odsávané částičky směřovaly do jeho ústí.
3. Zákryt musí mít takovou rychlost vzduchu, aby zachytil všechn odsávaný materiál.
4. Zákryt musí být umístěn tak, aby mezi ním a nástrojem nebyla žádná překážka.

V současnosti se zákryty navrhují podle způsobu obrábění, druhu obráběného materiálu a řezných podmínek nástroje.



Obr. 12. Zobrazení zákrytu frézy a jeho funkce (Hejma, 1981)

A – sací hrdlo, B – frézovací nástroj, C – materiál, D_n – průměr nástroje, d_h – průměr hrdla, v_h – odsávací rychlost

Z Obr. 12. je patrná funkce zachycování odpadu. Při frézování vzniká tříska, díky otáčení frézovací hlavy od ní třísky odletují do odsávacího zákrytu. V zákrytu proudí vzduch, který je odsáván do odsávacího potrubí. Při obrábění vznikají malé a velké částice. Malé částice jsou vzduchem strženy a rovnou odsáty. Větší částice narážejí na stěnu zákrytu a tím ztrácejí svou kinetickou energii, poté jsou také odváděny do potrubí. Mohou se vyzkytnout tyto nežádoucí jevy:

- Trajektorie A' vyznačena na Obr. 12. Třísky při obrábění narážejí na špatně navrženou stěnu zákrytu a odrážejí se od ní ven.
- Špatně navržená přední stěna zákrytu, mezi obráběným materiálem a touto stěnou je velká mezera kudy třísky proniknou ven. Tato trajektorie je označena jako B' a můžeme ji vidět na Obr. 12.

- c) Trajektorie C' na Obr. 12. popisuje pohyb třísky, která se odštěpuje z horní hrany obráběného materiálu. Takto vzniklá tříška se většinou pohybuje směrem ven ze zákrytu.

3.5.2.1 Proudové pole zákrytu

Činitel, který zásadně ovlivňuje funkci zákrytu je proudové pole protékajícího vzduchu. Proudové pole ovlivňuje pohyb třísek v zákrytu, tím určuje účinnost zákrytu a také součinitel vřazeného odporu. Teoretickou cestou se proudové pole dá jen těžko vypočítat, proto se častěji používají jednodušší metody jako například modelové zkoušky.

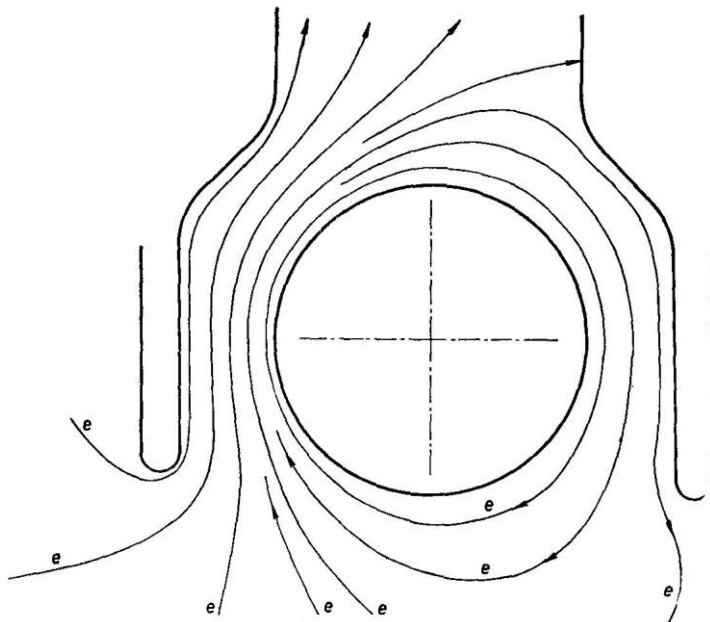
Na dopravu částic do hrdla zákrytu se ze značné části podílí oblast vyvinutého proudění. Toto proudění si lze představit jakou lineární proud, který obtéká rotující válec. Při četných zkouškách bylo zjištěno, že otáčející se nástroj má velký vliv na proudové pole v zákrytu. Při uvažování se stěnami zákrytu je za jistých předpokladů možné vypočítat koeficient k , podle kterého lze určit proudy v zákrytu.

$$\frac{2v_h}{U_n} = k \begin{matrix} \geq 1 \\ < 1 \end{matrix} \quad (18.)$$

v_h – rychlost vzduchu (m.s^{-1})

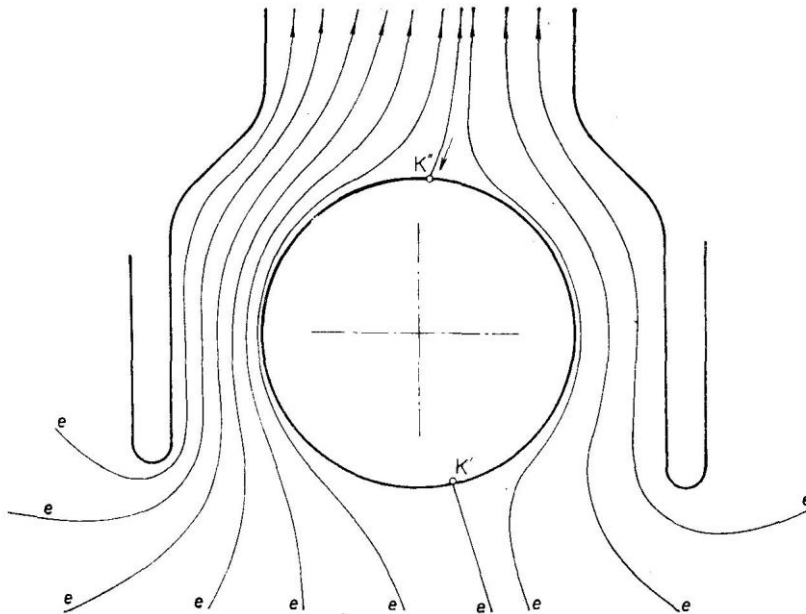
U_n – obvodová rychlost nástroje (m.s^{-1})

k – koeficient (-)



Obr. 13. Proudové pole zákrytu $k < 1$ (Hejma a kol. 1981)

e – proudnice



Obr. 14. Proudové pole zákrytu $k > 1$ (Hejma a kol. 1981)

e – proudnice, K – body stagnace

3.6 Zásady výpočtu odsávacího potrubí

Důležitý je správný návrh odsávacího potrubí, nejen kvůli správné funkci odsávání, ale také z ekonomického hlediska. Při nesprávném návrhu se mohou zvýšit náklady na pořízení, a provoz odsávacího zařízení.

- A) Pro návrh tvaru odsávacího potrubí je důležité znát rozmístění strojů, konstrukci haly, způsob výroby, apod. Délka, tvar a průběh odsávacího potrubí je závislé na umístění strojů a odlučovacího zařízení. Potrubní musí být co nejkratší, s minimum použitých tvarových kusů. Určí se způsob vedení potrubí (spodní nebo horní), podle konstrukce haly a druhu výroby. Dále se určí, jestli bude použita recyklace odsávaného vzduchu, nebo bude vzduch vypouštěn do ovzduší.
- B) Pro správný výpočet odsávání je také důležité znát konstrukci a funkci strojů. Podle těchto informací se stanoví počet odsávaných míst, průměry odsávacích hrdel a potřebné rychlosti vzduchu v nich. U stroje, který slouží k opracování různých dílců s různými nástroji je při výpočtu brán nejpříznivější případ obrábění.

Pro výpočet odsávací sítě se používá více metod. Metoda nejpoužívanější se nazývá metoda celkových tlaků. (Hejma a kol. 1981)

3.6.1 Metoda celkových tlaků

- 1) Určení trasy vzduchovodu, zásady určování ad. A) ve stati (3.6.)
- 2) Určení hlavní větve
 - jsou to úseky na sebe navazující, které mají mezi koncem potrubí a ventilátorem ve všech kombinacích největší tlakovou ztrátu
- 3) Volba rychlostí
 - určení rychlosti vzduchu v odsávacích zákrytech podle odsávaného materiálu nebo technické dokumentace
 - volba rychlostí ve větvích v rozmezí doporučených hodnot, směrem k ventilátoru by se tato rychlost měla zvyšovat
- 4) Výpočtové úseky
 - odsávací síť se rozdělí na úseky, které se přehledně očíslovají
 - jedna část je určena konstantní rychlostí a místními odpory vztahenými k této rychlosti
 - obvykle úsek končí odbočkou nebo přechodem
- 5) Volba velikosti průřezu potrubí a výpočet tlakových ztrát
 - podle předběžné rychlosti vzduchu se určí průměr potrubí
 - vybere se nejbližší typizovaný průměr potrubí a přepočte se skutečná rychlost vzduchu v potrubí
 - pro opravenou rychlost vzduchu se vypočítá tlaková ztráta v potrubí
- 6) Vyrovnání tlaků v odbočkách
 - jako odbočka se počítá vedlejší větev (větev s menší tlakovou ztrátou)
 - při výpočtu potřebujeme, aby tlaková ztráta ve vedlejší větvi byla stejná jako ve větvi hlavní
 - za tímto účelem je možné použít tři způsoby:

a) zmenšením průměru potrubí odbočky podle:

$$\frac{\Delta p_{z2}}{\Delta p_{z1}} = \frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{d_1^4}{d_2^4} \quad (19.)$$

b) vložení redukční vložky, průměr vložky se vypočítá ze vztahu (28.).

c) kombinace předchozích dvou způsobů

7) Sečtení tlakových ztrát hlavní větve a výpočet příkonu ventilátoru

- sečtení tlakových ztrát úseků, které byly určeny jako hlavní větev
- přičtení výtlaku z ventilátoru
- výpočet příkonu ventilátoru podle rovnice

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p_{z \text{ celk.}}}{\eta} \quad (\text{W}) \quad (20.)$$

Q – Množství odsávaného vzduchu ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

$\Delta p_{z \text{ celk.}}$ – celkový tlak hlavní větve (Pa)

η – účinnost ventilátoru (–)

(Rousek a kol. 2007)

4 Materiál a metodika

4.1 Tvorba schéma potrubí

Firma SCHS stolárna s.r.o. je vybudována v objektu, kde již dříve byl podnik zabývající se výrobou ze dřeva. Díky tomu zde bylo mimo jiné vybudováno i odsávací zařízení. Bohužel kvůli výměně majitelů se dokumentace k tomuto odsávacímu zařízení nedochovala. Z toho důvodu bylo nutné si dokumentaci vytvořit. Prvním krokem bylo zaměření strojů, které se provádělo svinovacím metrem. Dalším krokem bylo zakreslení potrubí, to se provádělo vizuálně. Z vytvořeného nákresu byla získána mnohem lepší představa o konstrukci tohoto odsávání.

Takto vytvořený nákres byl překreslen do digitální podoby v programu AutoCAD. Protože některé stroje mají více odsávacích zákrytů, každý tento zákryt byl popsán čísly a délky potrubí zakótovány. Dále schéma bylo rozděleno na úseky, které byly očíslovány. Schéma je možno vidět v samostatné příloze, bližší informace o strojích jsou v Tab. 6.

Toto schéma slouží k přepočtu výkonu stávající sítě. Beze změn je také použito k výpočtu nově navrhovaného potrubí.

4.2 Získání informací o strojích

Jak bylo uvedeno již v předchozí části, firma je v objektu bývalého dřevozpracujícího podniku. Kromě zmíněného odsávacího zařízení zde zůstaly i stroje na obrábění dřeva. Samozřejmě jako u odsávacího zařízení se technická dokumentace nedochovala, proto bylo nutné změřit průměry odsávacích zákrytů a určit rychlost vzduchu pro odsávání. Takto bylo nutné postupovat u osmi strojů. Pro určení rychlosti vzduchu v zákrytu pro tyto stroje byla použita Tab. 2. s doporučenými hodnotami. U třech strojů (rovinná srovnávací frézka, spodní frézka a tloušťkovací frézka) byla určena rychlost vzduchu $22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tyto stroje jak už název napovídá, jsou frézky a ty mají jako odpad z obrábění hobliny.

Další stroje (formátovací pila, zkracovací pila, hranová bruska, úzkopásová bruska) jsou kombinace kotoučových pil a brusek. Z těchto strojů je odpad piliny a brusný prach. Pro zjednodušení byla vybrána rychlost, která je doporučena u obou odpadů a to je $17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Zbylé stroje si firma koupila, proto od nich má technickou dokumentaci. Tyto dokumenty mi byli ochotni poskytnout k prostudování a opsání příslušných hodnot. Všechny tyto hodnoty, jako je průměr odsávacího zákrytu stroje a doporučená rychlost vzduchu v zákrytu je uvedena v Tab. 6.

4.3 Postup výpočtu odsávacího systému

Použitá metoda výpočtu se nazývá metoda celkových tlaků. Při této metodě se počítají odpory jednotlivých větví, posléze se vybere větev s největším odporem, podle kterého se vypočítá potřebný výkon motoru.

4.3.1 Tvorba tabulky pro výpočet

Prvním krokem bylo vytvoření tabulky, do které se zapisovali hodnoty pro výpočet. Tato tabulka je rozdělena podle částí schéma a je vždy zobrazena pod obrázkem schéma.

Tabulka musí obsahovat:

4.3.1.1 Druh odporu

Název všech částí potrubí, které vytváří nějaký odpor. Tyto části jsou dány stavebními dispozicemi dílny, počtem strojů a jejich rozmístěním.

4.3.1.2 Rozměr elementu

Průměr použitého potrubí uváděný v milimetrech s označením **d**. Tento rozměr je dán zákrytem stroje, všechny tyto průměry jsou uvedeny v tab. 6.

Průměry dalších potrubí se počítají:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_c}{\pi}} \cdot 1000 \text{ (mm)} \quad (21.)$$

d – předběžný výpočet průměru potrubí (mm)

Q_c – celkové množství vzduchu, vypočítá se sečtením všech Q , které jsou připojeny k počítané části potrubí ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Po tomto výpočtu se výsledek přepíše na nejbližší normovaný průměr. Pokud v kapitole 4.5.1.4. rychlost vzduchu vyjde menší než minimální rychlost, je potřeba průměr upravit tak aby, tato rychlost byla dostatečná.

4.3.1.3 Plocha průřezu

Plocha průřezu potrubí vypočítaná z rozměru elementu.

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (\text{m}^2) \quad (22.)$$

d – průměr potrubí z předchozí kapitoly

4.3.1.4 Rychlost vzduchu

Rychlost vzduchu v počítané části potrubí, je dána druhem dopravovaného materiálu viz kapitola 3.1.2, také druhem stroje viz 4.3, nebo se tato rychlost vypočítá.

$$v = \frac{Q_c}{S} \quad (\text{m.s}^{-1}) \quad (23.)$$

v – vypočítaná rychlost vzduchu, zaokrouhlí se na jedno desetinné číslo

Q_c – celkové množství vzduchu, použité již v kapitole 4.5.1.2.

S – plocha průřezu vypočítaná v kapitole 4.5.1.3.

4.3.1.5 Dynamický tlak

Dynamický tlak v uvedené části potrubí.

Pro naše účely se počítá:

$$P_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (\text{Pa}) \quad (24.)$$

ρ – hustota vzduchu, která byla určena na 1,2 kg.m³

v – rychlost vzduchu, zjištění uvedeno v předchozí kapitole 4.5.1.4. (m.s⁻¹)

4.3.1.6 Množství vzduchu

Množství vzduchu v m³, které projde za jednu sekundu v počítaném potrubí.

Počítá se:

$$Q = S \cdot v \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}) \quad (25.)$$

S – plocha průřezu, vypočítaná v kapitole 4.5.1.3. (m²)

v – rychlost vzduchu, zjištění uvedeno v předchozí kapitole 4.5.1.4. (m.s⁻¹)

4.3.1.7 Délka potrubí

Délka počítané části potrubí, uvedená v m. Tyto délky lze najít na schématu potrubí.

4.3.1.8 Odpor na 1 m

Odpor, který vyvolá rovná, počítaná část potrubí na jednom metru. Tento odpor lze najít z diagramu na Obr. 3. Odpor na diagramu se nalezne pomocí kombinace hodnot množství vzduchu (Q) a rychlosti vzduchu (v), nebo průměru potrubí (d) a rychlosti vzduchu (v). V této práci je použita možnost druhá kdy stačí znát průměr potrubí, výpočet je uveden v kapitole 4.5.1.2. a rychlost vzduchu v tomto potrubí, která se počítá podle kapitoly 4.5.1.4.

4.3.1.9 Součinitel vřazeného odporu

Odpor, který vyvolá počítaný element, nejčastěji se zjišťuje ve zkušebním zařízení. Tento součinitel je blíže popsán v kapitole 3.4.1.2.

4.3.1.10 Odpor elementu

Odpor počítané části, který se počítá.

Pro použité elementy:

$$p_z = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (\text{Pa}) \quad (26.)$$

$\frac{\rho \cdot v^2}{2}$ – dynamický tlak počítaný v kapitole 4.5.1.5. (Pa)

ζ – součinitel vřazeného odporu, kapitola 3.4.1.2 (-)

Pro přímé potrubí:

$$p_z = l \cdot R \quad (\text{Pa}) \quad (27.)$$

l – délka potrubí, kapitola 4.5.1.7. (m)

R – odpor na 1 m, kapitola 4.5.1.8.(Pa)

4.3.1.11 Odpor úseku

Sečtení všech odporů elementů ve vymezené části potrubní sítě.

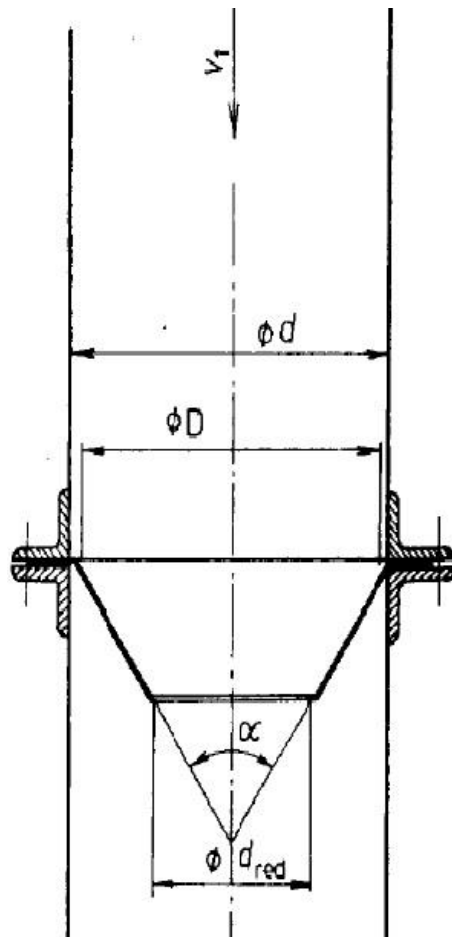
4.3.1.12 Odpor hlavní větve

Součet odporů úseků, které byly vyhodnoceny jako hlavní. Za hlavní trasu se bere trasa s největší tlakovou ztrátou.

4.3.2 Vyrovnání tlaků ve větvích

Vyrovnání tlaků se provádí mezi hlavními a vedlejšími větvemi. Kdyby se toto vyrovnání neprovedlo, ve vedlejší větvi by byl menší tlak tedy menší odpor a začalo by tudý protékat větší množství vzduchu. To by mělo za následek, že v hlavní větvi by se snížilo množství procházejícího vzduchu. Je však důležité, aby bylo dodrženo předepsané množství odsávaného vzduchu pro obě větve, proto se musí ve vedlejší větvi zvýšit tlak tak, aby se vyrovnal tlakové ztrátě ve větvi hlavní.

V našem případě je pro vyrovnání těchto tlaků použita redukční vložka, která je uveden na Obr. 14.



Obr. 15. Redukční vložka (Hejma a kol. 1981)

Úhel α zakreslený na Obr. 15 se pro prach a podobný materiál uvádí 60° . Průměr, na který musíme potrubí zredukovat je na Obr. 15. zaznačen jako d_{red} .

d_{red} se vypočítá:

$$d_{red} = 1,1 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{1}{\sqrt{\frac{\Delta p}{p_d} + 1}}} \cdot 1000 \quad (\text{mm}) \quad (28.)$$

D – průměr redukovaného potrubí (m)

Δp – tlakový rozdíl, který je potřeba vložkou seškrtnit (Pa)

p_d – dynamický tlak (Pa)

Pro průchod materiálu potrubím potřebujeme, aby se průměr potrubí příliš nezmenšil, jinak by se zde materiál mohl zachytit. Pro tuto možnost platí pravidlo, že d_{red} musí být větší než $0,6 \cdot D$, pokud je tomu naopak musí seškrtnení provést dvěma vložkami. (Rousek, 2007)

4.4 Výpočetní kontrola stávajícího stavu odsávacího systému

Stávající odsávací systém má totožné schéma jako nově navrhované odsávání, také zadávací tabulka (Tab. 6) je stejná. Při výpočtu stávajícího odsávání bylo postupováno jako v případě nově navrhované odsávací sítě, tento postup je uvedený v kapitole 4.4. Pouze byly použity již dané průměry potrubí, bez tlakového vyrovnání některých větví. Výpočtová tabulka stávajícího odsávacího systému je uvedena jako Příloha 1.

Vypočítaný výkon, pro to aby stávající odsávací systém fungoval bez nedostatků, je 126 kW s tlakovou ztrátou 14000 Pa. Tento výkon a potřebný tlak dokáže vyvinout jen vysokotlaký ventilátor, jeho použití zde je ale nereálné.

4.5 Analýza problematiky stávajícího odsávání a posouzení konstrukce

Po přepočtu uvedeném v předchozí kapitole, byla provedena analýza konstrukce stávajícího odsávání. Nalezeny byly tyto nejčastěji se objevující chyby:

- a) Největší chybou stávající konstrukce odsávání jsou špatně voleny průměry potrubí. Potrubí není odstupňováno, a proto je těžké udržet na takovou vzdálenost minimální rychlost odsávacího vzduchu. Tato rychlost by podle Tab. 2. měla být min 19 m.s⁻¹.
- b) Další chybou je nevyrovnávání tlaků ve větvích popsané v kapitole 4.5.2. Pokud se v odbočce neprovede vyrovnání tlaku s hlavní větví, musí být do celkového tlaku započítána i tlaková ztráta odbočky.
- c) Tvarové elementy potrubí, které jsou zde zbytečné a mají velkou tlakovou ztrátu.

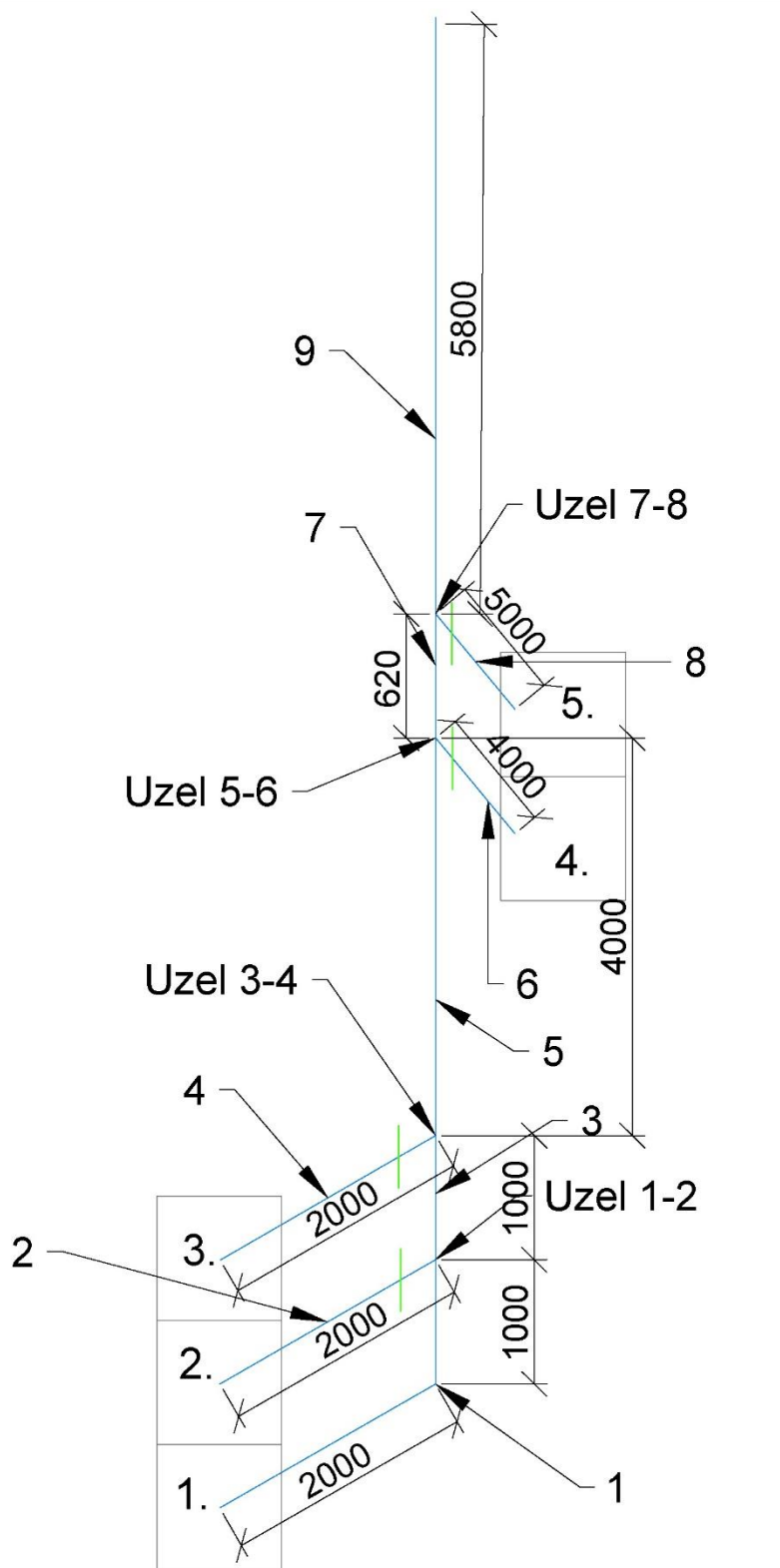
5 Výsledky

Tab. 6. Zadávací tabulka se základními hodnotami pro výpočet.

Číslo stroje	Název stroje	Průměr d (mm)	Rychlost (v) (m/s)
1	Malé obráběcí centrum	100	22
2	Malé obráběcí centrum	140	22
3	Malé obráběcí centrum	140	22
4	Spodní frézka	140	22
5	Srovnávací frézka	140	22
6	Velké obráběcí centrum	100	22
7	Velké obráběcí centrum	160	22
8	Velké obráběcí centrum	160	22
9	Velké obráběcí centrum	100	22
10	Velké obráběcí centrum	160	22
11	Velké obráběcí centrum	100	22
12	Bruska širokopásová	160	17
13	Spodní frézka	100	22
14	Spodní frézka	125	22
15	Tloušťkovací frézka	140	22
16	Bruska egalizační	140	17
17	Formátovací pila	125	17
18	Kartáčovací stroj	100	17
19	Kartáčovací stroj	100	17
20	Kartáčovací stroj	100	17
21	Kartáčovací stroj	100	17
22	Kartáčovací stroj	100	17
23	Hranová bruska	125	17
24	Úzkopásová bruska	125	17
25	Úzkopásová bruska	125	17
26	Zkracovací pila	100	17
27	Čtyřstranná frézka	160	20
28	Čtyřstranná frézka	120	20
29	Čtyřstranná frézka	160	20
30	Čtyřstranná frézka	120	20
31	Čtyřstranná frézka	160	20

Pro lepší přehlednost bylo schéma rozděleno do více částí. V každé této části je přibliženo z jakých elementů se skládá a vypočtené hodnoty. Celé schéma je v příloze.

5.1 Schéma č. 1

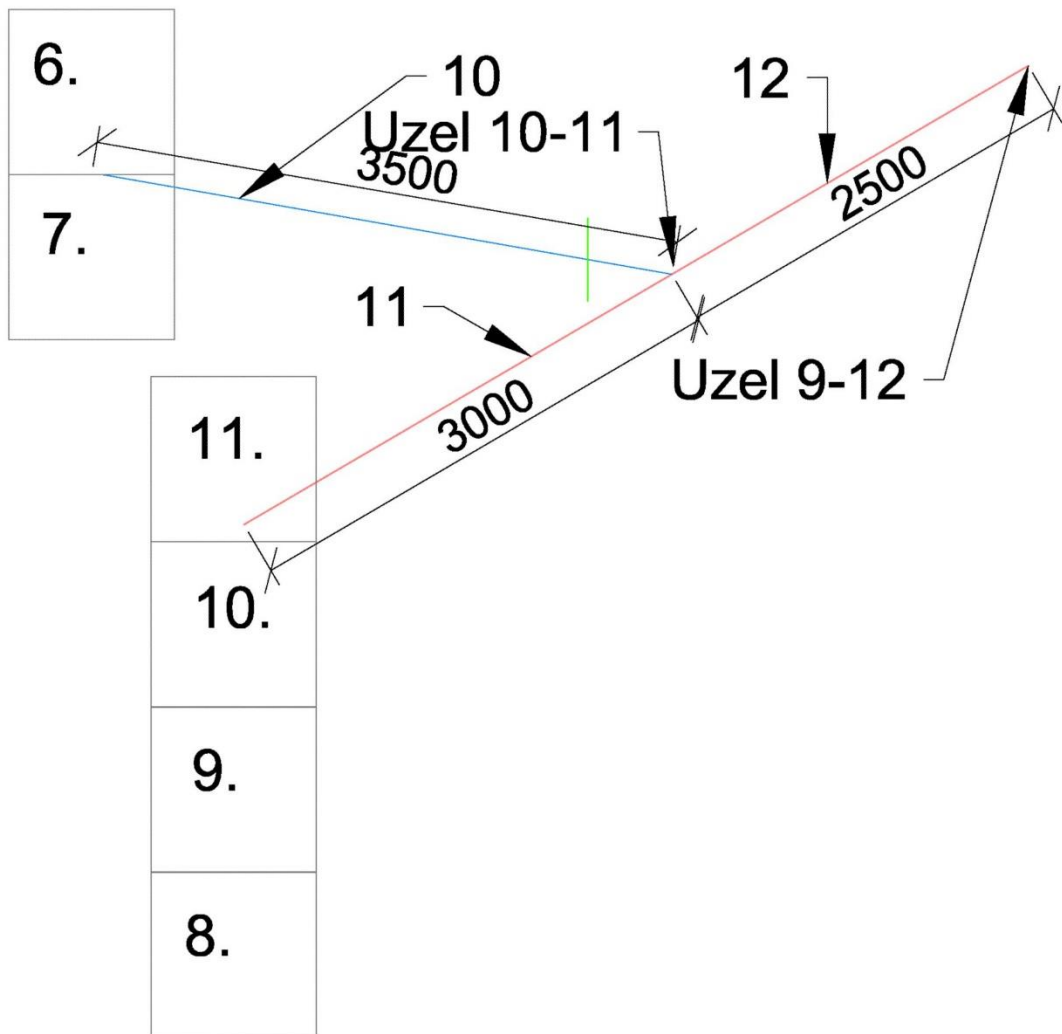


Obr. 16. První část výpočtového schéma.

Tab. 7. Výpočtová tabulka pro první část odsávacího potrubí.

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak P_d (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p_z (Pa)	Odpor úseku p_{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
1	1	Zákryt	100	0,0079	22	290,40	0,17			1,00	290,40		
		Ohebná hadice	100	0,0079	22	290,40	0,17	2	90		180,00		
		Potrubí	100	0,0079	22	290,40	0,17	1	90		90,00		
		Rozbočka	180/100/140	0,0079	22	290,40	0,17			0,28	79,86	640,26	
2	2	Zákryt	140	0,0154	22	290,40	0,34			1,00	290,40		
		Ohebná hadice	140	0,0154	22	290,40	0,34	2	60	0,00	120,00		
		Rozbočka	180/100/140	0,0154	22	290,40	0,34			0,00	0,00	410,40	
		Redukční vložka	140/111	0,0154	22	290,40	0,34			0,79	229,86	640,26	
3		Potrubí	180	0,0254	20	240,00	0,51	1	28	0,00	28,00		
		Rozbočka	225/180/140	0,0254	20	240,00	0,51			0,15	36,00	64,00	
4	3	Zákryt	140	0,0154	22	290,40	0,34			1,00	290,40		
		Ohebná hadice	140	0,0154	22	290,40	0,34	2	60		120,00		
		Rozbočka	225/180/140	0,0154	22	290,40	0,34			0,05	14,52	424,92	
		Redukční vložka	140/109	0,0154	22	290,40	0,34			0,96	279,34	704,26	
5		Potrubí	225	0,0397	21,4	274,78	0,85	4	20		80,00		
		Rozbočka	280/225/140	0,0397	21,4	274,78	0,85			0,28	75,56	155,56	
6	4	Zákryt	140	0,0154	22	290,40	0,34			1,00	290,40		
		Ohebná hadice	140	0,0154	22	290,40	0,34	4	60		240,00		
		Rozbočka	280/225/140	0,0154	22	290,40	0,34			0,00	0,00	530,40	
		Redukční vložka	140/107	0,0154	22	290,40	0,34			1,13	329,42	859,82	
7		Potrubí	280	0,0615	19,4	225,82	1,19	0,62	16	0,00	9,92		
		Rozbočka	315/280/140	0,0615	19,4	225,82	1,19			0,20	45,16	55,08	
8	5	Zákryt	140	0,0154	22	290,40	0,34			1,00	290,40		
		Potrubí	140	0,0154	22	290,40	0,34	5	60		300,00		
		Rozbočka	315/280/140	0,0154	22	290,40	0,34			0,25	72,60	663,00	
		Redukční vložka	140/110	0,0154	22	290,40	0,34			0,87	251,91	914,91	
9		Potrubí	315	0,0779	19,7	232,85	1,53	5,8	16	0,00	92,80		
		Rozbočka	400/355/315	0,0779	19,7	232,85	1,53			0,00	0,00	92,80	1007,71
		Redukční vložka	315/197	0,0779	19,7	232,85	1,53			4,30	1000,51	2008,22	

5.2 Schéma č. 2

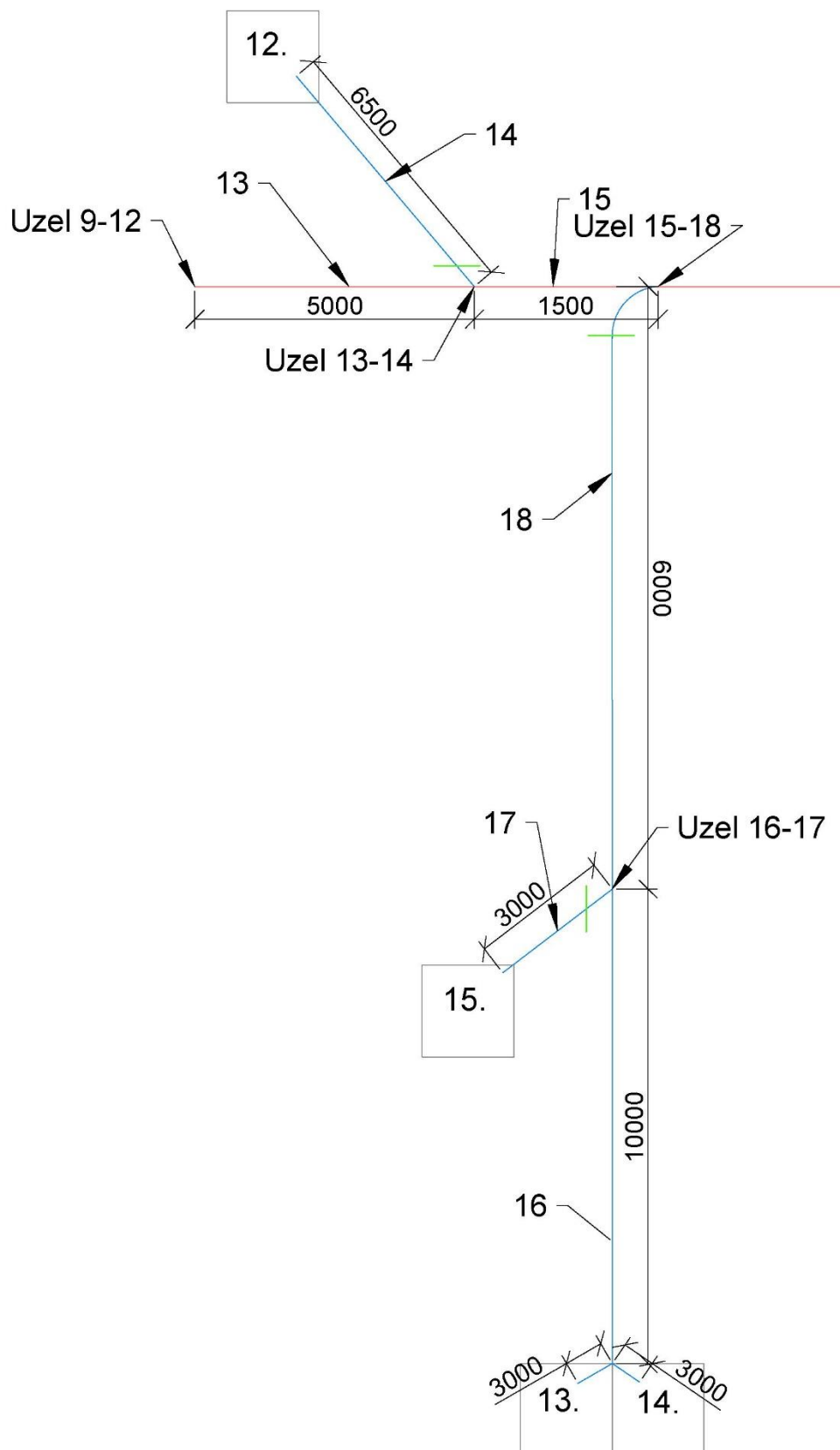


Obr. 17. Druhá část výpočtového schéma.

Tab. 8. Výpočetní tabulka pro druhou část odsávacího potrubí.

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak P_d (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p_z (Pa)	Odpor úseku p_{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)	
10	6	zákryt	100	0,0079	22	290,40	0,17			1,00	290,40			
		ohebná hadice	100	0,0079	22	290,40	0,17	3	90		270,00			
	7	Zákryt	160	0,0201	22	290,40	0,44			1,00	290,40			
		Ohebná hadice	160	0,0201	22	290,40	0,44	2	60		120,00			
		Svod - rozšíření	260/(300*180)	0,0540	11,4	77,98	0,62			0,15	11,70			
		Svod - zúžení	(300*180)/200	0,0314	19,6	230,50	0,62			0,09	20,74			
		Ohyb	200	0,0314	19,6	230,50	0,62			0,15	34,57			
		Potrubí	200	0,0314	19,6	230,50	0,62	3,5	25		87,50			
		Rozbočka	355/280/200	0,0314	19,6	230,50	0,62			0,00	0,00	1125,32		
		Redukční vložka	200/130	0,0314	19,6	230,50	0,62			3,50	807,08	1932,40		
11	8	Zákryt	100	0,0079	22	290,40	0,17			1,00	290,40			
		ohebná hadice	100	0,0079	22	290,40	0,17	2	90		180,00			
	9	Zákryt	160	0,0201	22	290,40	0,44			1,00	290,40			
		ohebná hadice	160	0,0201	22	290,40	0,44	2	60		120,00			
	10	Zákryt	160	0,0201	22	290,40	0,44			1,00	290,40			
		Ohebná hadice	160	0,0201	22	290,40	0,44	2	60		120,00			
	11	Zákryt	100	0,0079	22	290,40	0,17			1,00	290,40			
		Ohebná hadice	100	0,0079	22	290,40	0,17	2	90		180,00			
		Svod - rozšíření	520/600	0,1026	10	60,00	1,03			0,10	6,00			
		Svod - zúžení	280	0,0615	20	240,00	1,23			0,17	40,80			
		ohyb	280	0,0615	20	240,00	1,23			0,15	36,00			
		potrubí	280	0,0615	20	240,00	1,23	2,5	16		40,00			
		Rozbočka	355/280/200	0,0615	20	240,00	1,23			0,20	48,00	1932,40	1932,40	
	12	Potrubí	355	0,0989	19	216,60	1,88	2,5	13	0,00	32,50			
Rozbočka		400/355/315	0,0989	19	216,60	1,88			0,20	43,32	75,82	2008,22		

5.3 Schéma č. 3

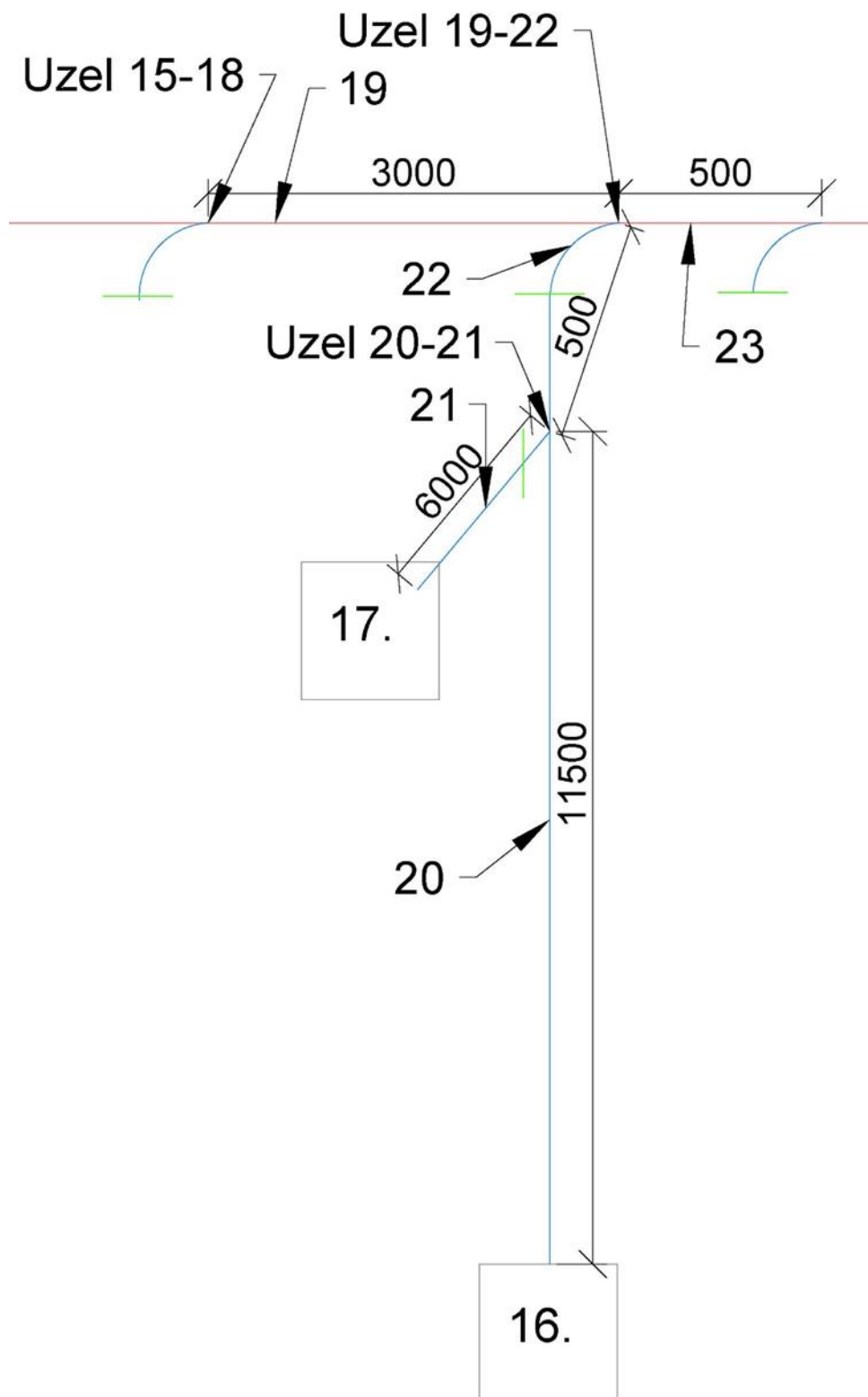


Obr. 18. Třetí část výpočtového schéma.

Tab. 9. Výpočtová tabulka pro třetí část odsávacího potrubí.

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak P_d (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p_z (Pa)	Odpor úseku p_{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
13		Potrubí	400	0,1256	19,9	237,61	2,50	5	10	0,00	50,00		
		Rozbočka	450/400/160	0,1256	19,9	237,61	2,50			0,28	65,34	115,34	2123,56
14	12	Zákryt	160	0,0201	17	173,40	0,34			1,00	173,40		
		Potrubí	160	0,0201	17	173,40	0,34	3	25		75,00		
		Ohyb	160	0,0201	17	173,40	0,34			0,15	26,01		
		Potrubí	160	0,0201	17	173,40	0,34	3,5	25		87,50		
		Rozbočka	450/400/160	0,020	17	173,40	0,34			0,35	60,69	422,60	
		Redukční vložka	160/98	0,020	17	173,40	0,34			4,90	850,48		
		Redukční vložka	160/98	0,020	17	173,40	0,34			4,90	850,48	2123,56	
15		Potrubí	450	0,159	17,9	192,25	2,85	1,5	7		10,50		
		Rozbočka	500/450/225	0,159	17,9	192,25	2,85			0,20	38,45	48,95	2172,51
16	13	Zákryt	100	0,008	22	290,40	0,17			1,00	290,40		
		Ohebná hadice	100	0,008	22	290,40	0,17	3	70		210,00		
	14	Zákryt	125	0,012	22	290,40	0,27			1,00	290,40		
		Ohebná hadice	125	0,012	22	290,40	0,27	3	55		165,00		
		Svod - rozšíření	325/225	0,020	14	117,60	0,28			0,10	11,76		
		Svod - zúžení	325/160	0,020	22	290,40	0,44			0,09	26,14		
		Ohyb	160	0,020	22	290,40	0,44			0,15	43,56		
		Potrubí	160	0,020	22	290,40	0,44	10	40		400,00		
		Rozbočka	225/140/160	0,020	22	290,40	0,44			0,28	79,86	1517,12	
17	15	Zákryt	140	0,015	22	290,40	0,34			1,00	290,40		
		Ohebná hadice	140	0,015	22	290,40	0,34	3	47		141,00		
		Rozbočka	225/140/160	0,015	22	290,40	0,34			0,00	0,00	431,40	
		Redukční vložka	140/90	0,015	22	290,40	0,34			3,74	1085,72	1517,12	
18		Potrubí	225	0,040	19,7	232,85	0,78	6	20		120,00		
		Rozbočka	500/450/225	0,040	19,7	232,85	0,78			0,05	11,64	131,64	
		Redukční vložka	225/157	0,040	19,7	232,85	0,78			2,25	523,75	2172,51	

5.4 Schéma č. 4

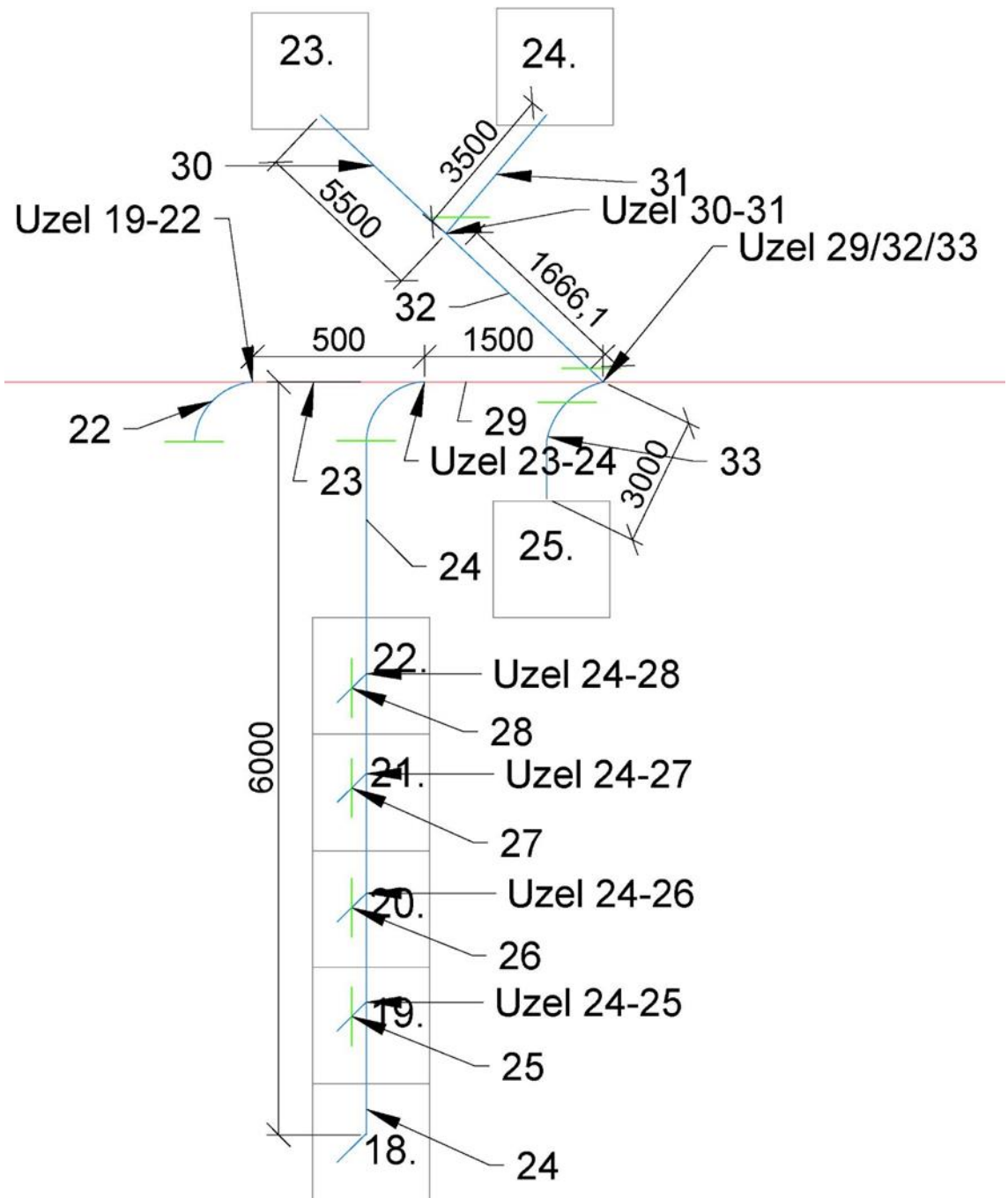


Obr. 19. Čtvrtá část výpočtového schéma.

Tab. 10. Výpočtová tabulka pro čtvrtou část odsávacího potrubí.

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozeř elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak P_d (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p_z (Pa)	Odpor úseku p_{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
19		Potrubí	500	0,196	18,5	205,35	3,63	3	6,5		19,50		
		Rozbočka	560/500/180	0,196	18,5	205,35	3,63			0,28	56,47	75,97	2248,48
20	16	Zákryt	140	0,015	17	173,40	0,26			1,00	173,40		
		Potrubí	140	0,015	17	173,40	0,26	1	30		30,00		
		Ohyb	140	0,015	17	173,40	0,26			0,15	26,01		
		Potrubí	140	0,015	17	173,40	0,26	1	30		30,00		
		Ohyb	140	0,015	17	173,40	0,26			0,15	26,01		
		Potrubí	140	0,015	17	173,40	0,26	9,5	30		285,00		
		Rozbočka	180/140/125	0,015	17	173,40	0,26			0,2	34,68	605,10	
21	17	Zákryt	125	0,012	17	173,40	0,21			1,00	173,40		
		potrubí	125	0,012	17	173,40	0,21	5	35		175,00		
		ohyb	125	0,012	17	173,40	0,21			0,25	43,35		
		potrubí	125	0,012	17	173,40	0,21	1	35		35,00		
		Rozbočka	180/140/125	0,012	17	173,40	0,21			0,00	0,00	426,75	
		Redukční vložka	125/99	0,012	17	173,40	0,21			1,03	178,35	605,10	
22		potrubí	180	0,025	18,5	205,35	0,47	0,5	25		12,50		
		Rozbočka	560/500/180	0,025	18,5	205,35	0,47			0,00	0,00	12,5	
		Redukční vložka	180/114	0,025	18,5	205,35	0,47			4,07	835,72		
		Redukční vložka	180/114	0,025	18,5	205,35	0,47			4,07	835,72	2289,0	

5.5 Schéma č. 5



Obr. 20. Pátá část výpočtového schéma.

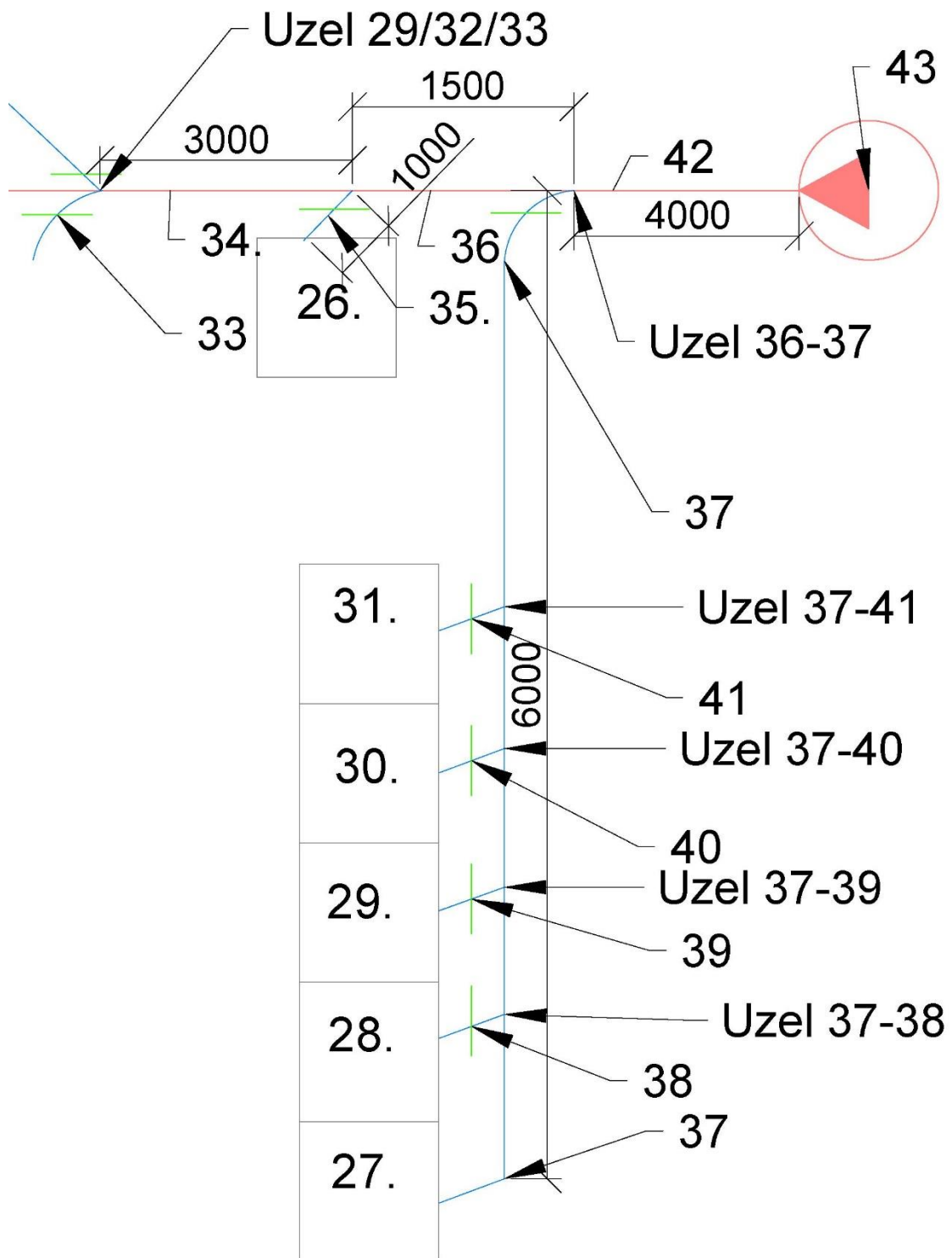
Tab. 11. Výpočtová tabulka pro pátou část odsávacího potrubí.

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak P_d (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p_z (Pa)	Odpor úseku p_{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
23		Potrubí	500	0,1963	20,9	262,09	4,10	0,5	2,5	0,00	1,25		
		Rozbočka	560/200/500	0,1963	20,9	262,09	4,10			0,15	39,31	40,56	2289,05
24	18	Zákryt	100	0,0079	17	173,40	0,13			1,00	173,40		
		Potrubí	100	0,0079	17	173,40	0,13	1,5	25		37,50		
		Ohyb	100	0,0079	17	173,40	0,13			0,15	26,01		
		náhlé rozšíření	200/100	0,0079	17	173,40	0,13			0,30	52,02		
		Rozbočka	200/100/200	0,0314	21	264,60	0,66			0,20	52,92		
		Rozbočka	200/100/200	0,0314	21	264,60	0,66			0,20	52,92		
		Rozbočka	200/100/200	0,0314	21	264,60	0,66			0,20	52,92		
		Rozbočka	200/100/200	0,0314	21	264,60	0,66			0,20	52,92		
		Potrubí	200	0,0314	21	264,60	0,66	6	18		108,00		
		Rozbočka	560/200/500	0,0314	21	264,60	0,66			0	0,00	608,61	
25	19	Zákryt	100	0,0079	17	173,40	0,13			1,00	173,40		
		Potrubí	100	0,0079	17	173,40	0,13	1,5	25		37,50		
		Rozbočka	200/100/200	0,0079	17	173,40	0,13			0,70	121,38	332,28	
		Redukční vložka	100/73	0,0079	17	173,40	0,13			1,59	276,33	608,61	
26	20	Zákryt	100	0,0079	17	173,40	0,13			1,00	173,40		
		Potrubí	100	0,0079	17	173,40	0,13	1,5	25		37,50		
		Rozbočka	200/100/200	0,0079	17	173,40	0,13			0,70	121,38	332,28	
		Redukční vložka	100/73	0,0079	17	173,40	0,13			1,59	276,33	608,61	
27	21	Zákryt	100	0,0079	17	173,40	0,13			1,00	173,40		
		Potrubí	100	0,0079	17	173,40	0,13	1,5	25		37,50		
		Rozbočka	200/100/200	0,0079	17	173,40	0,13			0,70	121,38	332,28	
		Redukční vložka	100/73	0,0079	17	173,40	0,13			1,59	276,33	608,61	
28	22	Zákryt	100	0,0079	17	173,40	0,13			1,00	173,40		
		Potrubí	100	0,0079	17	173,40	0,13	1,5	25		37,50		
		Rozbočka	200/100/200	0,0079	17	173,40	0,13			0,70	121,38	332,28	
		Redukční vložka	100/73	0,0079	17	173,40	0,13			1,59	276,33	608,61	
29		Potrubí	500	0,1963	24	345,60	4,71	1,5	7		10,50		
		Rozbočka	500/160/560	0,1963	24	345,60	4,71			0,28	95,04		
		Rozbočka	500/125/560	0,1963	24	345,60	4,71			0,28	95,04		2489,63

Tab. 12. Výpočtová tabulka pro pátou část odsávacího potrubí, pokračování předchozí tabulky.

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozeř elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak Pd (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p _z (Pa)	Odpor úseku p _{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)	
30	23	zákryt	125	0,0123	17	173,40	0,21			1,00	173,40			
		ohyb	125	0,0123	17	173,40	0,21			0,15	26,01			
		potrubí	125	0,0123	17	173,40	0,21	2,5	33		82,50			
		ohyb	125	0,0123	17	173,40	0,21			0,15	26,01			
		potrubí	125	0,0123	17	173,40	0,21	3	33		99,00			
		Rozbočka	125/160/125	0,0123	17	173,40	0,21			0,10	17,34	424,26		
31	24	zákryt	125	0,0123	17	173,40	0,21			1,00	173,40			
		ohyb	125	0,0123	17	173,40	0,21			0,15	26,01			
		potrubí	125	0,0123	17	173,40	0,21	2,5	33		82,50			
		ohyb	125	0,0123	17	173,40	0,21			0,15	26,01			
		potrubí	125	0,0123	17	173,40	0,21	1	33		33,00			
		Rozbočka	125/160/125	0,0123	17	173,40	0,21			0,00	0,00	340,92		
		Redukční vložka	125/106	0,0123	17	173,40	0,21			0,48	83,34	424,26		
32		potrubí	160	0,0201	20,8	259,58	0,42	1,5	33		49,50			
		ohyb	160	0,0201	20,8	259,58	0,42			0,10	25,96			
		potrubí	160	0,0201	20,8	259,58	0,42	0,5	33		16,50			
		Rozbočka	500/160/560	0,0201	20,8	259,58	0,42			0,35	90,85	607,07		
		Redukční vložka	160/103	0,0201	20,8	259,58	0,42			3,63	941,28			
		Redukční vložka	160/103	0,0201	20,8	259,58	0,42			3,63	941,28	2489,63		
33	25	zákryt	125	0,0123	17	173,40	0,21			1,00	173,40			
		ohyb	125	0,0123	17	173,40	0,21			0,25	43,35			
		potrubí	125	0,0123	17	173,40	0,21	1	33		33,00			
		ohyb	125	0,0123	17	173,40	0,21			0,15	26,01			
		potrubí	125	0,0123	17	173,40	0,21	2	33		66,00			
		Rozbočka	500/125/560	0,0123	17	173,40	0,21			1,00	173,40	515,16		
		Redukční vložka	125/75	0,0123	17	173,40	0,21			5,69	987,23			
		Redukční vložka	125/75	0,0123	17	173,40	0,21			5,69	987,23	2489,63		

5.6 Schéma č. 6



Obr. 21. Šestá část výpočtového schéma.

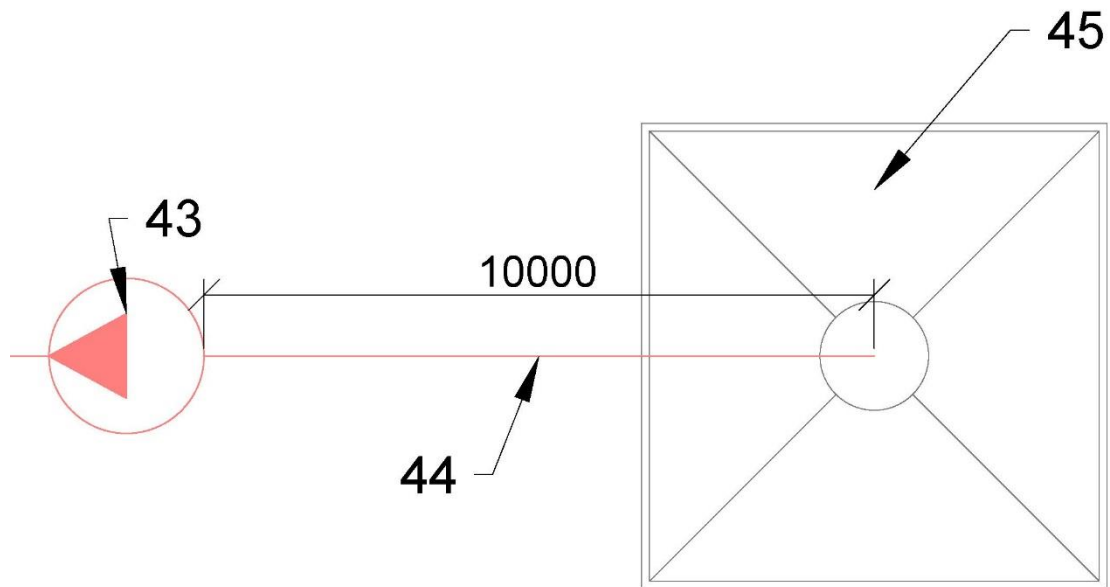
Tab. 13. Výpočtová tabulka pro šestou část odsávacího potrubí.

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak P_d (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p_z (Pa)	Odpor úseku p_{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
34		potrubí	560	0,2462	21,4	274,78	5,27	3	7,5		22,50		
		Rozbočka	560/100/560	0,2462	21,4	274,78	5,27			0,20	54,96		2560,80
35	26	zákryt	100	0,0079	17	173,40	0,13			1,00	173,40		
		potrubí	100	0,0079	17	173,40	0,13	1	45		45,00		
		Rozbočka	560/100/560	0,0079	17	173,40	0,13			0,70	121,38	339,78	
		Redukční vložka	100/60	0,0079	17	173,40	0,13			6,40	1110,51		
		Redukční vložka	100/60	0,0079	17	173,40	0,13			6,40	1110,51	2560,80	
36		Potrubí	560	0,2462	22	290,40	5,42	8,5	1,5		12,75		
		Rozbočka	560	0,2462	22	290,40	5,42			0,20	58,08		2631,63
37	27	zákryt	160	0,0201	20	240,00	0,40			1,00	240,00		
		ohybná hadice	160	0,0201	20	240,00	0,40	6	33		198,00		
		Pozvolné rozšíření	160/315	0,0201	20	240,00	0,40			0,20	48,00		
		Rozbočka	315/120/315	0,0779	21,3	272,21	1,66			0,20	54,44		
		Rozbočka	315/160/315	0,0779	21,3	272,21	1,66			0,20	54,44		
		Rozbočka	315/120/315	0,0779	21,3	272,21	1,66			0,20	54,44		
		Rozbočka	315/160/315	0,0779	21,3	272,21	1,66			0,20	54,44		
		Potrubí	315	0,0779	21,3	272,21	1,66	6	18		108,00		
		ohyb	315	0,0779	21,3	272,21	1,66			0,15	40,83		
		ohyb	315	0,0779	21,3	272,21	1,66			0,15	40,83		
		potrubí	315	0,0779	21,3	272,21	1,66	1	18		18,00		
		odbočka	315	0,0779	21,3	272,21	1,66			0,20	54,44	965,88	
		Redukční vložka	315/209	0,0779	21,3	272,21	1,66			3,06	832,87		
		Redukční vložka	315/209	0,0779	21,3	272,21	1,66			3,06	832,87		

Tab. 14. Výpočtová tabulka pro šestou část odsávacího potrubí, pokračování předchozí tabulky.

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak P_d (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p_z (Pa)	Odpor úseku p_{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
38	28	Zákryt	120	0,0113	20	240,00	0,23			1,00	240,00		
		Plastová hadice	120	0,0113	20	240,00	0,23	6	45		270,00		
		Rozbočka	315/120/315	0,0113	20	240,00	0,23			0,35	84,00	594	
		Redukční vložka	120/117	0,0113	20	240,00	0,23			1,55	371,88	965,88	
39	29	Zákryt	160	0,0201	20	240,00	0,40			1,00	240,00		
		plastová hadice	160	0,0201	20	240,00	0,40	6	33		198,00		
		Rozbočky	315/160/315	0,0201	20	240,00	0,40			0,35	84,00	522	
		Redukční vložka	160/114	0,0201	20	240,00	0,40			1,85	443,88	965,88	
40	30	zákryt	120	0,0113	20	240,00	0,23			1,00	240,00		
		plastová hadice	120	0,0113	20	240,00	0,23	6	45		270,00		
		Rozbočka	315/120/315	0,0113	20	240,00	0,23			0,35	84,00	594	
		Redukční vložka	120/117	0,0113	20	240,00	0,23			1,55	371,88	965,88	
41	31	zákryt	160	0,0201	20	240,00	0,40			1,00	240,00		
		plastová hadice	160	0,0201	20	240,00	0,40	6	33		198,00		
		Rozbočka	315/160/315	0,0201	20	240,00	0,40			0,35	84,00	522	
		Redukční vložka	160/114	0,0201	20	240,00	0,40			1,85	443,88	965,88	
42		Potrubí	560	0,2462	28,7	494,21	7,07	4	15		60,00		2698,942

5.7 Schéma č. 7



Obr. 22. Sedmá část výpočtového schéma (výtlačná strana)

Tab. 15. Výpočtová tabulka pro sedmou část odsávacího potrubí (výtlačnou stranu)

Číslo úseku	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak P_d (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p_z (Pa)	Odpor úseku p_{zi} (Pa)
43	Ventilátor										
44	Potrubí	560	0,2461	28,7	494,21	7,07	10	15		150	
	Ohyb	560	0,2461	28,7	494,21	7,07			0,15	74,13	224,13
45	Cyklonový odlučovač									500	

5.8 Výpočet výkonu ventilátoru

$$\begin{aligned} \Delta p_{z\text{ celk.}} = & \Delta p_{z\ 11} + \Delta p_{z\ 12} + \Delta p_{z\ 13} + \Delta p_{z\ 15} + \Delta p_{z\ 19} \\ & + \Delta p_{z\ 23} + \Delta p_{z\ 29} + \Delta p_{z\ 34} + \Delta p_{z\ 36} \\ & + \Delta p_{z\ 42} + \Delta p_{z\ 44} + \Delta p_{z\ 45} = \mathbf{3423\ Pa} \end{aligned} \quad (29.)$$

Výkon ventilátoru se dále vypočítá podle vzorečku (20.).

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p_{z\text{ celk.}}}{\eta} = \frac{7,07 \cdot 3423}{0,9} = \mathbf{26,9\ kW} \quad (30.)$$

5.9 Porovnání navrženého a stávajícího systému a jeho změny

Úsek číslo 1

V tomto úseku je připojení zákrytu na odsávací potrubí provedeno přes sběrač. Tento sběrač zde neplnil žádnou funkci, protože do něj je zapojeno jen jedno potrubí, a jak je vysvětleno dále způsobuje velké tlakové ztráty s poklesem rychlosti. Proto je navrženo jeho odstranění.

Úsek číslo 2, 4, 6, 8

Navržená změna je použití redukční vložky pro vyrovnání tlaků.

Úsek číslo 3, 5, 7, 9

Z Tab. 7. je zřejmé, že podle návrhu se hlavní potrubí této větve postupně rozšiřuje. V současném stavu je potrubí v celé délce se stejným průměrem, který je i příliš velký. Proto, aby byla udržena potřebná rychlost v těchto úsecích je potřeba zvednout rychlost v zákrytech. Toto opatření zvyšuje tlakovou ztrátu, a také množství průchozího vzduchu.

Úsek číslo 10, 11,12

Také zde je použit velký průměr potrubí, který zvyšuje tlakovou ztrátu a rychlosti v odsávacích zákrytech.

Úsek číslo 13

Zde se spojují úseky 9 a 12, i když je zde potrubí stejného průměru jako v novém návrhu. Ve stávajícím potrubí se zvyšuje průchozí množství vzduchu, a proto také rychlost tohoto vzduchu. To má za následek velké tlakové ztráty.

Úsek číslo 14

V tomto úseku je boční větev. V novém návrhu jsou tlakové ztráty této větve zredukovány dvěma redukčními vložkami, a proto se, na rozdíl od stávajícího systému, nemusí s touto tlakovou ztrátou počítat.

Úsek číslo 16, 17

V těchto úsecích byl opět navrhnut menší průměr potrubí a jeho postupné rozšiřování. Průměr v současném provedení je příliš velký, a aby se v něm udržela požadovaná dopravní rychlost je potřeba větších tlaků a rychlostí.

Úsek číslo 18

V tomto úseku je i ve stávajícím odsávacím potrubí provedena redukce tlakových ztrát dvěma redukčními vložkami. V navrhované odsávací síti je použita jen jedna vložka.

Úsek číslo 19, 23

Navrhovaná změna je zvětšení průměru potrubí. Při stávajícím průměru zde vzniká velká rychlost dopravního vzduchu a tím také velké tlakové ztráty.

Úsek číslo 21

Změna je zde navrhována ve vložení redukční vložky.

Úsek číslo 22

V tomto úseku má stávající potrubí malý průměr, díky tomu vzniká velká rychlost dopravního vzduchu. Proto je navrhováno zvětšení průměru. Také je navrženo vložení redukční vložky.

Úsek číslo 24, 25, 26, 27

Ve větvi skládající se s těchto úseků nejsou navrženy velké změny, kromě vložení redukčních vložek podle Obr. 19.

Úsek číslo 29

V tomto úseku je navrženo opět rozšíření potrubí, kvůli zmenšení rychlosti vzduchu v potrubí, a tím také potřebného tlaku.

Úsek číslo 30, 31

V úsecích je navržena změna pouze v úseku 31, a to vložení redukční vložky.

Úsek číslo 32

Zde je navrženo rozšíření potrubí, kvůli zbytečně velké rychlosti vzduchu v potrubí. Dále jsou zde vloženy dvě redukční vložky.

Úsek číslo 33

Navrženo je vložení dvou redukčních vložek.

Úsek číslo 34

Navrhovaná změna je rozšíření potrubí a tím snížení rychlosti a také tlakové ztráty.

Úsek číslo 35

Zde je navrženo použití dvou redukčních vložek na srovnání tlaků této větve.

Úsek číslo 36

V tomto úseku je velká dopravní rychlost, a proto je navrhováno zvětšení průměru potrubí.

Úsek číslo 37, 38, 39, 40, 41

Změna je navržena ve zmenšení průměru potrubí úseku 37, tím se zvýší rychlost vzduchu nad minimální hodnotu. Vložení redukčních vložek do odboček 38, 39, 40, 41, tím se sníží tlaková ztráta celé větve.

Úsek číslo 42

V úseku je navrženo zvětšení průměru potrubí.

Ventilátor 43

V současném stavu odsávacího systému je ventilátor s výkonem 15 kW. Při provedení změn popsaných výše je navrhovaný výkon ventilátoru 27 kW.

Úsek číslo 44

Navrhovaná změna je zvětšení průměru, a tím snížení rychlosti vzduchu v potrubí.

Cyklonový odlučovač 45

Odlučovací schopnost tohoto cyklonu je dostatečná, a proto zde není provedena žádná změna.

6 Diskuse

Přepočet současného stavu odsávací sítě, uvedený v příloze 1., ukázal nedostatky v konstrukci potrubí. Jsou zde použity velké nebo malé průměry potrubí, bez redukování vedlejších větví. Například v úsecích 10, 11, 12, je použit velký průměr potrubí, aby byla dosažena minimální rychlost dopravního vzduchu, musí se zvýšit rychlost v odsávacích zákrytech. Takovýmto opatřením se zvýší dynamický tlak v potrubí, také množství průchozího vzduchu. V novém návrhu odsávací sítě, je průměr potrubí zmenšen tak aby rychlost vzduchu a jeho množství bylo optimální.

Opačný problém je v úsecích 15, 19, 23, 29, 34, 36, 42, 44, zde má potrubí malý průměr, a proto se rychlost a množství dopravovaného vzduchu za sekundu razantně zvyšuje. Velká rychlost dopravovaného vzduchu poté zvyšuje dynamický tlak a je potřeba velký výkon ventilátoru na vytvoření takového tlaku.

V současném řešení odsávacího potrubí nejsou dostatečně odstupňovány průměry potrubí. Z tohoto důvodu se na konci odsávací sítě vyskytují velké průměry potrubí, které potřebují větší tlak na udržení dostatečné rychlosti, také nimi proudí velký objem vzduchu.

Navrhovaná odsávací síť má stejné prostorové řešení jako síť stávající. Při výpočtové kontrole stávající sítě bylo zjištěno, že je síť poddimenzována. V současné době je zde ventilátor o výkonu 15 kW. Podle výpočtů při současném řešení odsávací sítě je potřeba výkon 126 kW (s 90% účinností). Z toho plyne, že v současnosti mají zhruba 20% potřebného výkonu. Díky tomu vznikají chyby při chodu (prašnost strojů), a není možná práce na více strojích najednou, protože hrozí ucpání odsávání.

Navrhovaná odsávací síť se pokouší odstranit výše popsané problémy. Podařilo se úpravou konstrukce odsávacího potrubí snížit potřeby výkon motoru zhruba o 66% na 27 kW.

7 Závěr

Z výpočtu stávající odsávací sítě vyplynulo, že tlaková ztráta odsávacího potrubí je příliš velká (14000 Pa). Kvůli vysoké tlakové ztrátě je potřeba velký výkon motoru (126 kW). Velikost tlakové ztráty je dáno špatnou konstrukcí odsávání. Odsávací síť je podle výpočtů v současné době skoro nepoužitelná. Podle zkušeností v této výrobě tomu tak je i prakticky.

Pro dosažení optimální funkce odsávací sítě, je nutné provést změny v konstrukci potrubí. Všechny potřebné úpravy jsou v práci uvedeny. Po takovéto úpravě je potřebný výkon 27 kW a tlaková ztráta je 3423 Pa. Úpravou potrubí bylo dosaženo 4 krát menší tlakové ztráty.

Literatura uvedená v zadání jako MATUŠINEC, T. *Měření ve vzduchotechnických zařízeních*. Diplomová práce. MZLU v Brně, 2003. nebyla v této práci použita, nejsou zde uvedeny žádné použitelné poznatky.

8 Summary

According to the calculation of the current exhaust system output is obvious that the pressure drop inside the exhaust ducts is too high (14 000 Pa). Because of this drop the engine has to have a high output (126 kW). The amount of the pressure drop is caused by the bad construction of the exhaust system. Thus the exhaust system is currently useless that I can confirm from my own experience.

In order to ensure the optimal function of the exhaust system it is necessary to repair the construction of ducts. All the essential changes are mentioned in the paper. After the reconstruction the necessary output of the engine is 27 kW and the pressure drop is 3423 Pa. The revision of the ducts results in 4 times smaller pressure drop than it was before the reconstruction.

9 Seznam literatury

- 1) HEJMA, J.; BUDÍNSKÝ, K.; VÁVRA, A.; DRKAL, F. (1981): *Vzduchotechnika v dřevozpracujícím průmyslu*, SNTL – Nakladatelství technické literatury Praha. 398 s.
- 2) HAJZOK, Ladislav. *Vzduchotechnické zariadenia drevopriemyslu*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1986, 181 s.
- 3) URBAN J. (1964): *Pneumatická doprava*. SNTL Praha 1964. 264s.
- 4) CHYSKÝ, Jaroslav a Ladislav OPPL. *Větrání a klimatizace*. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1973, 576 s.
- 5) ROUSEK, Miroslav, Zdeněk KOPECKÝ a Vít NOVÁK. *Elektrické a strojní mechanismy*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007, 156 s. ISBN 978-80-7375-062-6.
- 6) Jaroslav LONGAUER. *Hydraulika a vzduchotechnika v dřevospracujúcim priemysle*. Vyd. 1. Bratislava: ALFA, 1991, 384 str. ISBN 80-05-00835-X
- 7) HANINEC, I. – BRECHTI, J. – HAJZOK, L. *Základne vlastnosti sypkých drevených materiálov*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1997. 153 s. Riport 34.
- 8) *Opis oborové normy uvedený v ROUSEK, Miroslav, Zdeněk KOPECKÝ a Vít NOVÁK. Elektrické a strojní mechanismy*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007, 156 s. ISBN 978-80-7375-062-6.

10 Přílohy

Příloha 1

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak Pd (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1 m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p _z (Pa)	Odpor úseku p _{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
1	1	Zákryt	100	0,0079	28	470,40	0,22			1,00	470,40		
		Ohebná hadice	100	0,0079	28	470,40	0,22	2	100		200,00		
		Svod- rozšíření	100/(300*300)	0,0900	2,5	3,75	0,23			1,00	3,75		
		Svod - zúžení	(300*300)/350	0,0962	20,2	244,82	1,94			0,02	0,04		
		Potrubí	350	0,0962	20,2	244,82	1,94	1	25		25,00		
		Rozbočka	350/350/140	0,0079	20,2	244,82	0,16			0,20	48,96	748,15	
2	2	Zákryt	140	0,0154	28	470,40	0,43			1,00	470,40		
		Ohebná hadice	140	0,0154	28	470,40	0,43	2	70	0,00	140,00		
		Rozbočka	350/100/140	0,0154	28	470,40	0,43			0,25	117,60	728,00	
3		Potrubí	350	0,0962	20,2	244,82	1,94	1	25	0,00	25,00		
		Rozbočka	350/350/140	0,0962	20,2	244,82	1,94			0,20	48,96	73,96	
4	3	Zákryt	140	0,0154	28	470,40	0,43			1,00	470,40		
		Ohebná hadice	140	0,0154	28	470,40	0,43	2	70		140,00		
		Rozbočka	350/350/140	0,0154	28	470,40	0,43			0,25	117,60	728,00	
5		Potrubí	350	0,0962	20,2	244,82	1,94	4	25		100,00		
		Rozbočka	350/350/140	0,0962	20,2	244,82	1,94			0,20	48,96	148,96	
6	4	Zákryt	140	0,0154	28	470,40	0,43			1,00	470,40		
		Ohebná hadice	140	0,0154	28	470,40	0,43	4	70		280,00		
		Rozbočka	350/350/140	0,0154	28	470,40	0,43			0,25	117,60	868,00	
7		Potrubí	350	0,0962	20,2	244,82	1,94	0,62	25	0,00	15,50		
		Rozbočka	350/350/140	0,0962	20,2	244,82	1,94			0,20	48,96	64,46	

Příloha 1. pokračování

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozeřměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak Pd (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu pz (Pa)	Odpor úseku pzi (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
8	5	Zákryt	140	0,0154	28	470,40	0,43			1,00	470,40		
		Potrubí	140	0,0154	28	470,40	0,43	5	60		300,00		
		Rozbočka	350/350/140	0,0154	28	470,40	0,43			0,25	117,60	888,00	
9		Potrubí	350	0,0962	20,2	244,82	1,94	5,8	25	0,00	145,00		
		Rozbočka	350/350/315	0,0962	20,2	244,82	1,94			0,00	0,00	145,00	
		Redukční vložka	350/200	0,0962	20,2	244,82	1,94			7,14	1747,25	6139,79	4392,55
10	6	zákryt	100	0,0079	35	735,00	0,27			1,00	735,00		
		ohebná hadice	100	0,0079	35	735,00	0,27	3	110		330,00		
	7	Zákryt	160	0,0201	35	735,00	0,70			1,00	735,00		
		Ohebná hadice	160	0,0201	35	735,00	0,70	2	100		200,00		
		Svod - rozšíření	260/(300*180)	0,0540	18,1	196,57	0,98			0,15	29,48		
		Svod - zúžení	(300*180)/250	0,0491	20	240,00	0,98			0,09	21,60		
		Ohyb	250	0,0491	20	240,00	0,98			0,15	36,00		
Potrubí	250	0,0491	20	240,00	0,98	3,5	18		63,00				
Rozbočka	350/350/250	0,0491	20	240,00	0,98			0,00	0,00	2150,08			
11	8	Zákryt	100	0,0079	35	735,00	0,27			1,00	735,00		
		ohebná hadice	100	0,0079	35	735,00	0,27	2	110		220,00		
	9	Zákryt	160	0,0201	35	735,00	0,70			1,00	735,00		
		ohebná hadice	160	0,0201	35	735,00	0,70	2	100		200,00		
	10	Zákryt	160	0,0201	35	735,00	0,70			1,00	735,00		
		ohebná hadice	160	0,0201	35	735,00	0,70	2	100		200,00		

Příloha 1. pokračování

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak Pd (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p _z (Pa)	Odpor úseku p _{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
	11	Zákryt	100	0,0079	35	735,00	0,27			1,00	735,00		
		Ohebná hadice	100	0,0079	35	735,00	0,27	2	110		220,00		
		Svod - rozšíření	520/(570*180)	0,1026	16,4	161,38	1,68			0,10	16,14		
		Svod - zúžení	(570*180)/350	0,0962	20,3	247,25	1,95			0,17	42,03		
		ohyb	350	0,0962	20,3	247,25	1,95			0,15	37,09		
		potrubí	350	0,0962	20,3	247,25	1,95	2,5	13		32,50		
		Rozbočka	400/350/350	0,0962	20,3	247,25	1,95			0,20	49,45	3957,21	6107,29
12		Potrubí	350	0,0962	20,3	247,25	1,95	2,5	13	0,00	32,50		
		Rozbočka	400/355/315	0,0962	20,3	247,25	1,95			0,00	0,00	32,50	6139,79
13		potrubí	400	0,1256	33,7	681,41	4,23	5	25	0,00	125,00		
		Rozbočka	400/400/160	0,1256	33,7	681,41	4,23			0,20	136,28	261,28	6401,08
14	12	zákryt	160	0,0201	17	173,40	0,34			1,00	173,40		
		potrubí	160	0,0201	17	173,40	0,34	3	25		75,00		
		ohyb	160	0,0201	17	173,40	0,34			0,15	26,01		
		potrubí	160	0,0201	17	173,40	0,34	3,5	25		87,50		
		Rozbočka	400/400/160	0,020	17	173,40	0,34			1,35	234,09	596,00	
15		Potrubí	400	0,126	33,7	681,41	4,23	1,5	25		37,50		
		Rozbočka	450/400/225	0,126	33,7	681,41	4,23			0,20	136,28	173,78	7170,86

Příloha 1. pokračování

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak Pd (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p _z (Pa)	Odpor úseku p _{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
16	13	zákryt	100	0,008	30	540,00	0,24			1,00	540,00		
		ohebná hadice	100	0,008	30	540,00	0,24	3	110		330,00		
	14	zákryt	125	0,012	30	540,00	0,37			1,00	540,00		
		ohebná hadice	125	0,012	30	540,00	0,37	3	90		270,00		
		Svod - rozšíření	225/(250*130)	0,049	18,6	207,58	0,91			0,10	20,76		
		Svod - zúžení	(250*130)/250	0,049	21,7	282,53	1,06			0,09	25,43		
		ohyb	250	0,049	21,7	282,53	1,06			0,15	42,38		
		potrubí	250	0,049	21,7	282,53	1,06	10	20		200,00		
		Rozbočka	250/250/140	0,049	21,7	282,53	1,06			0,20	56,51	2025,07	
17	15	Zákryt	140	0,015	30	540,00	0,46			1,00	540,00		
		Ohebná hadice	140	0,015	30	540,00	0,46	3	80		240,00		
		Rozbočka	250/140/250	0,015	30	540,00	0,46			0,25	135,00	915,00	
18		Potrubí	250	0,049	21,7	282,53	1,06	6	20		120,00		
		Rozbočka	400/400/250	0,049	21,7	282,53	1,06			1,30	367,29	487,29	3427,37
		Redukční vložka	250/150	0,049	21,7	282,53	1,06			6,62	1871,75		
		Redukční vložka	250/150	0,049	21,7	282,53	1,06			6,62	1871,75	7170,86	
19		Potrubí	400	0,126	33,2	661,34	4,17	3	25		75,00		
		Rozbočka	400/400/200	0,126	33,2	661,34	4,17			0,20	132,27	207,27	7378,13

Příloha 1. pokračování

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak Pd (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p _z (Pa)	Odpor úseku p _{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
20	16	Zákryt	140	0,015	17	173,40	0,26			1,00	173,40		
		Potrubí	140	0,015	17	173,40	0,26	1	30		30,00		
		Ohyb	140	0,015	17	173,40	0,26			0,15	26,01		
		Potrubí	140	0,015	17	173,40	0,26	1	30		30,00		
		Ohyb	140	0,015	17	173,40	0,26			0,15	26,01		
		Potrubí	140	0,015	17	173,40	0,26	9,5	30		285,00		
		Rozbočka	180/140/125	0,015	17	173,40	0,26			0	0,00	570,42	
21	17	Zákryt	125	0,012	17	173,40	0,21			1,00	173,40		
		potrubí	125	0,012	17	173,40	0,21	5	35		175,00		
		ohyb	125	0,012	17	173,40	0,21			0,25	43,35		
		potrubí	125	0,012	17	173,40	0,21	1	35		35,00		
		Rozbočka	180/140/125	0,012	17	173,40	0,21			0,00	0,00	426,75	
22		potrubí	140	0,015	30,6	561,82	0,47	0,5	80		40,00		
		Rozbočka	450/450/140	0,015	30,6	561,82	0,47			0,00	0,00	40	
23		potrubí	450	0,1590	29,2	511,58	4,64	0,5	19	0,00	9,50		
		Rozbočka	560/200/500	0,1590	29,2	511,58	4,64			0,10	51,16	60,66	8475,96

Příloha 1. pokračování

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozeř elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak Pd (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu pz (Pa)	Odpor úseku pzi (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
24	18	Zákryt	100	0,0079	17	173,40	0,13			1,00	173,40		
		potrubí	100	0,0079	17	173,40	0,13	1,5	25		37,50		
		ohyb	100	0,0079	17	173,40	0,13			0,15	26,01		
		náhlé rozšíření	200/100	0,0079	17	173,40	0,13			0,30	52,02		
		Rozbočka	200/100/200	0,0314	21,3	272,21	0,67			0,10	27,22		
		Rozbočka	200/100/200	0,0314	21,3	272,21	0,67			0,20	54,44		
		Rozbočka	200/100/200	0,0314	21,3	272,21	0,67			0,20	54,44		
		Rozbočka	200/100/200	0,0314	21,3	272,21	0,67			0,20	54,44		
		potrubí	200	0,0314	21,3	272,21	0,67	6	18		108,00		
		Rozbočka	560/200/500	0,0314	21,3	272,21	0,67			0,7	190,55	778,03	
25	19	zákryt	100	0,0079	17	173,40	0,13			1,00	173,40		
		potrubí	100	0,0079	17	173,40	0,13	1,5	25		37,50		
		Rozbočka	200/100/200	0,0079	17	173,40	0,13			0,00	0,00	210,9	
26	20	zákryt	100	0,0079	17	173,40	0,13			1,00	173,40		
		potrubí	100	0,0079	17	173,40	0,13	1,5	25		37,50		
		Rozbočka	200/100/200	0,0079	17	173,40	0,13			0,00	0,00	210,9	
27	21	zákryt	100	0,0079	17	173,40	0,13			1,00	173,40		
		potrubí	100	0,0079	17	173,40	0,13	1,5	25		37,50		
		Rozbočka	200/100/200	0,0079	17	173,40	0,13			0,00	0,00	210,9	
28	22	zákryt	100	0,0079	17	173,40	0,13			1,00	173,40		
		potrubí	100	0,0079	17	173,40	0,13	1,5	25		37,50		
		Rozbočka	200/100/200	0,0079	17	173,40	0,13			0,00	0,00	210,9	

Příloha 1. pokračování

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak Pd (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p _z (Pa)	Odpor úseku p _{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
29		Potrubí	450	0,1590	33,4	669,34	5,31	1,5	25		37,50		
		Rozbočka	450/160/450	0,1590	33,4	669,34	5,31			0,10	66,93		
		Rozbočka	450/125/450	0,1590	33,4	669,34	5,31			0,10	66,93		10268,95
30	23	zákryt	125	0,0123	17	173,40	0,21			1,00	173,40		
		ohyb	125	0,0123	17	173,40	0,21			0,15	26,01		
		potrubí	125	0,0123	17	173,40	0,21	2,5	33		82,50		
		ohyb	125	0,0123	17	173,40	0,21			0,15	26,01		
		potrubí	125	0,0123	17	173,40	0,21	3	33		99,00		
		Rozbočka	125/125/125	0,0123	17	173,40	0,21			0,00	0,00	406,92	
31	24	zákryt	125	0,0123	17	173,40	0,21			1,00	173,40		
		ohyb	125	0,0123	17	173,40	0,21			0,15	26,01		
		potrubí	125	0,0123	17	173,40	0,21	2,5	33		82,50		
		ohyb	125	0,0123	17	173,40	0,21			0,15	26,01		
		potrubí	125	0,0123	17	173,40	0,21	1	33		33,00		
		Rozbočka	125/125/125	0,0123	17	173,40	0,21			0,00	0,00	340,92	
32		potrubí	125	0,0123	34	693,60	0,42	1,5	110		165,00		
		ohyb	125	0,0123	34	693,60	0,42			0,10	69,36		
		potrubí	125	0,0123	34	693,60	0,42	0,5	110		55,00		
		Rozbočka	450/125/450	0,0123	34	693,60	0,42			0,00	0,00	696,28	

Příloha 1. pokračování

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak Pd (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p _z (Pa)	Odpor úseku p _{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
33	25	zákryt	125	0,0123	17	173,40	0,21			1,00	173,40		
		ohyb	125	0,0123	17	173,40	0,21			0,25	43,35		
		potrubí	125	0,0123	17	173,40	0,21	1	33		33,00		
		ohyb	125	0,0123	17	173,40	0,21			0,15	26,01		
		potrubí	125	0,0123	17	173,40	0,21	2	33		66,00		
		Rozbočka	450/125/450	0,0123	17	173,40	0,21			1,00	173,40	515,16	
34		potrubí	450	0,1590	37,3	834,77	5,93	3	30		90,00		
		Rozbočka	450/100/450	0,1590	37,3	834,77	5,93			0,20	166,95		12078,27
35	26	zákryt	100	0,0079	17	173,40	0,13			1,00	173,40		
		potrubí	100	0,0079	17	173,40	0,13	1	45		45,00		
		Rozbočka	450/100/450	0,0079	17	173,40	0,13			1,50	260,10	478,5	
36		Potrubí	450	0,1590	38	866,40	6,04	8,5	30		255,00		
		Rozbočka	450	0,1590	38	866,40	6,04			0,20	173,28		12985,05

Příloha 1. pokračování

Číslo úseku	Číslo stroje	Druh odporu	Rozeřměr ele- mentu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dyna- mický tlak Pd (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p_z (Pa)	Odpor úseku p_{zi} (Pa)	Odpor hlavní větve (Pa)
37	27	zákryt	160	0,0201	20	240,00	0,40			1,00	240,00		
		ohebná hadice	160	0,0201	20	240,00	0,40	6	33		198,00		
		Pozvolné rozšíření	160/350	0,0201	20	240,00	0,40			0,20	48,00		
		Rozbočka	350/120/350	0,0962	17,2	177,50	1,65			0,20	35,50		
		Rozbočka	350/160/350	0,0962	17,2	177,50	1,65			0,20	35,50		
		Rozbočka	350/120/350	0,0962	17,2	177,50	1,65			0,20	35,50		
		Rozbočka	350/160/350	0,0962	17,2	177,50	1,65			0,20	35,50		
		Potrubí	350	0,0962	17,2	177,50	1,65	6	15		90,00		
		ohyb	350	0,0962	17,2	177,50	1,65			0,15	26,63		
		ohyb	350	0,0962	17,2	177,50	1,65			0,15	26,63		
		potrubí	350	0,0962	17,2	177,50	1,65	1	15		15,00		
		Rozbočka	450/350/500	0,0962	17,2	177,50	1,65			1,40	248,51	1034,76	
		Redukční vložka	350/210	0,0962	17,2	177,50	1,65			28,32	5027,14		
		Redukční vložka	350/210	0,0962	17,2	177,50	1,65			28,32	5027,14		
38	28	Zákryt	120	0,0113	20	240,00	0,23			1,00	240,00		
		Plastová hadice	120	0,0113	20	240,00	0,23	6	45		270,00		
		Rozbočka	350/120/350	0,0113	20	240,00	0,23			0,00	0,00	510	
39	29	Zákryt	160	0,0201	20	240,00	0,40			1,00	240,00		
		plastová hadice	160	0,0201	20	240,00	0,40	6	33		198,00		
		Rozbočky	350/160/350	0,0201	20	240,00	0,40			0,00	0,00	438	
40	30	zákryt	120	0,0113	20	240,00	0,23			1,00	240,00		
		plastová hadice	120	0,0113	20	240,00	0,23	6	45		270,00		
		Rozbočka	350/120/350	0,0113	20	240,00	0,23			0,00	0,00	510	
41	31	zákryt	160	0,0201	20	240,00	0,40			1,00	240,00		
		plastová hadice	160	0,0201	20	240,00	0,40	6	33		198,00		
		Rozbočka	350/160/350	0,0201	20	240,00	0,40			0,00	0,00	438	
42		potrubí	500	0,1963	41,2	1018,46	8,09	4	30		120,00		13105,05

Příloha 2. výpočtová tabulka výtlačné větve

Číslo úseku	Druh odporu	Rozměr elementu d (mm)	Plocha průřezu S (m ²)	Rychlost vzduchu v (m/s)	Dynamický tlak P_d (Pa)	Množství vzduchu Q (m ³ /s)	Délka potrubí l (m)	Odpor na 1m R (Pa/m)	Vřazený odpor ζ (l)	Odpor elementu p_z (Pa)	Odpor úseku p_{zi} (Pa)
44	Potrubí	500	0,196	41,2	1018,46	8,08	10	25		250	
	Ohyb	500	0,196	41,2	1018,46	8,08			0,15	152,76	402,8
45	Cyklonový odlučovač									500	902,8

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p_{z \text{ celk.}}}{\eta} = \frac{8,09 \cdot 14008}{0,9} = \mathbf{125,8 \quad kW}$$