

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Pneumatické prvky a jejich aplikace u vozidel

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: prof.Ing. Volf Jaromír, DrSc.

Konzultant práce: Ing. Jan Hurtečák, MBA

PRAHA 2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra elektrotechniky a automatizace

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Hornová Monika

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Pneumatické prvky a jejich aplikace u vozidel

Anglický název

Pneumatic Elements and their Car Applications

Cíle práce

Seznámit se s pneumatickými prvky, které umožňují korekci pohybu modelu vozidla v prostoru. Pozornost zaměřte především na trysky, rychlé ventily, bombičky.

Metodika

Seznamte se s problematikou pneumatických systémů. Proveďte přehled trysek a rychlých ventilů, včetně zásobníků stlačeného vzduchu, které umožní pohyb modelu vozidla v rovině v určeném čase a s danou rychlostí.

Osnova práce

1. Úvod
2. Přehled základních pojmů v oblasti pneumatických systémů
3. Přehled trysek, rychlých ventilů a zásobníků vzduchu, které by mohly být umístěny v model vozidla
4. Porovnání jejich vlastností a možností použití při řízení pohybu modelu vozidla v rovině
5. Závěr



Rozsah textové části

do 40 stran.

Klíčová slova

pneumatické prvky, pneumatické trysky, rozvody,

Doporučené zdroje informací

Firemní literatura výrobců

Prvky FESTO

Skriptá pneumatických systémů

Vedoucí práce

Volf Jaromír, prof. Ing., DrSc.

Konzultant práce

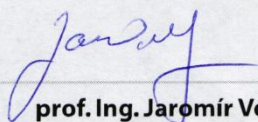
Ing. Jan Hurtečák, MBA

Termín zadání

listopad 2012

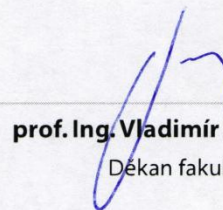
Termín odevzdání

duben 2013



prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 6.2.2013

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala panu prof. Ing. Jaromíru Volfovi, DrSc. za zadání zajímavého tématu této práce, za podporu při jejím psaní a za jeho cenné rady.

Dále bych ráda poděkovala panu Prof. Ing. Jiřímu Nožičkovi, CSc., panu Petru Šimonovi a panu Ing. Mariánu Zajíčkovi z firmy Festo za pomoc při hledání řešení systému a výpočtů.

Také bych ráda poděkovala panu doc. Ing. Petru Heřmánkovi, Ph.D. za pomoc s výběrem literatury.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma:

.....

vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

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

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

.....

(podpis autora)

V dne

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnout vhodné trysky, ventily a zásobníky stlačeného vzduchu, které budou moci umožnit modelu vozidla lépe se pohybovat v rovině za určité rychlosti a určitého času. Pomocí tlaku, který vzniká stlačeným vzduchem vytlačovaným z trysky, se bude lépe ovládat a vyrovnávat vzniklý smyk modelového vozidla. V této práci je uveden přehled výpočtů, jakými by se postupovalo při návrhu pneumatických prvků, a předběžný návrh celého systému. V poslední kapitole jsou shrnuty možné prvky pro celý systém (pneumatické trysky, ventily, vzdušník, „bombičky“), které by se mohly použít k realizaci na modelovém vozidle.

Klíčová slova:

pneumatické prvky, pneumatické trysky, rozvody

Summary

The aim of this work is to propose appropriate nozzles, valves and tanks of compressed air, which can enable better handling of a vehicle model on a flat surface for a certain speed and a certain time. Using the pressure generated by the air displaced from the nozzle, it will better handled and be able to compensate the resulting shear of the vehicle model. This work provides an overview of the calculations which would be used to design pneumatic elements, and a preliminary design of the whole system. The last chapter summarizes the possible elements for entire system (pneumatic nozzles, valves, air eliminators, cartridge for compressed air) which could be used to implement on a car mode.

Key words:

pneumatic elements, pneumatic nozzles, distribution

Obsah:

1. Úvod.....	9
2. Úvod do pneumatiky	10
2.1. Vlastnosti stlačeného vzduchu	10
2.2. Výroba stlačeného vzduchu	11
2.3. Použití pneumatických zařízení v motorovém vozidle	12
2.4. Druhy kompresorů	13
2.4.1. Objemové kompresory	13
2.4.2. Rychlostní kompresory	14
2.5. Pneumatické pracovní prvky (motory)	14
2.6. Vzdušník	15
2.7. Ventily a rozvaděče.....	15
2.7.1. Zpětné ventily.....	16
2.7.2. Redukční ventily.....	16
2.7.3. Uzavírací ventily.....	17
2.8. Trysky	17
2.9. Rozvod vzduchu.....	18
3. Návrh pneumatického systému	19
3.1. Jízda vozidla při průjezdu zatáčkou	20
3.2. Výpočet reakční síly Fr	22
3.3. Rychlost vzduchu vystupující z trysky	22
3.4. Výpočet rychlosti vzduchu v pneumatickém potrubí	23
3.5. Návrh vzdušníku a potrubí.....	24
3.6. Ztráty v potrubí	27
4. Stanovení pneumatických prvků v systému.....	29
4.1. Návrh vzdušníku	29

4.2. Návrh pneumatických ventilů	30
4.3. Návrh pneumatických trysek	31
5. Závěr.....	32
Seznam použité literatury	33
Seznam použitých značek.....	35
Seznam obrázků.....	36
Seznam tabulek.....	36
Seznam příloh	37

1. Úvod

Tato bakalářská práce se zaměřuje na to, jak vylepšit jízdní parametry vozidel z hlediska aktivní bezpečnosti. Jedná se především o návrh pneumatického systému do vozidla, který by spolupracoval s elektronickými systémy ABS, ESP, ASR a dalšími a pomocí přívodu stlačeného vzduchu by reguloval a zvyšoval adhezní síly, které působí na pneumatiky vozidel. Tento nápad se dá realizovat několika způsoby. Jedním z možných návrhů je, že pneumatická tryska, bude umístěna někde okolo nápravy pneumatik (blízko blatníků), kde stlačený vzduch bude směřován šikmo nahoru nad vozovku, čímž vozidlo více přilne k vozovce a zvýší se adheze mezi pneumatikou a vozovkou, nebo stlačený vzduch bude směřovat v opačném směru než působí odstředivá síla, která vyvolá smyk. Realizace a umístění systému je velice časově náročné a je třeba nejprve zjistit možné informace o dostupnosti pneumatických prvků na českém i světovém trhu. Popřípadě vybrat ty, které budou nejvíce vyhovovat našim podmínkám a podmínkám pro bezpečnost vozidla. Proto bych se ráda v této práci zabývala pneumatikou, pneumatickými systémy a jejími prvky. V závěru této práce je uveden výčet prvků, které by se daly na vozidle použít, jsou zde také porovnány jejich vlastnosti a možný návrh s ideálními prvky, které by se mohly do systému zařadit.

2. Úvod do pneumatiky

Pneumatika a pneumatické systémy pracují na principu stlačeného vzduchu. Vzduch obklopuje lidstvo už několik miliónů let. Už z dob, kdy staří Řekové nazývali vzduch jako „Pneuma“, který v té době znamenal něco jako dech, vítr a ze staré filosofie také duši.

2.1. Vlastnosti stlačeného vzduchu

Vlastnosti stlačeného vzduchu jsou uvedeny v Tab. 1 níže. Výhody a nevýhody stlačeného vzduchu jsou uvedeny na str. 11.

Tab. 1: Vlastnosti vzduchu [1]

vlastnost vzduchu	popis
<i>dostupnost</i>	dostupný prakticky všude v neomezeném množství
<i>doprava</i>	stlačený vzduch se může velice snadno vést potrubím, a to i na větší vzdálenosti
<i>akumulace</i>	stlačený vzduch je možné akumulovat i přepravovat v tlakové nádobě
<i>teplota</i>	není citlivý na změnu teploty
<i>bezpečnost proti výbuchu</i>	nehrozí nebezpečí výbuchu, ani vznik požáru při použití
<i>čistota</i>	neobsahuje škodliviny, neznečistí okolní prostředí
<i>jednoduchost</i>	jednoduché řešení
<i>rychlost</i>	velice rychlé pracovní médium
<i>řiditelnost</i>	dá se řídit ve velkém rozsahu
<i>přetížitelnost</i>	při přetížení nedojde k poškození stroje, pouze k jeho zastavení
<i>úprava</i>	musí být odstraněny nečistoty a vlhkost
<i>stlačitelnost</i>	vzduch je stlačitelný
<i>hlučnost</i>	při činnosti pneumatických strojů dochází při odfuku k nepříjemným hlukům
<i>náklady</i>	drahý nosič energie

Výhody stlačeného vzduchu:

- 1) snadné skladování
- 2) jednoduchá konstrukce přístrojů a zařízení
- 3) dosažení vysoké rychlosti u válců
- 4) dosažení vysokých počtů otáček u motorů
- 5) bez zpětného vedení.

Nevýhody stlačeného vzduchu:

- 1) relativně malé tlaky
- 2) rychlost závisí na zatížení
- 3) hluk, který vzniká unikajícím odpadním vzduchem.

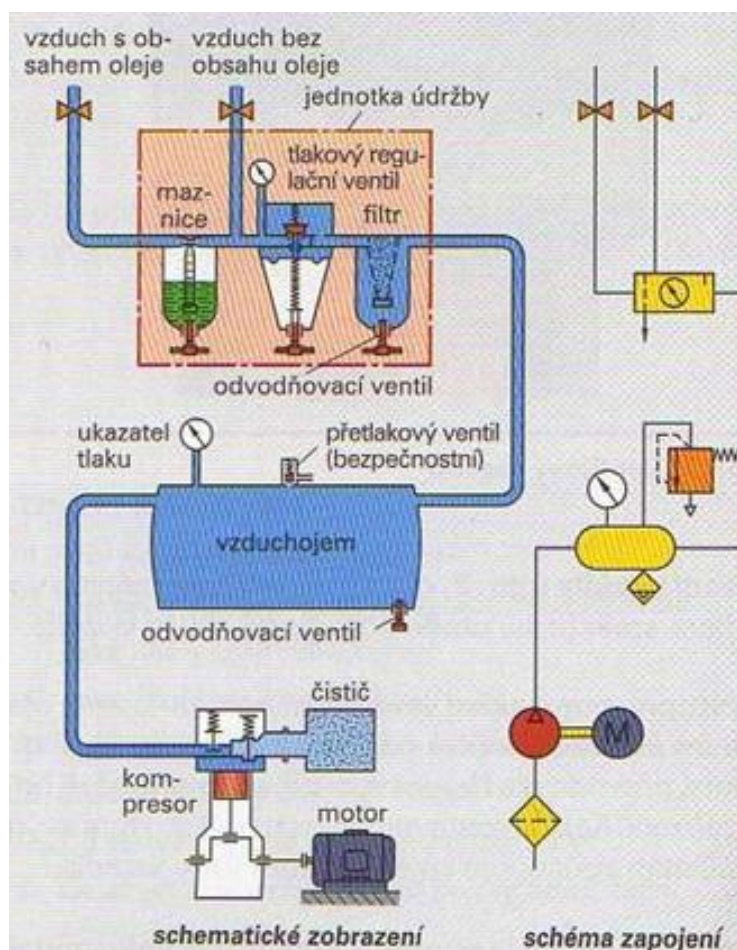
2.2. Výroba stlačeného vzduchu

K tomu, abychom získali požadovaný pracovní tlak k výrobě stlačeného vzduchu, se používají kompresory. Z kompresoru se stlačený vzduch rozvádí pomocí potrubí a dále se přivádí k jednotlivým pneumatickým prvkům a zařízením. Je vždy vhodnější vyrobit více stlačeného vzduchu, než aby nám potom chyběl.

Dalším důležitým faktorem pro výrobu vzduchu je zajistit čistotu vzduchu, tím se zvýší i životnost používaného zařízení. Je důležité i vhodně zvolit používaný typ kompresoru. Podle typu pracovního procesu se kompresory dělí na:

- a) objemové
- b) rychlostní.

Příklad výroby stlačeného vzduchu je zobrazen na následující straně na Obr. 1, kde je ukázána struktura zařízení na zásobování stlačeným vzduchem.



Obr. 1: Zařízení pro zásobování tlakovým vzduchem [2]

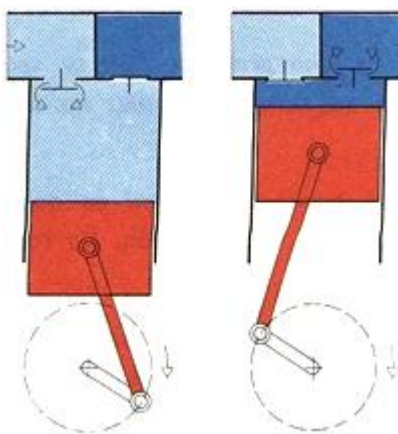
2.3. Použití pneumatických zařízení v motorovém vozidle

V motorových užitkových vozidlech se pneumatické systémy používají například u pneumatické brzdové soustavy, u pneumatického odpružení vozidla, u mechanismů, kterými se otvírají a zavírají dveře. U automobilů osobních jsou namontovány u posilovače brzd.

2.4. Druhy kompresorů

2.4.1. Objemové kompresory

Tento typ kompresoru pracuje na objemovém principu. Vzduch je pomocí pístu stlačován a poté je nasáván do prostoru, který se posléze uzavře a poté se uzavřený prostor začne zmenšovat. Tímto způsobem jsou zpracovány pístové kompresory. Pístový kompresor je zobrazen na Obr. 2.



Obr. 2: Pístový kompresor s přímočarým pohybem pístu [1]

Pístový kompresor můžeme použít pro nízké, střední a vysoké tlaky.

Membránový kompresor má membránou oddělen píst od sání a výtlačku. Používá se především v potravinářském průmyslu. [1]

Rotační objemové kompresory pracují na principu, kde se písty otáčejí kolem osy rovnoběžné s osou válce a tím dochází ke stlačování vzduchu a ke zmenšování pracovního prostoru.

Mezi ně řadíme:

- a) *Lamelové kompresory*, které mají malé rozměry, klidný chod, rovnoměrné a bezrázové dodání stlačeného vzduchu.
- b) *Dvourotorové kompresory* se dvěma stejnými a rovnoběžnými písty (rotory).

- c) *Šroubové kompresory*, jež jsou obdobné jako dvourotorové, ale čelní ozubení rotoru je nahrazeno šroubovými tělesy s větším stoupáním.

2.4.2. Rychlostní kompresory

U těchto kompresorů je nasátý vzduch urychlován, jeho kinetická energie je přeměněna na tlakovou. Takovými kompresorům se jinak říká „turbokompresory“.

Mezi ně řadíme:

- a) *Kompresory radiální*, kde nasávaný vzduch proudí do oběžného kola axiálním směrem a v oběžném kole se změni směr průtoku na radiální.
- b) *Kompresory axiální*, kde se pomocí lopatek urychluje vzduch v axiálním směru proudění.

2.5. Pneumatické pracovní prvky (motory)

Mezi pneumatické pracovní prvky řadíme přímočaré a rotační pneumatoty.

a) *Přímočaré pneumatoty* dále dělíme na:

1. *Jednočinné přímočaré pneumatoty*, kde tlak vzduchu působí jen na jednu stranu pístu a práci vykonává pouze jedním směrem pohybu.
2. *Dvojčinné přímočaré pneumatoty*, které mohou konat práci pomocí pohybu pístu v obou směrech.

b) *Rotační pneumatoty* transformují energii stlačeného vzduchu na mechanickou energii rotačního pohybu.

2.6. Vzdušník

Vzdušník (tlaková nádoba) je uzavřená nádoba, která pojme plyny nebo kapaliny o tlaku podstatně odlišném od okolního. Jeho důležitou funkcí je uchovávat stlačený vzduch odvodem tepla prostřednictvím velké plochy pláště vzdušníku. Velikost vzdušníku (obr. 3) závisí na mnoha faktorech, jako například na spotřebě vzduchu nebo rozvodné síti. Vzdušníky mají široké spektrum použití (tlakové reaktory, hydraulické nádrže, tlakové bomby pro potápěče...)



Obr. 3: vzdušník [3]

Vzdušník by měl být opatřen přetlakovým ventilem kvůli odpouštění kondenzátu.

2.7. Ventily a rozvaděče

Rozvaděče a ventily rozdělujeme na několik skupin:

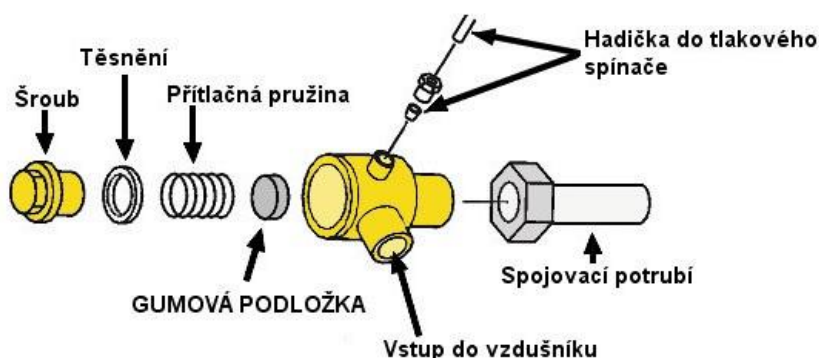
- 1) rozvaděče
- 2) ventilová hradla
- 3) tlakové ventily
- 4) průtočné ventily
- 5) uzavírací ventily.

Rozvaděče (řídící přístroje) ovládají činnost pneumatického válce tak, že v určitém čase spojí stranu pístu s přívodným potrubím nebo s atmosférou.

Ventily slouží k řízení a usměrňování proudu pneumatického média, pomocí nich se ovládá celý pneumatický systém.

2.7.1. Zpětné ventily

Zpětné ventily (Obr. 4) slouží k tomu, aby zabránily zpětnému průtoku proudící látky (buď pouze samotným tlakem, nebo působením nějaké vnější síly). V dnešní době se vyrábí kuželové, membránové nebo deskové zpětné ventily.

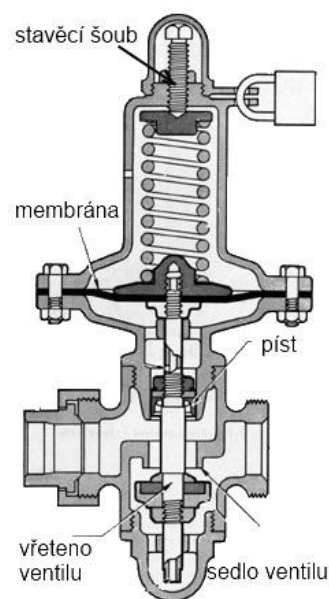


Obr. 4: Princip zpětného ventilu – složení [4]

2.7.2. Redukční ventily

Redukční ventil je nastavitelný. Reguluje tlak v určitém místě pneumatického systému. [5] Pomocí tohoto zařízení se udržuje konstantní nastavený tlak, aniž by záviselo na změnách vstupního tlaku. Vstupní tlak musí být větší než tlak výstupní.

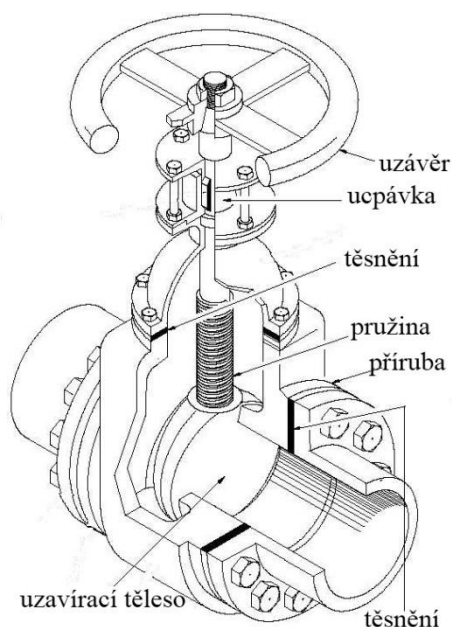
Na Obr. 5 je zobrazen redukční ventil s membránou, kde jsou dvě samostatné vzduchotěsné komory, rozdělené pryžovou membránou. V horní části je pružina, díky které se může nastavit hladina škrcení. Tlak zredukujeme pomocí stavěcího šroubu. [6]



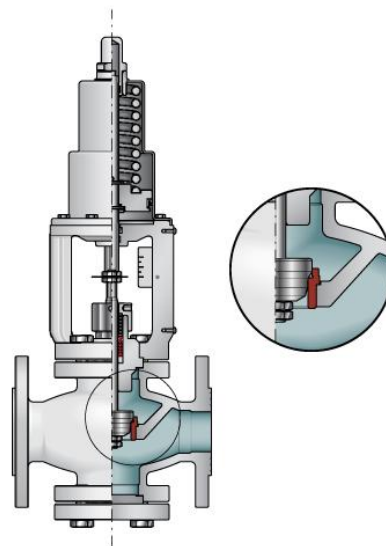
Obr. 5: Redukční ventil s membránou [6]

2.7.3. Uzavírací ventily

Uzavírací ventily (Obr. 6) slouží k uzavírání a otevírání průtoku. Nejznámější jsou „kohoutky“. Samouzavírací ventil připojuje hadice na odbočky nebo vzdušníky velice rychle. Na Obr. 7 je znázorněna konstrukce novějšího dvoucestného uzavíracího ventilu od firmy Polnacorp, který lze použít k ručnímu nebo pneumatickému pohonu.



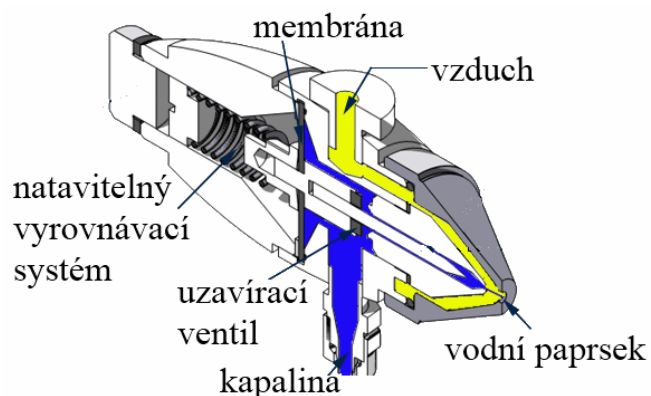
Obr. 6: Uzavírací ventil [7]



Obr. 7: Uzavírací sedlový ventil VPOO, VPOO/3 – konstrukce [8]

2.8. Trysky

Vzduchové trysky se používají pro ofukování, chlazení, třídění, čištění atd. Používají se také pro pneumatickou přepravu vzduchu. Trysky mohou mít plochý, kruhový nebo bodový rozptyl. V pneumatice se nejčastěji používají proudové záchytné trysky (reflexní a dorazová tryska), které se využívají pro indikování a kontrolu předmětů. [8] Na Obr. 8 je znázorněna tryska pro zvlhčování vzduchu.



Obr. 8 : Tryska pro zvlhčování vzduchu [9]

2.9. Rozvod vzduchu

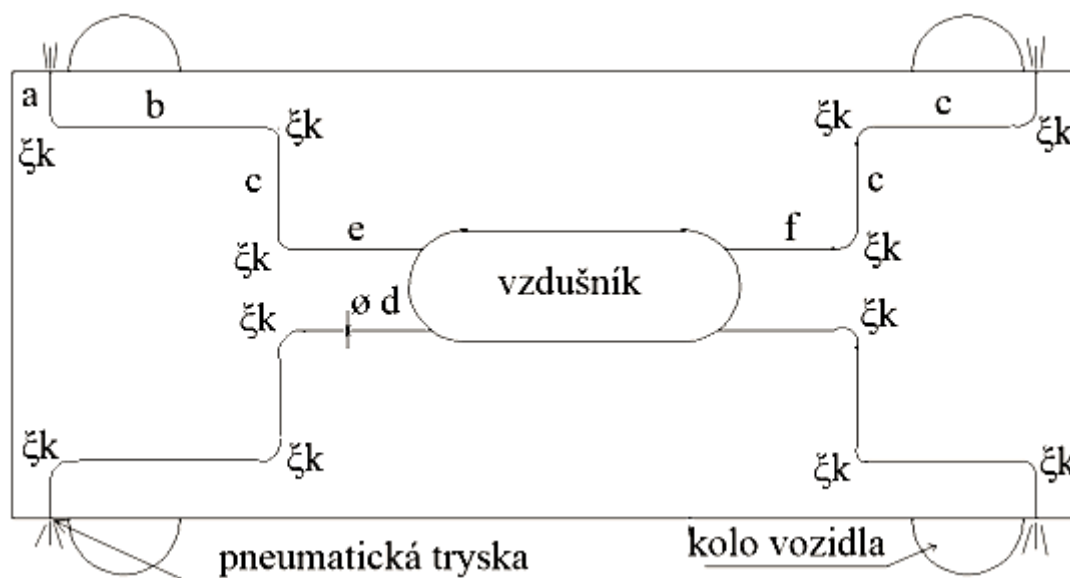
Stlačený vzduch z kompresoru a vzdušníku je potřeba rozvést k jednotlivým pneumatickým prvkům pomocí rozvodné sítě, která je tvořena potrubím plastovým nebo ocelovým. Potrubí by mělo splňovat určité podmínky ke korektnímu rozvodu (např.: mělo by odolávat změnám teploty vzduchu, montáž by měla být snadná, k jednotlivým prvkům by se mělo přivádět stanovené množství vzduchu, mechanická pevnost potrubí by měla být taková, aby se materiál rozvodné sítě neporušil vlivem tlaku vzduchu, atd.). Průměr potrubí je vhodné volit tak, aby tlakové ztráty nepřesáhly 10 kPa. Obecně by rozvodná síť neměla být zastavěna nebo instalována do úzkých šachet, protože kontrola a údržba je pak obtížná a díky tomu vznikají i velké tlakové ztráty. [10]

Aby u kondenzátu byl zajištěn snadný průtok potrubím, měl by mít hlavní rozvod spád minimálně 2°. Průhyby v síti by měly být takové, aby se v nich netvořily nečistoty a usazeniny, protože čištění starších pneumatických rozvodů je náročné a finančně nákladné.

Nejčastějším problémem u těchto rozvodů bývají ztráty vzduchu. Například otvorem o průměru 1 mm při přetlaku 6 bar unikne potrubím za hodinu přibližně 4,5 m³ stlačeného vzduchu. [11]

3. Návrh pneumatického systému

Navrhovaný pneumatický obvod je zobrazen na Obr. 9, kde ze vzdušníku, který je umístěn ve středu vozidla, je v pneumatickém potrubí poháněn stlačený vzduch malým pístovým motorem k ventilu a pneumatické trysce. Pneumatické potrubí je vedeno ke každému z kol vozidla, kde se pomocí vyfukujícího vzduchu z trysky reguluje stav a polohu vozidla ve smyku.



Obr. 9: Schéma rozvodu stlačeného vzduchu ve vozidle

Použité zkratky na Obr. 9:

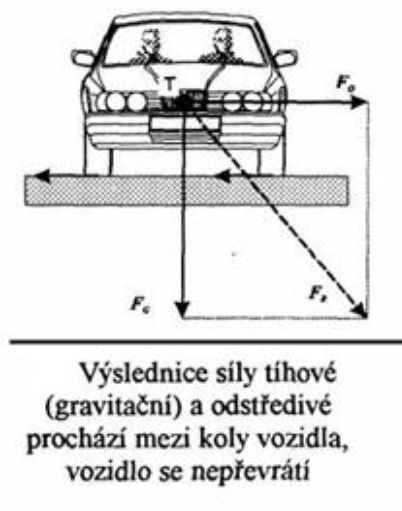
a, b, c, e, f - délky potrubí

ξ_k - ztráta na kolínku

$\varnothing d$ - průměr pneumatického potrubí

3.1. Jízda vozidla při průjezdu zatáčkou

K návrhu celého systému je třeba si uvědomit, jak se vozidlo chová, pokud dochází k jeho smyku. Při průjezdu zatáčkou na vozidlo působí adhezní síla, odstředivá síla, tíhová síla a odporová síla vzduchu. Odporovou sílu vzduchu zanedbáme. Orientace působících sil je zobrazena na Obr. 10.



Obr. 10 : Orientace sil působících na vozidlo při průjezdu zatáčkou [12]

kde:

\vec{F}_o je odstředivá síla (N)

\vec{F}_g je tíhová síla (N)

\vec{F}_z je výslednice síl \vec{F}_g a \vec{F}_o (N).

Odstředivá síla \vec{F}_o je důsledek setrvačné síly, jež se snaží udržovat vozidlo v rovnoměrném přímočarém pohybu. Odstředivá síla \vec{F}_o vyvolává v příčném směru klopivý moment, který způsobí odlehčení vnitřních kol a přitížení kol vnějších.

Velikost odstředivé síly se určí pomocí vztahu [12]:

$$F_o = \frac{mv^2}{r} \quad (\text{N}) \quad (1)$$

kde:

m je hmotnost jedoucího vozidla (kg)

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

r je poloměr zatáčení kol (m).

Adhezní síla \vec{F}_t působí mezi povrchem vozovky a pneumatikou. Tato síla závisí na součiniteli adheze, který charakterizuje schopnost materiálů spolu přilnout. Adhezní síla je vyjádřena vztahem:

$$\vec{F}_t = \mu \vec{F}_g = \mu mg \quad (\text{N}) \quad (2)$$

kde:

μ je součinitel adheze (–)

\vec{F}_g je tíhová síla (N)

m je hmotnost vozidla (kg)

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

K tomu, aby došlo ke smyku vozidla musí platit, že $\vec{F}_o > \vec{F}_t$, tedy rychlost vozidla

$v > \sqrt{\mu rg}$. Odečteme-li adhezní sílu \vec{F}_t od odstředivé síly \vec{F}_o , dostaneme velikost síly \vec{F}_d .

Aby se vozidlo dostalo zpět ze smyku, je potřeba pomocí pneumatické trysky vyvinout takovou reakční sílu \vec{F}_r , kde $\vec{F}_r \geq \vec{F}_d$.

3.2. Výpočet reakční síly \vec{F}_r

Teorie pro letecké motory říká, že tah je síla, která tlačí motor vpřed. Tahová síla je vyvozena urychlením vzduchu, jež prochází motorem. Jde tedy o rozdíl hybností vzduchu vstupujícího do motoru a hybnosti vzduchu z motoru vystupujícího. Celá tato teorie se opírá o Newtonův zákon akce a reakce. [13]

Pneumatické trysky pracují na stejném principu, z čehož vyplývá, že hledaná reakční síla je stejně velká jako tahová síla, jen má opačný směr.

Tahová síla (reakční) se vypočítá podle vztahu:

$$\vec{F}_r = Q(v_2 - v_1) \quad (N) \quad (3)$$

kde:

Q je průtočné množství vzduchu ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

v_1 je rychlost vzduchu v potrubí ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

v_2 je rychlost vzduchu vycházející z trysky ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

3.3. Rychlost vzduchu vystupující z trysky

Pro zjednodušení výpočtu budeme považovat pneumatickou trysku za ideální trysku čili dýzu, která bude mít tvar konkávního nátrubku (Obr. 11). Potom v místě zúžení bude mít proud vzduchu stejnou rychlost, jako z výstupu trysky. Experimentálně bylo zjištěno, že pokud tlak v potrubí p_1 je konstantní a tlak okolí p_3 se postupně snižuje, pak se s ním snižuje i tlak na konci trysky p_2 až na hodnotu $p_2 = 0,528 p_1$. [14]

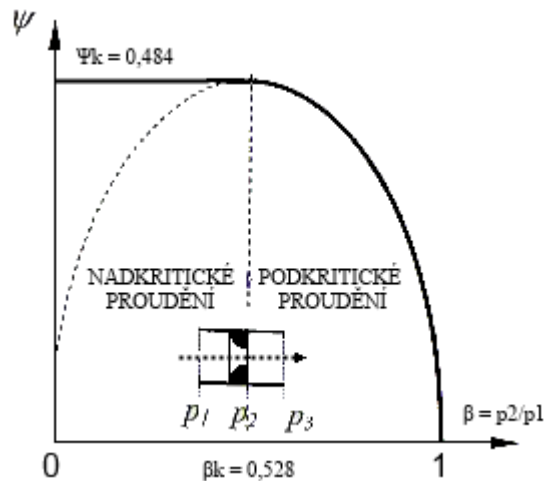
Poté v místě zúžení rychlost vzduchu dosáhne rychlosti:

$$v_{2k} = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa + 1} \frac{p_1}{\rho_1}} = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa + 1} rT_1} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (4)$$

kde:

κ je Poissinova konstanta (–)

p_1 je tlak vzduchu v potrubí (Pa) a ρ_1 je hustota stlačeného vzduchu ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).



Obr. 11: Závislost výtokového součinitele Ψ_k na poměru tlaků pro konkávní nátrubek β [14]

3.4. Výpočet rychlosti vzduchu v pneumatickém potrubí

Běžná rychlost proudění vzduchu v pneumatickém potrubí u kovových materiálů by měla být kolem $20 - 25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, u plastových materiálů kolem $5 - 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Plyny mají v porovnání s kapalinou malou hustotu. Polohová energie se dá zanedbat vůči převládající kinetické a tlakové energii. U plynů je nutno tlakovou energii určit s přihlédnutím na stlačitelnost tekutiny. [15]

Rychlost vzduchu v potrubí můžeme vypočítat z rovnice kontinuity:

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) \quad (5)$$

kde:

v_1 je rychlost vzduchu v potrubí ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Q je průtok vzduchu potřebný k vyfouknutí ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)

d je průměr pneumatického potrubí (m)

Pro stanovení hustoty stlačeného vzduchu použijeme stavovou rovnici:

$$p_1 = \rho_1 T_1 R \quad (\text{Pa}) \quad (6)$$

$$\text{a z toho: } \rho_1 = \frac{p_1}{RT} \quad (\text{kg.m}^{-3})$$

kde:

R je měrná plynová konstanta vzduchu ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

T_1 je teplota vzduchu uvnitř v potrubí (K)

p_1 je tlak vzduchu v potrubí (Pa)

ρ_1 je hustota stlačeného vzduchu (kg.m^{-3})

3.5. Návrh vzdušníku a potrubí

Průřez potrubí vypočteme z rovnice kontinuity [16]:

$$Q = V\rho_1 = Sv_1\rho_1 \quad (\text{m}^3.\text{s}^{-1}) \quad (7)$$

kde:

Q je objemový průtok ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)

V je objem zásobníku vzduchu (vzdušníku) (m^3)

ρ_1 je hustota stlačeného vzduchu (kg.m^{-3})

S je průřez potrubí (m^2)

v_1 je rychlost vzduchu v potrubí (m.s^{-1})

Z toho pak průřez potrubí je definován jako:

$$S = \frac{Q}{v_1\rho_1} \quad (\text{m}^2) \quad (8)$$

Pak průměr potrubí se vypočítá pomocí vztahu:

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad (m) \quad (9)$$

Velikost vzdušníku stlačeného vzduchu závisí na množství vzduchu dodávaného kompresorem, spotřebě vzduchu, rozvodné síti, způsobu regulace kompresoru, přípustném tlakovém spádu v síti atd. Objem vzdušníku můžeme stanovit pomocí diagramu (Obr. 12), kde budeme znát tlakový spád, dodávaný průtok vzduchu z kompresoru a počet sepnutí kompresoru. [1]

Objem vzdušníku lze stanovit též ze vztahu, který byl stanoven praxí [16]:

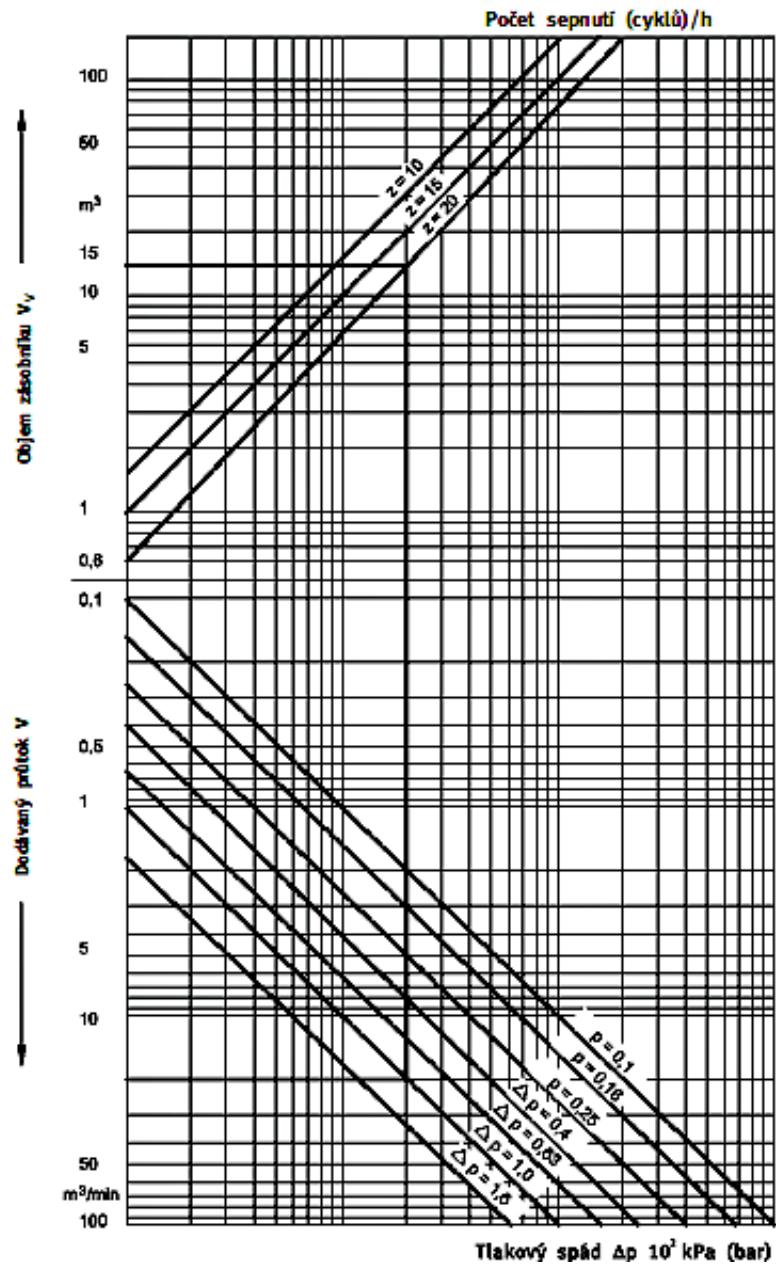
$$V = 1,6Q_1 \quad (m^3) \quad (10)$$

kde:

V je objem vzdušníku (m^3)

Q_1 je jmenovitá hodnota výkonu kompresoru (m^3/s)

Pro výfuk vzduchu do všech částí systému by měl být objem vzdušníku čtyřikrát větší než objem V , protože ze vzdušníku povedou čtyři potrubí.



Obr. 12: Diagram pro určení objemu zásobníku vzduchu [1]

3.6. Ztráty v potrubí

Za předpokladu, že délka potrubí nepřesáhne jednotky metrů a půjde-li o izotermické proudění, pak tlakovou ztrátu v potrubí můžeme vyjádřit pomocí Weisbachova vztahu [14]:

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho_1}{2} v_1^2 \quad (-) \quad (11)$$

kde:

λ je součinitel přebytku vzduchu (-)

l je délka potrubí (m)

d je průměr potrubí (m)

ρ_1 je hustota stlačeného vzduchu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

v_1 je rychlost stlačeného vzduchu v potrubí ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

U pneumatických mechanismů se uvádí, že součinitel přebytku vzduchu pro plastové potrubí je dán vztahem:

$$\lambda = 1,15 \frac{0,288}{Re^{0,226}} \quad (-) \quad (12)$$

Pro kovové potrubí se součinitel přebytku vzduchu vypočítá podle vztahu:

$$\lambda = \frac{0,242}{Re^{0,22}} \quad (-) \quad (13)$$

kde:

Re je Reynoldsovo číslo (-)

Z praktických výpočtů bylo zjištěno, že v široké oblasti nad $Re = 1 \cdot 10^4$ lze pro plyny a kapaliny brát $\lambda = 0,02$.

Ve vedení jsou kromě přímých úseků i různé typy přípojek, které například mají jiný tvar nebo mají jiný průřez. U všech těchto přípojek se mění vektor rychlosti proudění, proto i ztráty se budou měnit. Místní ztrátu můžeme vypočítat podle vztahu:

$$\Delta p = \xi \rho_1 \frac{v_1^2}{2} \quad (-) \quad (14)$$

kde:

Δp je místní ztráta na kolínekách (-)

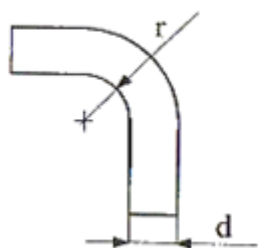
ρ_1 je hustota stlačeného vzduchu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

v_1 je rychlost stlačeného vzduchu v potrubí ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

ξ je ztrátový součinitel (-)

Hodnoty ztrátového součinitele ξ jsou zobrazeny v Tab. 2, kde podle průměru potrubí d a poloměru ohnutí potrubí r určíme ztrátový součinitel ξ .

Tab. 2: Ztrátové součinitele hladkého ohybu [14]



r/d	ztrátový součinitel ξ			
	$\phi=180^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=60^\circ$	$\phi=30^\circ$
1	0,34	0,22	0,18	0,11
2	0,21	0,15	0,12	0,07

4. Stanovení pneumatických prvků v systému

Pro navrhovaný pneumatický systém je třeba stanovit, jaký typ vzdušníku by se dal použít a dále jaké použít ventily a pneumatické trysky.

4.1. Návrh vzdušníku

Po prostudování celé situace je možné stlačený vzduch uchovávat v klasickém zásobníku vzduchu, který by byl umístěn, předpokládejme, ve středu vozidla, nebo by se dal použít systém s tlakovými „bombičkami“.

Ležaté vzdušníky

Při použití ležatého vzdušníku ve vozidle by se předpokládalo, že do systému bude zaveden ještě kompresor, který bude neustále do vzdušníku dodávat vzduch. Nejdůležitější výhody a nevýhody použití vzdušníku jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3: Výhody a nevýhody ležatých vzdušníků

LEŽATÉ VZDUŠNÍKY	
<i>výhody</i>	<i>nevýhody</i>
efektivnější, levnější	velká hmotnost
stálý přívod dodávaného vzduchu	velký zástavbový prostor
větší množství stlačeného vzduchu	

Použitelné by byly vzdušníky, které nabízí např. firma TechnoAir, nebo firma Compressed Gas CZ s.r.o.

Tlakové láhve

Tlakové lahve („bombičky“) by byly umístěny u každého kola vozidla, kdy by nebylo použito čerpadlo, ale byly by jednorázové a po použití systému by se musely vyměňovat. Výhody a nevýhody jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4: Výhody a nevýhody tlakových „bombiček“

TLAKOVÉ „BOMBIČKY“	
<i>výhody</i>	<i>nevýhody</i>
malá hmotnost	nákladné
snadno umístitelné	časově náročné (výměna „bomby“)

4.2. Návrh pneumatických ventilů

Pro zvolení vhodného ventilu je důležité spočítat průtok vzduchu a tlak vzduchu, který by měl procházet ventilem. Bylo by vhodné použít rychlé ventily, aby dokázaly co nejrychleji pustit vzduch do pneumatické trysky, když vozidlo dostane smyk.

Firma Camozzi nabízí 2/2 cestné ventily série A, které jsou vhodné pro suchý a mazaný vzduch. Tyto ventily mohou být bez proudu vzduchu uzavřené nebo otevřené. Jsou to elektromagnetické ventily, kde např.: cívka typu G90 vyvolává velmi krátký impuls pro otevření ventilu, který netrvá déle než 20 ms. Část katalogu firmy je uvedena v příloze 1. [17]



Obr. 13: Rychlý ventil kategorie MH [18]

Další možností by bylo použít rychlé ventily MH (Obr. 13) od firmy Festo, které umožňují velmi krátké a opakovatelné časy sepnutí. Jsou citlivé k prostoru, zvyšují frekvenci strojů a mají malé rozměry.

4.3. Návrh pneumatických trysek

Na trhu je mnoho druhů vzduchových trysek. V zásadě by se daly použít jednak trysky s plochým nebo trysky s tenkým a ostrým paprskem jak pro vzduch tak i pro kapalinu.

Vícekanálové trysky

Na Obr. 14 je ukázka vícekanálové trysky firmy Lechler, jejíž výhodou je nižší hladina hluku, nízký pracovní tlak při stejné pracovní síle, nízká spotřeba vzduchu a nižší náklady. [19]

Trysky s tenkým ostrým paprskem

Tyto trysky (Obr. 15) mají široký a silný proud vzduchu, výměna je bezproblémová, montují se pomocí matice. Paprsek vyfukujícího vzduchu lze snadno nasměrovat.



Obr. 14: Vícekanálová tryska od firmy Lechler [19]



Obr. 15: Tryska s tenkým ostrým paprskem od firmy Lechler [19]

V příloze 2 je ukázaná část katalogu s tryskami, které nabízí firma Spraying system Co.

5. Závěr

Celý pneumatický systém je velmi komplikovaný, proto výběr jednotlivých typů součástí není jednoduchý. Pro zvolení přesných pneumatických prvků je třeba nejprve spočítat hodnoty podle vzorců, uvedených v kapitole 2, aby bylo možné podle katalogů firem vybrat typ trysky, vzdušník (popř. bombičku), potřebný ventil a kompresor. Navrhované prvky v kapitole 3 jsou pouze orientační. Podrobnými výpočty a přesnějším návrhem bych se zabývala v Diplomové práci, kde by byly prováděny pokusy s pneumatickým systémem na menším modelu vozidla.

Nutno podotknout, že obsah této práce se nachází pouze v teoretické rovině a jeho praktické použití je zatím nejasné. Pneumatická tryska by foukala stlačený vzduch do otevřeného prostoru a není zřejmé, zda-li by síla vytlačeného vzduchu stačila na to, aby vozidlo smyk vyrovnalo. Proto se tu nabízí ještě jedna možnost a to taková, že by pneumatické trysky byly nasměrovány směrem dolů k vozovce, tím dojde k mírnému posunu těžiště vpřed a zatížení přední nápravy. Tím dojde i ke zvýšení adheze mezi předními koly a vozovkou. Musíme však být opatrní, abychom příliš nesnížili adhezi mezi zadními koly a vozovkou.

Problém by nastal, kdyby se při výpočtech zjistilo, že by vzdušník byl natolik veliký, že by nebylo možné ho umístit do vozidla. Potom by se tu nabízela možnost použít natlakované bombičky, ale to má řadu nevýhod. Např. nutnost výměny těchto bombiček po každém použití, což rozhodně není efektivní.

Tyto uvedené problémy a mnoho dalších budou řešeny v navazující Diplomové práci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FESTO. *Úvod do pneumatiky*. Praha: FESTO Didactic, 1978. ISBN 80-01-00042-7.
- [2] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechaniky*. 3. vydání. Praha: Europa Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-17-7.
- [3] DIRECT INDUSTRY. *Air eliminator*. [online].[citováno 2013-02-06].<
<http://www.directindustry.com/prod/mankenberg-gmbh/air-eliminators-25111-499369.html>>.
- [4] O KOMPRESORECH. *Čištění zpětného ventilu u pístových kompresorů*. [online].2010[citováno 2013-02-06].<
<http://www.okompresorech.cz/news/cisteni-zpetneho-ventilu-u-pistovych-kompresoru/>>.
- [5] TOOLINGU. *Hydraulics and Pneumatics training*. [online].(2012).<
<http://www.toolingu.com/definition-570120-31776-reducing-valve.html>>.
- [6] MARITIME PARK ASSOCIATION. *Mechanical details of models distilling unit*. [online].2004[citováno 2013-02-06].<<http://www.maritime.org/fleetsub/still/chap3.htm>>.
- [7] STYLEFORUM. *The recommend something thread*. [online].(2010).[citováno 2013-02-06].< <http://www.styleforum.net/t/180790/the-recommend-something-thread>>.
- [8] ARGALÁŠ, M. *Vzduchové trysky*. [online]. (2004). [citováno 2013-02-06] <
http://www.trysky.cz/produkty_vztrysky.php>.
- [9] JS HUMIDIFIERS. *JetSpray – the World’s leading air & water atomising humidifier*. [online].[citováno 2013-02-06].< <http://www.jshumidifiers.com/jetspray-the-worlds-leading-air-water-atomising-humidifier-436-details/>>.
- [10] BENEŠ, P. *Pneumatická ovládání - Doplnkové skriptum*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1991. 94 s. ISBN 80-01-00692-1

- [11] AUTOMA. *Výroba a rozvod stlačeného vzduchu pro pneumatickou regulaci*.
[online].2000, č.10.[citováno 2013-02-06].<
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=27922>.
- [12] VÉMOLA,A. *Dynamika jízdy vozidel*. [online]. [citováno 2013-02-19].<
<http://opvk.cdvinfo.cz/file/dynamika-jizdy-vozidel/>>
- [13] KUSSOIR,Z. *Princip vytváření tahu*. [online]. (2002). [citováno 2013-02-20].<
<http://www.leteckemotory.cz/teorie/teorie-01.php>>.
- [14] CERHA,J. *Hydraulické a pneumatické mechnismy I*. 2. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci. 2010. ISBN 80-7372-560-0.
- [15] DRÁBKOVÁ,S. *Mechanika tekutin*. 1.vydání. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO. 2007. ISBN 978-80-248-1508-4.
- [16] RAEN s.r.o. *Stlačený vzduch – snižování energetické náročnosti*. [online]. [citováno 2013-02-20].< <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/2179.pdf>>.
- [17] CAMOZZI. *2/2 - a 3/2- cestné ventily série A*. [online]. [citováno 2013-02-26].<
<http://www.stasto.cz/data.aspx?data=76779b1e-8f85-4a17-9aa8-e64654abab3c>>.
- [18] FESTO. *Rychlé ventily MH*. [online]. [citováno 2013.02-27].<
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/7398/PSI_207_1_cs.pdf>.
- [19] LECHLER. *Vzduchové trysky*. [online]. [citováno 2013.02-27]. <
http://www.hennlich.cz/uploads/CZ_vzduchov%C3%A9.pdf>.
- [20] JANUŠKA KOMPRESORY. *Vzduchové trysky a nože*. [online]. [citováno 2013.03-03].<
<http://www.kompres.cz/kategorie/trysky.aspx>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

Symbol	Název	Jednotka
d	průměr pneumatického potrubí	(m)
F_g	tíhová síla	(N)
F_o	odstředivá síla	(N)
F_r	reakční síla	(N)
F_t	adhezní síla	(N)
g	tíhové zrychlení	($m.s^{-2}$)
l	délka potrubí	(m)
m	hmotnost vozidla	(kg)
Q_1	jmenovitá hodnota výkonu kompresoru	($m^3.s^{-1}$)
p_1	tlak vzduchu v potrubí	(Pa)
Q	průtočné množství vzduchu	($m^3.s^{-1}$)
r	poloměr zatáčení kol	(m)
R	měrná plynová konstanta vzduchu	($J.kg^{-1}.K^{-1}$)
Re	Reynoldsovo číslo	(-)
S	průřez potrubí	(m^2)
T_1	teplota vzduchu uvnitř v potrubí	(K)
v	rychlost vozidla	($m.s^{-1}$)
V	objem zásobníku vzduchu	(m^3)
v_1	rychlost vzduchu v potrubí	($m.s^{-1}$)
v_2	rychlost vzduchu vycházející z trysky	($m.s^{-1}$)
v_{2k}	rychlost vzduchu v zúženém místě trysky	($m.s^{-1}$)
κ	Poissinova konstanta	(-)
λ	sočinitel přebytku vzduchu	(-)
ξ	ztrátový součinitel	(-)
ρ_1	hustota stlačeného vzduchu	($kg.m^{-3}$)
Δp	místní ztráta na kolínkách	(-)
μ	součinitel adheze	(-)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Zařízení pro zásobování tlakovým vzduchem	12
Obr. 2 Pístový kompresor s přímočarým pohybem pístu.....	13
Obr. 3 Vzdušník	15
Obr. 4 Princip zpětného ventilu – složení	16
Obr. 5 Redukční ventil s membránou	16
Obr. 6 Uzavírací ventil.....	17
Obr. 7 Uzavírací sedlový ventil VPOO, VPOO/3 – konstrukce.....	17
Obr. 8 Tryska pro zvlhčování vzduchu	18
Obr. 9 Schéma rozvodu stlačeného vzduchu ve vozidle.....	19
Obr. 10 Orientace sil působících na vozidlo při průjezdu zatáčkou	20
Obr. 11 Závislost výtokového součinitele Ψ_k na poměru tlaků β	23
Obr. 12 Diagram pro určení objemu zásobníku vzduchu.....	26
Obr. 13 Rychlý ventil kategorie MH.....	30
Obr. 14 Vícekanálová tryska od firmy Lechler.....	31
Obr. 15 Tryska s tenkým ostrým paprskem od firmy Lechler	31

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vlastnosti vzduchu.....	10
Tab. 2 Ztrátové součinitelé hladkého ohybu	28
Tab. 3 Výhody a nevýhody tlakových „bombiček“	30

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: 2/2 a 3/2-cestný elektromagnetický ventily od firmy CAMOZZI [17]



Model	Vstup	Fce	DN	Kv L/min (H ₂ O)	Qn NL/min	Tlak od - do barů
A321-0C2-000*	M5	NC	1.5	0.9	63	0 + 15
A321-1C2-000*	G1/8"	NC	1.5	1.1	68	0 + 15
A321-1D2-000*	G1/8"	NC	2	1.8	111	0 + 9
A321-1E2-000*	G1/8"	NC	2.5	2.2	160	0 + 6
A322-0C2-000*	M5	NO	1.8	1	91	0 + 10
A322-1C2-000*	G1/8"	NO	1.8	1.1	96	0 + 10

Model	Vstup	Fce	DN	Kv L/min (H ₂ O)	Qn NL/min	Tlak od - do barů
A331-0C2-000*	M5	NC	1.5	0.8	60	0 + 10
A331-1C2-000*	G1/8"	NC	1.5	1	66	0 + 10
A332-0C2-000*	M5	NO	1.5	0.7	53	0 + 6
A332-1C2-000*	G1/8"	NO	1.5	0.8	60	0 + 6

* doplňte o požadovanou cívku

Změna konstrukce, rozměrů a materiálů vyhrazena.

Příloha 2 : Ukázka pneumatických trysek od firmy Spraying system Co [20]

Druh trysky	Název trysky	Zobrazení modelu
Vícekanálková tryska – řazení kanálků v řadě	WindJet 727	
Vícekanálková tryska – řazení kanálků v kruhu	WindJet 707	
Vícekanálková tryska – řazení v kruhu	WindJet 737	
Vysocevýkonná vícekanálková tryska – řazení v kruhu	LU-VK	
Vícekanálková bodová tryska	LU-VS	
Vícekanálková zpětná tryska	LU-HK	
Tryska s plochým širokoúhlým paprskem	UniJet TB + TK	
Tryska s plochým širokoúhlým paprskem	FloodJet K	
Ofukovací kruh	LU-BR	
Trysková tyč	WindJet tyče	
Vícečetná trysková ofukovací hlavice	LU-ZU	
Vzduchový nůž	WindJet Air Knife 50750	