

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Vzduchové tlumení hmotných předmětů při manipulaci

Air Damping of Mass Objects During Manipulation

Student:

Petr Brzezina

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Kamil Fojtášek, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Brzezina**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Vzduchové tlumení hmotných předmětů při manipulaci**
Air Damping of Mass Objects During Manipulation
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte přehled vlakových kol, jejich velikosti, tvary, hmotnosti a popis výroby.
- 2) Uveďte možnosti řešení pneumatického tlumení pro konkrétní aplikaci gravitování vlakových kol.
- 3) Proveďte návrh a výpočet pneumatických motorů, včetně možnosti upnutí a řešení pojezdu.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy Díl I. - Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005. 275 s. ISBN 80-248-0879-X.

KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training - Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.

BEATER, P. *Pneumatic Drives: System Design, Modeling and Control*. Berlín: Springer, 2007. 323 pp. ISBN 978-3540-69470-0.

Katalogy a firemní prospekty.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kamil Fojtášek, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. 5. 2016

..... *Buršína*

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmů z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16.5.2016

..... Brzezina

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Brzezina

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bukovec 348, PSČ 73998

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BRZEZINA, P. Vzduchové tlumení hmotných předmětů při manipulaci: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2016, 46 s. Bakalářská práce, vedoucí: Fojtášek, K.

Bakalářská práce se zabývá návrhem tlumících prvků a stojanu pro jejich uchycení. Konkrétně se jedná o aplikaci gravírování železničních kol, které jsou manipulátorem přemístěny nad obráběcí stroj. Při usazení železničního kola na upínací stůl je nutné vzhledem k jeho hmotnosti použít tlumení. Jednotlivé typy železničních kol mají různé rozměry i tvary, z tohoto důvodu musí být tlumící prvky uchycené tak, aby bylo možné měnit jejich polohu. Bakalářská práce v úvodu obsahuje základní informace o výrobě a druzích železničních kol. Dále jsou uvedeny možnosti realizace tlumení a tři konstrukční návrhy řešení mechanismu pro změnu polohy tlumících prvků. V závěru práce je proveden výpočet vybraného tlumícího prvku pro dvě konkrétní situace.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BRZEZINA, P. Air Damping of Mass Objects During Manipulation: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, 2016, 46 p. Thesis head: Fojtášek, K.

The bachelor thesis deals with the design of the damping elements and stands for their attachments. Specifically, the application of the engraving which are moved by the manipulator above the machine tool. During the establishment of a railway wheel on the clamping table is required due to its mass use damping. Individual types of rail wheels have different dimensions and shapes and for that the damping elements must be mounted so as to be able to change their position. Bachelor's thesis at the beginning provides basic information about the production and types of railway wheels. Then there are possibilities of dumping realization and the three design proposals for dealing with mechanism for changing the position of the damping elements. At the end there is a calculation of the damping element for two specific situations.

Obsah

Seznam použitých symbolů a značek	8
1 Úvod	9
2 Výroba, konstrukce a přehled vlakových kol	10
2.1 Výroba železničních kol	10
2.1.1 Úprava povrchu kola	11
2.2 Konstrukce kol	12
2.2.1 Obručové kolo	12
2.2.2 Celistvé kolo	12
2.3 Základní typy kol kolejových vozidel	13
2.3.1 Lokomotivy	13
2.3.2 Osobní vozy	14
2.3.3 Metra	15
2.3.4 Tramvaje	15
2.3.5 Nákladní vozy	17
3 Možnosti pneumatického tlumení	19
3.1 Tlumení	19
3.2 Pneumatické tlumení	19
3.3 Pneumatické měchy	20
3.4 Pneumatický válec s rolovací membránou	21
3.5 Pneumatické tlumiče	21
3.6 Průmyslové plynové pružiny	22
3.7 Přímočaré pneumatické válce	23
3.8 Prvky k regulaci průtoku, tlaku	23
3.8.1 Škrticí ventily	23
3.8.2 Tlakové ventily	24
4 Možnosti řešení pneumatického tlumení	25
4.1 Seznámení s řešenou situací	25

4.1.1	Gravírování.....	26
5	Návrh stojanu pro uchycení pneumatického válce.....	27
5.1	První návrh.....	27
5.2	Druhý návrh.....	29
5.3	Třetí návrh.....	30
5.4	Opěrky.....	33
6	Výpočet a návrh tlumícího členu.....	35
6.1	První předpoklad.....	35
6.1.1	Výpočet.....	36
6.2	Druhý předpoklad.....	38
6.2.1	Výpočet.....	39
7	Závěr.....	42
	Poděkování.....	44
8	Seznam použité literatury.....	45

Seznam použitých symbolů a značek

Symbol	Popis	Jednotka
D	Průměr pístu	[mm]
T	Teplota	[°C]
W1	Kinetická energie	[J]
W2	Energie od silového zatížení	[J]
W3	Celková energie	[J]
g	Gravitační zrychlení	[m · s ⁻²]
h _{pist}	Zdvih pístu	[mm]
m	Hmotnost kola na jeden tlumící prvek	[kg]
m _e	Ekvivalentní hmotnost	[kg]
p ₁	Tlak před zatížením	[MPa]
p _{1p}	Přepočtený tlak	[MPa]
p ₂	Tlak po zatížení	[MPa]
p _x	Tlak k zajištění klesání břemene	[MPa]
s	Stlačení při zatížení	[mm]
v	Rychlost spouštění	[m · s ⁻¹]
v _D	Nárazová rychlost	[m · s ⁻¹]
x	Posunutí vůči zákl. poloze pístu (vysunutý)	[mm]

1 Úvod

Při manipulaci s výrobky v průmyslové praxi dochází ke vzniku nežádoucích setrvačných sil. Tyto síly lze eliminovat použitím tlumičů, které mohou být různých provedení (mechanické, hydraulické, pneumatické). Pneumatické tlumiče jsou konstrukčně velmi jednoduché a pro tlumení využívají principu stlačitelnosti vzduchu. V dnešní době plně automatizovaných výrobních linek, nacházejí často uplatnění. Regulací tlaku vzduchu uvnitř tlumiče lze snadno nastavit jeho tuhost. Rychlost pohybu či spouštění tlumeného prvku lze regulovat upouštěním stlačeného vzduchu přes škrticí ventil.

Ve své práci se budu zabývat možnostmi řešení pneumatického tlumení u konkrétní aplikaci gravírování železničních kol. Jednotlivé typy železničních kol, se od sebe liší jak hmotností, tak svým tvarem. Z tohoto důvodu je na začátku práce uveden krátký přehled různých druhů železničních kol, včetně popisu jejich výroby. S ohledem na různé tvary kol se v práci dále zabývám konstrukčním návrhem mechanismu pro změnu polohy tlumicích prvků. V závěru práce je proveden výpočet a návrh tlumicího zařízení, pro dvě varianty řešení. Tato práce vznikla z podnětu firmy SMC Industrial Automation CZ s.r.o, která se obdobnou problematikou v minulosti zabývala.

2 Výroba, konstrukce a přehled vlakových kol

2.1 Výroba železničních kol

Nejznámějším způsobem výroby kol je kování za využití hydraulických lisů tvářecími operacemi pěchováním a tvarováním. Před založením ohřátého špalku do lisu se odstraní primární okuje použitím vysokotlakého ostříku. Po vytvarování kola následuje děrování na dalším hydraulickém lisu, a po válcování věnce kola na válcovací stoličce je tvarování kola dokončeno na prohýbajícím lisu. Kolo železničního podvozku musí mít různé vlastnosti v různých místech svého povrchu – musí být pružné i tvrdé zároveň. Požadovaná tvrdost je vykoupena snížením pružnosti, z tohoto důvodu se kalí pouze plocha kola, která se pohybuje po koleji. [1]

Vstupním materiálem pro výrobu kola a obruče je kontinuálně litá vakuovaná ocel požadovaných jakostí. Na Obr. 1 vidíme kontislitky, což je polotovár pro výrobu. Kontislitky jsou automaticky děleny přesnými pilami na jednotlivé špalky. Pak jsou špalky zahřátý v peci na požadovanou tvářecí teplotu (teplota v peci kolem 1300 °C), Obr. 2. A po tváření za tepla vzniká zárodek kola, který musí vychladnout. Okuje na povrchu výkovku vznikají oxidací železa a musí se odstranit. Potom následuje výroba díry v náboji na děrovacím lise a následně se výrobní proces dělí na válcovnu kol a válcovnu obručí. Kola putují dále k válcování desky a věnce kola a poslední operací tváření za tepla je prohýbání, tj. formování desky kola spolu s ražením identifikačních znaků za tepla. [9]



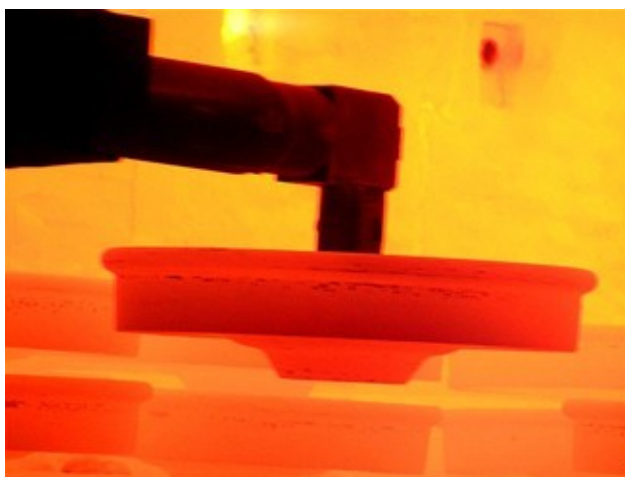
Obr. 1 Kontislitek [9]



Obr. 2 Špalek pro výrobu kola [9]

2.1.1 Úprava povrchu kola

Kolo musí mít různé vlastnosti v různých místech, musí být pružné i tvrdé, aby se zajistila správná funkčnost. Bohužel platí, že požadovaná tvrdost je kompenzována snížením pružnosti. Proto se povrchově upravuje kalením pouze plocha kola, která se při pohybu odvaluje po koleji. Jedná se o tzv. věnec kola (případně obruč kola), který se provozem vlaků postupně opotřebovává, než dojde k jeho opotřebení na limitní hranici, kdy se musí kolo vyměnit za nové. Standardní tloušťka materiálu na věnci kola, která se může opotřebit je kolem 30 mm. Samotný proces tepelné úpravy začíná ohřevem na kalicí teplotu cca 850 °C v tunelové peci, Obr. 3. Potom se kolo manipulačním ramenem jeřábu přesune na vlastní kalicí automat. Po operaci kalení následuje řízené ochlazování neboli popouštění na teplotu kolem 500 °C v další tunelové peci. Celý proces kalení a popouštění kola trvá přibližně 9 hodin. Po zušlechtnění se polotovar opracuje do výsledného tvaru, Obr. 4. [9]



Obr. 3 Ohřev v tunelové peci [9]

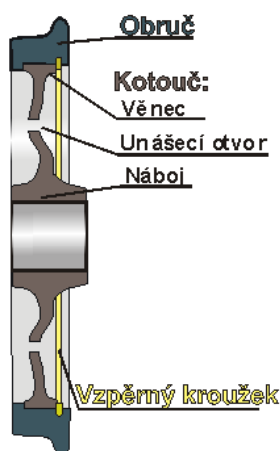


Obr. 4 Kola před a po opracování [9]

2.2 Konstrukce kol

2.2.1 Obručové kolo

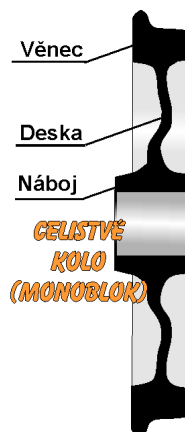
Obručové kolo se skládá z kotouče, na který je za tepla nalisována vlastní obruč, Obr. 5. Má opracovanou jízdní plochu, která je zajištěna vzpěrným kroužkem. Kotouč je svým nábojem nalisován na nápravu. Náboj plynule přechází v desku o tloušťce 25 až 31 mm, která je v příčném řezu zvlněná z důvodů snížení (tlumení) svislých rázů mezi kolem a kolejnicí. Deska opět plynule přechází ve věnec kotouče obručového kola, na který je nalisována obruč. [2]



Obr. 5 Obručové kolo [2]

2.2.2 Celistvé kolo

Monobloky jsou vyválcovány z jednoho kusu oceli. Celistvá kola mají oproti obručovým výhodu v menší hmotnosti a nehrozí u nich uvolňování obručí, Obr. 6. Nevýhodou je větší spotřeba kvalitního materiálu. [2]



Obr. 6 Celistvé kolo [2]

2.3 Základní typy kol kolejových vozidel

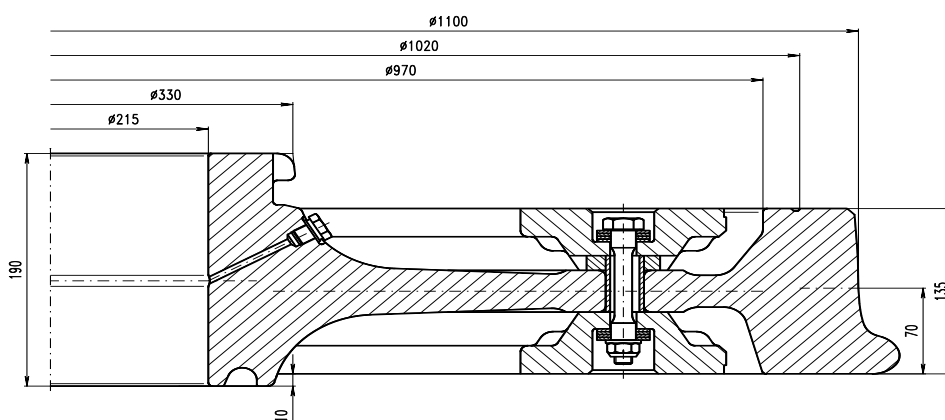
Podle druhu vozidel a jejich použití se mění tvar a velikost soukolí. Dvojkolí kolejových vozidel jsou tvořeny pevnou osou, na které jsou nalisovány kola. Náprava je také opatřena brzdovými kotouči a v případě tažné nápravy náhonem. Podle tvaru kol můžeme rozdělit stroje na lokomotivy, osobní vozy, metra, tramvaje a nákladní vozy.

2.3.1 Lokomotivy

Dvojkolí lokomotiv musí být navrženo tak, aby odolávalo nápravovému zatížení 20 až 25 tun, Obr. 7. Rychlost lokomotiv se pohybuje mezi 80 až 350 $km \cdot h^{-1}$. Lokomotivy používají kola velkých průměrů, Obr. 8, až 1250 mm z důvodu umístění pohonu. Materiály kol jsou oceli ER8, ER9 (oceli na strojní součásti). Maximální hmotnost kola vyráběného firmou Bonatrans group je 750 kg. Maximální hmotnost výchozího špalku je 1130 kg. [3]



Obr. 7 Dvojkolí lokomotivy Škoda [3]



Obr. 8 Řez kola pro lokomotivy [3]

2.3.2 Osobní vozy

V osobní dopravě se vyrábí široká škála dvojkolí podle typu dopravy, např. příměstská, regionální, vysokorychlostní. Rychlosti v osobní dopravě se pohybují mezi 80 až 500 km^{-1} . Zatížení náprav vozu je od 10 do 17 *tun*. Dvojkolí pro osobní dopravu mají nejčastěji kola průměru 920 nebo 850 *mm*. Nejčastěji používané materiály kol jsou ER7 a ER8 (oceli na strojní součásti). Brzdové kotouče jsou nalisovány na nápravu nebo namontovány na desku kola. Pro zmenšení hluku se používají tlumiče, a to jak deskové, tak kroužkové. Na Obr. 9 je dvojkolí vlaku pro osobní dopravu Škoda 471, který je známý také pod názvem City Elefant, Obr. 10. [9]

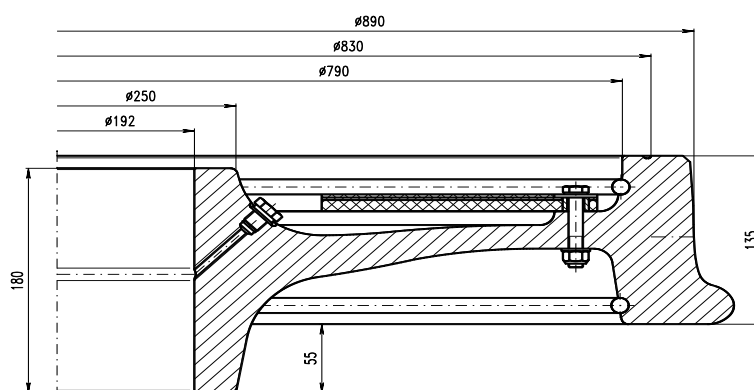


Obr. 9 Dvojkolí Škoda 471 [3]



Obr. 10 City Elefant - Škoda 471 [3]

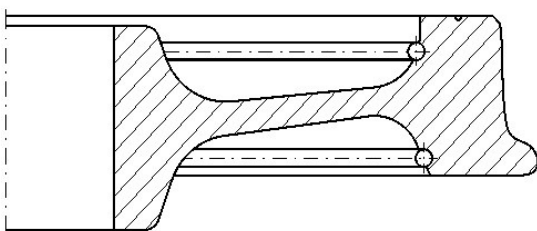
Dvojkolí vlaku Pendolina vydrží nápravové zatížení až 17 *tun*. Kola Pendolina mají průměr věnce 890 *mm* a hmotnost 294 *kg*, Obr. 11. K zmenšení hluku se používá širokopásmový deskový tlumič a dva kroužkové tlumiče. Tlumiče utlumí 25 *dB* kvilivého hluku. [3]



Obr. 11 Řez kola pro osobní dopravu Pendolino [3]

2.3.3 Metra

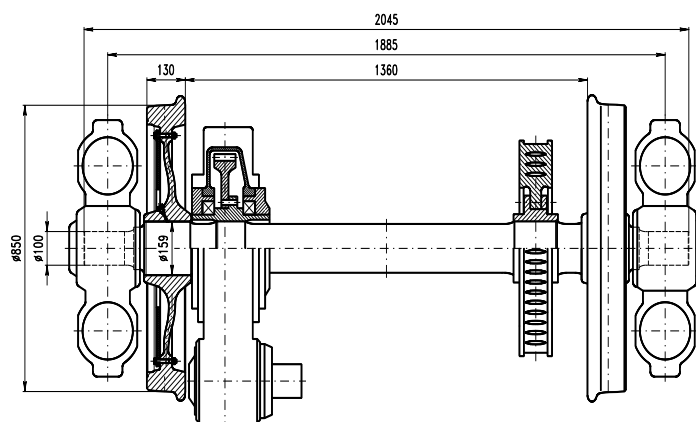
Dvojkolí pro metra mají nejčastěji kola průměru 920 nebo 850 mm. Zatížení náprav je od 10 do 17 tun. Rychlost metra se pohybuje okolo $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Nejčastěji používané materiály kol ER6, ER7 a ER8 (oceli na strojní součásti). Používají se tlumiče hluku, a to jak deskové, tak kroužkové. Je zde kladen důraz na co nejmenší hlučnost při provozu. Rozšířené je použití brzdových kotoučů nalisovaných na nápravu a širokopásmových tlumičů firmy Bonatrans, Obr. 13. Útlum valivého hluku je až 5 dB a u kvílivého hluku až 30 dB. Tlumič je přišroubován k desce kola. Tlumicí kroužky, Obr. 12, mohou snížit valivý hluk o 3 dB a kvílivý až o 15 dB. Na Obr. 14 vidíme sestavení dvojkolí pro metro M1D Praha. [3]



Obr. 12 Tlumicí kroužky [3]



Obr. 13 Širokopásmový tlumič [3]

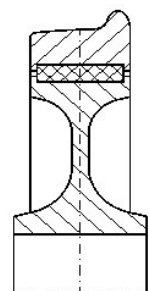


Obr. 14 Dvojkolí pro metro M1D Praha [3]

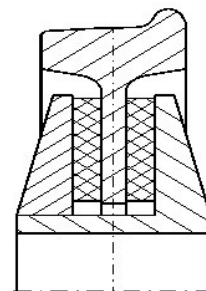
2.3.4 Tramvaje

Maximální rychlost se pohybuje kolem $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Zatížení náprav je 10 až 11 tun. Průměry kol tramvají jsou nejčastěji 610 nebo 700 mm. Pro snížení hluku se používají výhradně pryží odpružená kola. Můžeme je dělit podle uložení pryžové vystýlky na standardní VKG, Obr. 15 a hyperelastické VKG, Obr. 16. Standardní VKG kola mají větší radiální tuhost. Materiál obručí je nejčastěji B61T. Materiál kotouče bývá z C3N (nelegované oceli normalizačně žíhané). U standardní konstrukce dvojkolí je náprava otočná kolem čepu

ve středu podvozku. V současnosti se používají otočně upevněná kola na nápravnici. Nápravnice je pevně spojena s rámem tramvaje. Klouby umístěné v tramvaji umožňují projetí oblouků. [9]



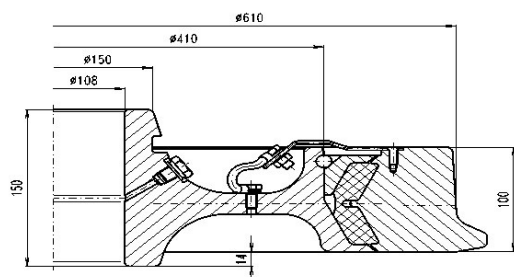
Obr. 15 Standardní VKG kolo [3]



Obr. 16 Hyperelastické VKG kolo [3]

2.3.4.1 Tramvaj Škoda 03 T

Jedná se o částečně nízkopodlažní tramvaj s maximální rychlostí $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Vůz se skládá ze tří částí, jež vzájemně propojují klouby, Obr. 18. Cely vůz je průchozí. Pod dveřmi střední části se nachází výsuvná plošina. Tato část je vhodná pro osoby se sníženou schopností pohybu a kočárky. Pohotovostní hmotnost vozu je 24 tun . Čtyři nápravy pohánějí asynchronní motory. Provedení kola tramvaje Škoda 03 T vidíme na Obr. 17. Hmotnost kola odpovídá 159 kg [3]



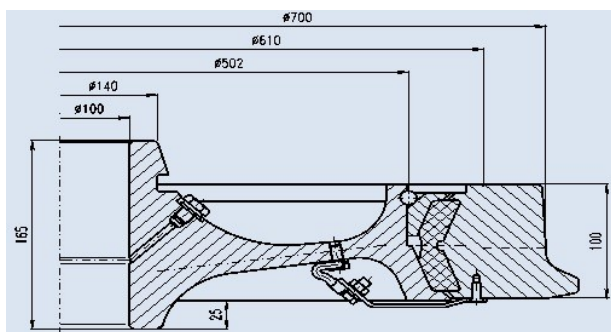
Obr. 17 Řez kola Škoda 03T-Astra [3]



Obr. 18 Tramvaj Škoda 03T-Astra [3]

2.3.4.2 Tramvaj Tatra KT8D5

Velkokapacitní tramvaj tvořená třemi články, které jsou propojené klouby, Obr. 20. Provozuje se zejména na rychlodráhách. Vyznačuje se tím, že má všech osm náprav hnaných. Vydrží nápravové zatížení až 12 tun . Maximální rychlost je $65 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Provedení a konstrukce kola tramvaje Tatra KT8D5 vyobrazuje Obr. 20. Hmotnost kola činí 192 kg . [3]



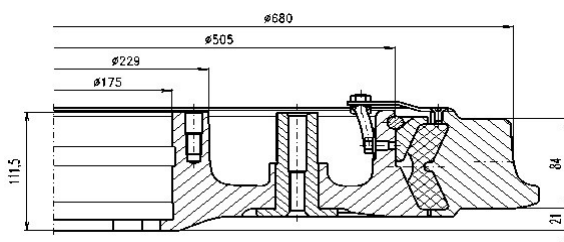
Obr. 19 Řez kola tramvaje Tatra KT8D5 [3]



Obr. 20 Tramvaj Tatra KT8D5 [10]

2.3.4.3 Tramvaj Cityway

Tramvaj Cityway se díky malému průměru kol vyznačuje svou výškou podlahy, která je 350 mm nad zemí, Obr. 22. Jedná se tedy o nízkopodlažní vůz. Umožňuje bezbariérový přístup. Hojně se používá v městské hromadné dopravě. Maximální rychlosti dosahuje kolem $70\text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Na Obr. 21 vidíme provedení a uspořádání dílů, ze kterých se kolo skládá. Hmotnost kola tohoto typu se pohybuje kolem 169 kg . [3]



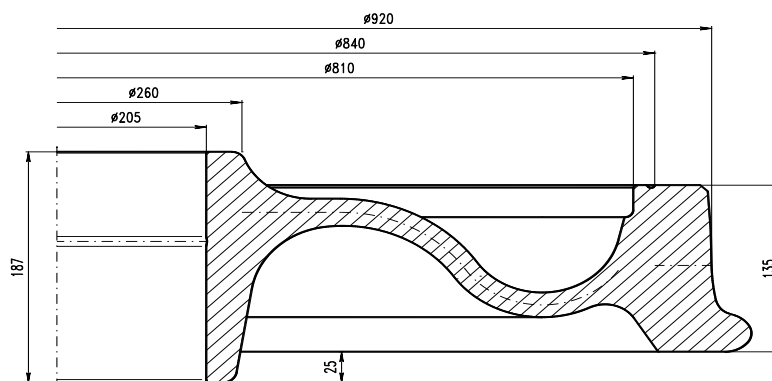
Obr. 21 Řez kola tramvaje Cityway [3]



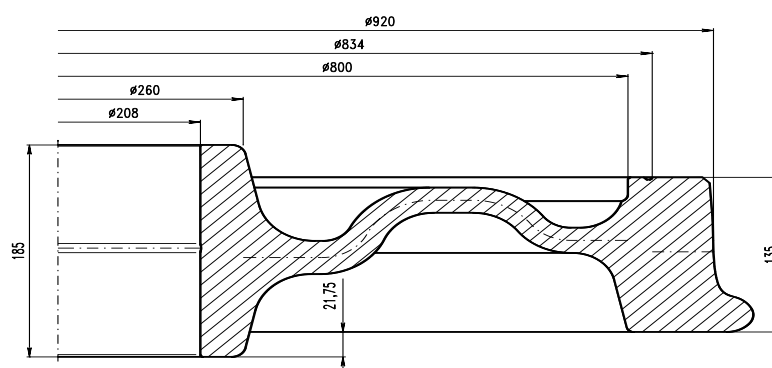
Obr. 22 Cityway Roma 2 [11]

2.3.5 Nákladní vozy

Velké nápravové zatížení může být 20 až 25 tun a maximální rychlost dosahuje $120\text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Dvojkolí je nejčastěji brzděno špalíky, které přitlačují na věnec kola. Unifikace dvojkolí, tentýž typ může být použitý pro výsypné, kryté nebo plošinové vozy. Nejčastěji používaným průměrem kol je 840 nebo 920 mm , která jsou vyrobena z materiálu ER7 (ocel na strojní součásti). Kola nákladních vozů se dělí podle četnosti použití na kolo nejpoužívanější B29, Obr. 23 a druhé nejpoužívanější BBS, Obr. 24. Odlišují se konstrukcí desky. Hmotnost kol je kolem 312 kg . [3]



Obr. 23 Řez kola B29 [3]



Obr. 24 Řez kola BBS [3]

Přehled rozměrů a hmotností železničních kol

Tab. 1 Přehled kol

Přehled železničních kol		
Stroj	Průměr	Hmotnost
-	[mm]	[kg]
Lokomotivy	1250	750
Nákladní vozy	920	312
Osobní vozy	920	294
Tramvaje	700	192

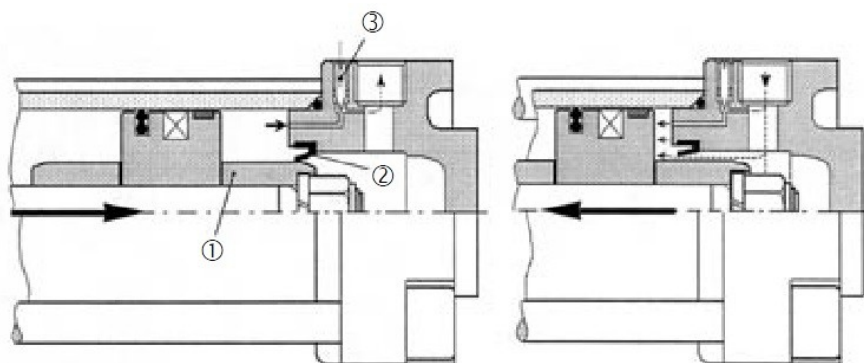
3 Možnosti pneumatického tlumení

3.1 Tlumení

Při manipulaci s předměty může docházet k vzniku rázu. Příčinou jsou setrvačné síly působící na pohybující se těleso. V určitých aplikacích je nutné tyto síly redukovat a použít tlumení. Tlumení zachycuje kinetickou a polohovou energii. V průmyslu se používá celá škála druhů tlumících prvků. Tlumiče dělíme podle tlumícího mechanismu na mechanické, kapalinové, plynové a jejich vzájemné kombinace. Mechanické tlumiče jsou založeny na principu pružné deformace. Nejčastěji používanými prvky jsou pružiny. U kapalinových tlumičů je princip funkčnosti založen na proudění kapaliny. Kapalina (nejčastěji olej) je protlačována z prostoru pod pístem do prostoru nad píst. Plynové tlumiče využívají fyzikálních vlastností stlačitelnosti plynu.

3.2 Pneumatické tlumení

Je založeno na principu stlačitelnosti plynu (vzduchu). Při dopadu tělesa na tlumící plochu dojde k pohlcení kinetické energie plynem a zároveň k vykonání práce stlačením plynu uvnitř tlumiče. Další variantou může být řízené upouštění tlaku z tlumiče. Používá se k tomu škrtkový ventil na výstupu. Vzduchové tlumení se používá také u pneumatických válců, Obr. 25. Pístnice se mohou podle tlaku vzduchu pohybovat poměrně velkou rychlostí. Aby nedocházelo k narážení pístu při vysunutí nebo zasunutí na víko, je utlumení kinetické energie realizováno vytvořením vzduchového polštáře. Ten vznikne zvýšením tlaku menšího objemu vzduchu a jeho odvodu regulovaného škrčením. [12]



Obr. 25 Princip tlumení koncových poloh [12]

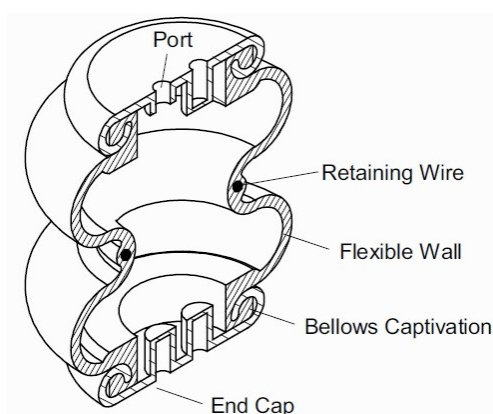
*1 - Nasunutí konce zdvihu do manžety, 2 - vytvoření komory mezi dnem a pístem,
3 - škrtení odvodu vzduchu*

3.3 Pneumatické měchy

Měchy se používají jako pohonné i jako tlumicí prvky, Obr. 26. Jako pohonný prvek slouží v případě, když je přiváděn a odvětráván stlačený vzduch. S rostoucím zdvihem se vytvářená síla snižuje (způsobeno zúžením měchu). Pokud je do měchu trvale přiveden tlak, lze jej používat jako tlumicí prvek. Jednoduchá konstrukce se skládá ze dvou kovových desek s žebrovaným měchem, Obr. 27. Měch je vyroben z pryže vyztužené tkaninou. Nejsou zde použity žádné těsnicí prvky a mechanické pohyblivé díly. Proto neexistují ztráty způsobené třením. Mají minimální nároky na údržbu, lze je snadno instalovat, dobře snáší znečištěné prostředí a je možné je použít pod vodou. Velikost zdvihu od 60 do 230 mm. Zatěžující síla od 0 do 70000 N. Při větších zdvizích musí být použity externí opěrky, které vymezi maximální prodloužení, aby nedošlo k poškození měchu. Při tlumení zatížení se můžou vychýlit nebo nachýlit. [4] [12]



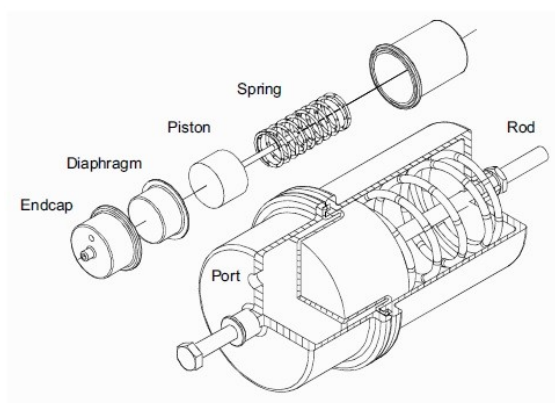
Obr. 26 Měchy EB [4]



Obr. 27 Řez pneumatickým měchem [12]

3.4 Pneumatický válec s rolovací membránou

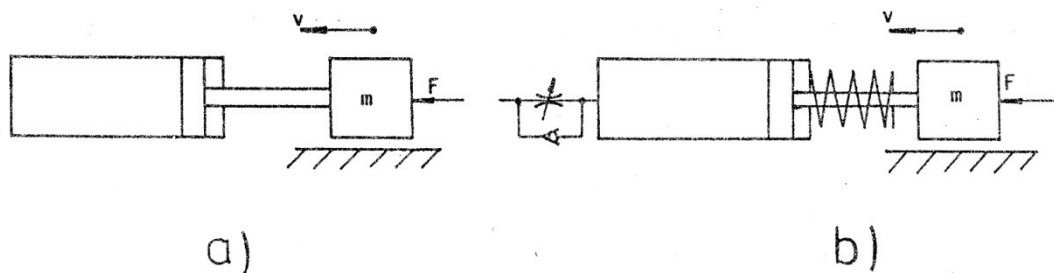
Konstrukce pneumatického válce s membránou je odlišná od klasického válce. Standardní pneumatický válec potřebuje těsnění, aby se zabránilo netěsnostem a následnému úniku vzduchu mezi komory válce. U membránového válce je prostor mezi pístem a tlakovým vzduchem oddělen membránou, Obr. 28. Membránu tvoří pružná manžeta. Ta se odvaluje po stěně válce při pohybu pístu a tvoří těsnění zabraňující přenos kontaminačních složek. Často se používají jako pohony strojů zpracovávajících potraviny. Nevyžadují mazání. Vratný pohyb se realizuje pomocí pružiny. Zdvih je obvykle menší než průměr válce. Dále je možno membrány využít jako generátory brzdných sil k brzdění nákladních automobilů. [12]



Obr. 28 Pneumatický válec s membránou [12]

3.5 Pneumatické tlumiče

Pneumatické tlumiče se používají k částečnému nebo úplnému tlumení zbytku energie akumulované pohybujícími se hmotami mechanismu v konečných fázích jeho pohybu. Jejich výhoda oproti hydraulickým a mechanickým tlumičům je především v jejich jednoduché konstrukci a snadné regulovatelnosti tlumicího účinků. Vyrábí se dvě konstrukční provedení s uzavřeným objemem vzduchu, Obr. 29a, kde vzduch při jeho kompresi a expanzi působí jako pružina. Využívá se pro tlumení malých pohybujících se hmot s častou reverzací pohybu. Druhé provedení pracuje s proměnlivým objemem, Obr. 29b, kdy při kompresi se současně část vzduchu z tlumiče vypouští regulovatelným škrcením. Zde lze měnit intenzitu tlumení. Zpětný zdvih pístu je realizován pomocí pružiny. Tyto tlumiče naleznou použití tam, kde je třeba zabezpečovat plynulejší tlumení, zejména velkých hmot. Cílem výpočtu při návrhu tlumiče je získat optimální rozměry válce tlumiče s přihlédnutím k přípustnému maximálnímu tlaku a teplotě stlačitelného vzduchu. [5]

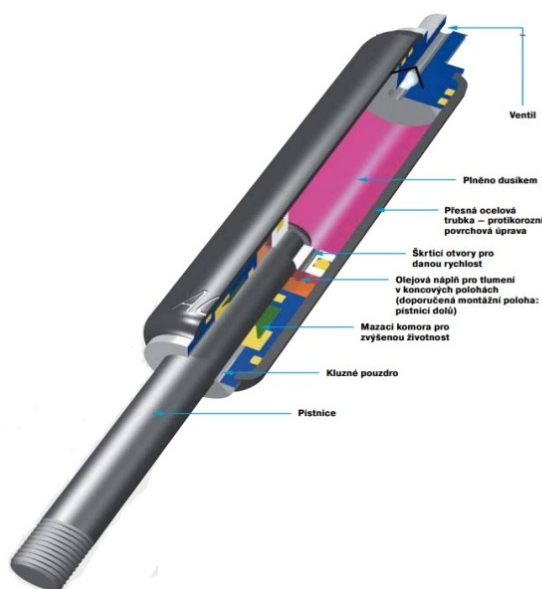


Obr. 29 Konstrukční princip tlumičů [5]

a - s uzavřeným objemem, b - s regulovatelnou intenzitou tlumení

3.6 Průmyslové plynové pružiny

Průmyslové plynové pružiny jsou bezúdržbové, Obr. 30. Průměr válce je od 8 až 70 mm a síla od 10 až do 13 000 N. Plynové pružiny firmy ACE nabízejí dlouhou životnost díky vysoce odolnému povrchu pístnice, integrovanému kluznému vedení a tukové mazací komoře. Průmyslové pružiny je možné použít v jakékoliv orientaci, avšak tlumení v koncové poloze funguje pouze při montáži pístnicí dolů. Tlačnou sílu je možné dodatečně nastavit pomocí ventilu. Široký výběr koncovek umožňuje snadnou montáž a univerzální použití. Plynové pružiny ACE usnadňují fyzickou práci a mají univerzální použití pro kontrolovaný pohyb zvedání a klesání poklopů, vík, atd. [6]



Obr. 30 Plynová pružina (tlačná) [6]

3.7 Přímočaré pneumatické válce

Přímočaré pneumatické válce obecně rozdělujeme na dvě základní skupiny, a to podle možnosti, zda nám přímočarý pneumatický válec vykonává mechanickou práci v jednom směru nebo v obou. Jednočinný pneumatický válec je schopen vykonávat mechanickou práci pouze v jednom směru pohybu pístnice. V opačném směru je pístnicí pohybováno vratnou pružinou. Dvojčinný pneumatický válec je schopný vykonávat mechanickou práci v obou směrech pohybu pístnice, Obr. 31. Umožňuje nám to možnost připojit stlačený vzduch do prostoru za píst a před píst. Další dělení dle druhu provedení např. pneumatické válce s nekruhovou pístnicí zabraňují pootočení pístnice. U pneumatického válce se zdvojenou pístnicí spočívá provedení ve více pístnicích umístěných souběžně na jedné straně pístu. Při pohybu pístu dochází současně ke společnému pohybu pístnic. Počet takto umístěných pístnic je různý, ale zpravidla bývají dvě až tři. [7]



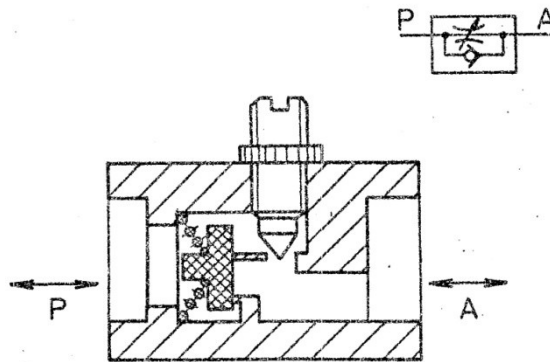
Obr. 31 Dvojčinný přímočarý pneumatický válec ISO Standart (ISO 21287) [8]

3.8 Prvky k regulaci průtoku, tlaku

Některé pneumatické tlumiče musí být pro správnou funkci opatřeny prvkem pro odpouštění vzduchu nebo regulaci tlaku ve válci tlumiče.

3.8.1 Škrticí ventily

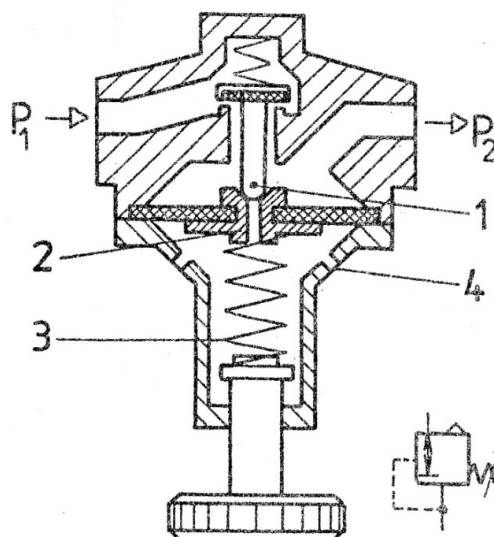
Škrticí ventily slouží k řízení pohybové frekvence prvků. Umožňují měnit otáčky pneumatického motoru nebo rychlost vysouvání přímočarého motoru. Škrčení průtoku se realizuje pomocí škrticí jehly. Podle nastavení jehly je možno měnit škrticí průřez. Nečastěji se používají škrticí ventily v kombinaci s jednosměrným ventilem, Obr. 32. Jednosměrný ventil je zapojen paralelně a umožňuje regulaci průtoku v jednom směru pro aplikaci tlumiče na výstupu. Převážně jsou ovládané manuálně nebo elektronicky. [5]



Obr. 32 Kombinovaný škrticí a jednosměrný ventil [5]

3.8.2 Tlakové ventily

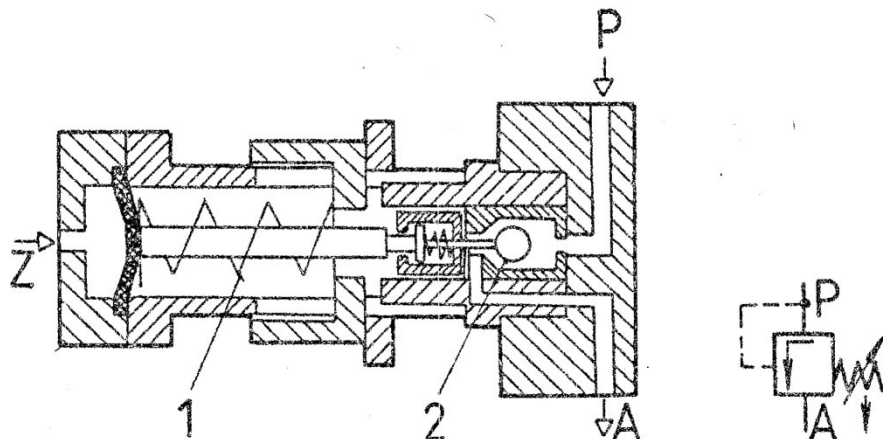
Tlakové ventily slouží k řízení tlaku nebo jsou samy řízeny v závislosti na tlaku vzduchu. Podle konstrukce je můžeme dělit na redukční ventily, pojistné ventily, ventily řízené tlakem a tlakové spínače. Redukční ventily udržují konstantní výstupní tlak za předpokladu, že vstupní tlak je větší než výstupní a nezávisle na průtoku vzduchu. Pracuje na principu vzájemného silového působení výstupního tlaku vzduchu a pružiny na membránu. Silová diference je přenášena na uzávěr sedla. Po úpravě lze redukční ventil kombinovat s pojistnou funkcí, Obr. 33. Na membráně je umístěn ventil, kdy při přesáhnutí výstupního tlaku nastaveného pružinou dojde k jeho otevření a upuštění tlaku do atmosféry. Při poklesu tlaku se ventil uzavře. [5]



Obr. 33 Redukční ventil s pojistnou funkcí [5]

p_1 - vstupní tlak, p_2 - výstupní tlak, 1 - vestavěný ventil na membráně, 2 - odvzdušňovací otvor v membráně, 3 - pružina pro nastavení síly na membránu, 4 - odvzdušňovací otvor do atmosféry.

Ventily řízené tlakem, nebo také nazývané podle jejich použití jako blokovací ventily, se mohou použít jako pojistné ventily, Obr. 34. Dojde-li k navýšení řídicího tlaku nad předpětím pružiny 1, otevře se ventil 2, a začne proudění vzduchu z kanálu P do kanálu A. Při poklesu řídicího tlaku se ventil zase uzavře. [5]



Obr. 34 Blokovací ventil s tlakovým řízením [5]

4 Možnosti řešení pneumatického tlumení

4.1 Seznámení s řešenou situací

Firma SMC řešila problém, který nastal při gravírování železničních kol. Manipulátor přemísťuje železniční kolo na obráběcí stroj. Manipulátor má určitou nepřesnost, proto nemůže kolo položit přímo na upínací stůl. Hlavním problémem bylo vymezení nepřesnosti manipulátoru. Proto bylo zapotřebí navrhnout tlumicí prvky, které vymezí nepřesnost a dále stojan pro uchycení tlumicích prvků, aby bylo možné obrábění různých druhů železničních kol.

Každý druh železničního kola má jiné rozměry, hmotnost a profil v řezu. Proto tlumiče a jejich uchycení musí být navrženy tak, aby se dokázaly přizpůsobit právě druhu gravírovaného kola. Kolo je gravírováno z obou stran. Tlumicí prvky je potřeba opatřit koncovkami, které se přizpůsobí profilu kola.

Předpoklady realizace vymezení nepřesnosti. První předpoklad: manipulátor přemístí železniční kolo nad tlumicí prvky a ve výšce 5 – 20 mm manipulátor upustí kolo. Po dopadu

na tlumicí prvky dojde k utlumení a poklesu na pevné dorazy. Druhý předpoklad: manipulátor přemístí železniční kolo nad tlumicí prvky, začne spouštění a dojde k dotyku s tlumícím prvkem. Oddělení manipulátoru od železničního kola proběhne 5 – 20 mm nad pevným dorazem. Nesmí dojít k vyzdvižení a nárazu kola do manipulátoru.

Shrnutím problému lze říct, že manipulátor manipuluje s různými druhy železničních kol různých průměrů od 700 – 1250 mm a hmotnosti od 192 – 750 kg. Přesouvá je ke gravírovací operaci. Je zapotřebí navrhnout stojan s tlumícími prvky, opatřený univerzálními opěrkami, na které manipulátor kolo položí, dojde k utlumení a položení na pevné dorazy. Následně dojde k provedení gravírovací operace. Počítám s uzamčením kola při gravírovací operaci.

4.1.1 Gravírování

Gravírování je operace za účelem vytvoření nápisu, loga nebo ornamentu do požadovaného obrobku. Při gravírování železničních kol se používá technologie odebrání materiálu. Operace se provádí na CNC frézkách. Materiál je odebrán jednobřitou frézou. Výsledkem operace je vytvoření nápisu na čelní straně kola, Obr. 35.



Obr. 35 Kolo po gravírování

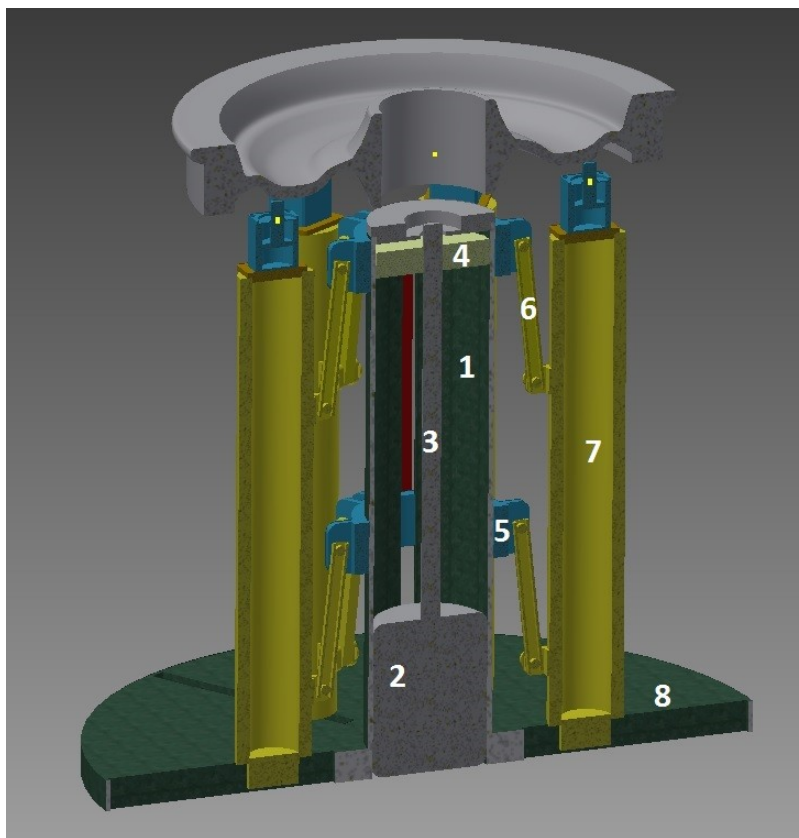
Po seznámení s danou problematikou jsem začal uvažovat nad možnostmi provedení tlumení. Po prostudování dostupných zdrojů zabývajících se problematikou tlumení jsem zjistil, že pro tlumení se používají nejčastěji pneumatické měchy, průmyslové plynové pružiny, přímočaré pneumatické válce. Pneumatické měchy nelze použít pro danou aplikaci z důvodu jejich vychýlení při zatížení axiální silou vzniklou při dopadu (mohlo by dojít ke zborcení při položení z výšky). Průmyslové plynové pružiny a přímočaré pneumatické válce použít lze. V mé práci jsem se rozhodl, že k řešení problému využiji přímočaré pneumatické válce firmy SMC. Počítám s použitím více válců z důvodu velkého rozsahu hmotnosti kol a tedy i energie potřebné k utlumení.

5 Návrh stojanu pro uchycení pneumatického válce

Jak bylo uvedeno na konci předcházející kapitoly, rozhodl jsem se, že při návrhu použiju více menších přímočarých pneumatických válců než jeden velký. Při návrhu různých variant stojanů vycházím hlavně z toho, že tlumiče v něm uchycené musí měnit svou polohu podle druhu gravírovaného kola. Vytvořil jsem tři návrhy v programu Autodesk Inventor. Ty popisují, jak si představuji mechanismus a jeho princip funkčnosti.

5.1 První návrh

První návrh možné konstrukce stojanu (držáku) pneumatických tlumících prvků jsem nazval deštníkový, Obr. 36, podle použitého mechanismu k zajištění ustavení tlumících prvků do potřebné polohy. Celá sestava a systém zvětšování a zmenšování průměru je ovládaná centrálně.

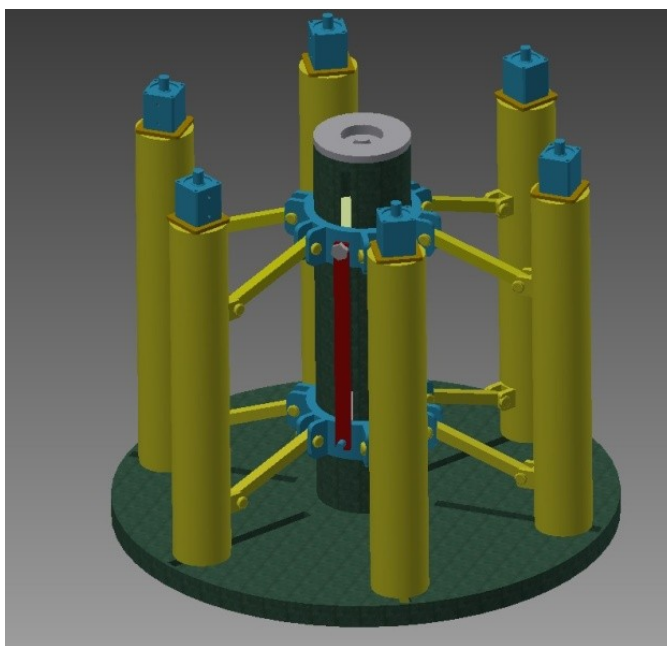


Obr. 36 Řez první verzi stojanu

*1- centrální sloupek, 2- servomotor, 3- šroub, 4- matice, 5- konzola, 6- profil (jekl),
7- pojíždějící sloupek, 8- základna.*

V centrálním sloupku 1, který je umístěn ve středu zařízení se nachází zabudovaný elektrický servomotor 2. Vývodová hřídel servomotoru je spojena se šroubem 3 opatřeným rovnoramenným lichoběžníkovým závitem. Šroub prochází maticí 4 a je ukončen uložením v ložisku na konci středového sloupku, tím se zajistí volné otáčení šroubu. Při otáčení šroubu dochází k posuvu matice nahoru a dolů. Ve středovém sloupku jsou svisle vyhloubeny dvě drážky na obvodu, jež jsou umístěny proti sobě. Drážky slouží ke spojení vnitřního mechanismu s mechanismem vnějším, tedy mimo středový sloupek. Spojení matice uvnitř sloupku s venkovní konzolou 5 pomocí šroubu zajistí, aby se matice neprotočila a přenesl se potřebný přímočarý pohyb. Venkovní konzola se posouvá po vnější straně sloupku. Je spojena pomocí ploché tyče s druhou konzolou umístěnou ve spodní části, aby se zajistilo rovnoměrné přenesení přímočarého pohybu v obou směrech.

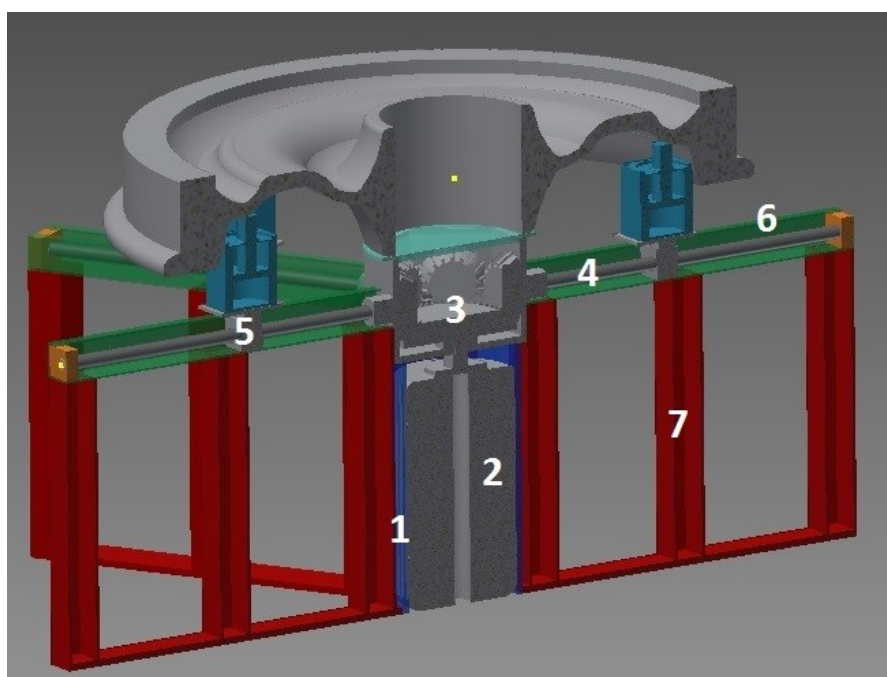
V konzolách je šest úchyťů. V každém z úchyťů je uchycen pomocí čepu profil 6. Druhá strana profilu je uchycena obdobně čepem v pojízděcím sloupku 7. Při pohybu konzol svisle dolů dojde k zapření profilu o pojízděcí sloupek, při nárůstu síly nad sílu třecí dojde k odsunutí sloupku. Při opačném pohybu konzol nahoru dochází k tažení za profily a následnému přitažení sloupku. Aby nedošlo k případnému vychýlení sloupku z jeho dráhy, je uchycen ve vodící drážce vytvořené v základně 8. Rovněž všech šest sloupků je na své spodní straně opatřeno segmentem, který do drážky zapadá. Pneumatické tlumiče uchyceny v pojízděcích sloupcích jsou tedy snadno rozstaveny dle potřeby na různé vzdálenosti od středu. Tím se zajistí snadné, přesné a rychlé přestavení poloh tlumičů. Roztažení stojanu je zobrazeno na Obr. 37. Řešení je konstrukčně jednoduché a ekonomicky výhodné.



Obr. 37 První verze stojanu roztažený

5.2 Druhý návrh

Druhá verze návrhu stojanu vychází také ze systému centrálního pohonu, Obr. 38. Pohonem je elektrický servomotor 2 umístěný ve středovém sloupeku 1. Vývod hřídele servomotoru je spojen s ozubeným kuželovým kolem usazeným v převodovce 3. Převodovku tvoří kuželové soukolí, jedno velké primární kuželové ozubené kolo a šest stejných menších ozubených kol, tedy pastorků. Pastorky mezi sebou svírají úhel šedesát stupňů. Osa kuželového kola a pastorků mezi sebou svírají úhel devadesát stupňů. Převodová skříň má šest vývodů, v každém je uchycen šroub 4 s rovnoramenným lichoběžníkovým závitem. Šroub dále prochází maticí 5 a na druhé straně je uložen v ložisku. Matice, která je našroubovaná na šroubu, je spojena s pohyblivým kamenem. Na horní straně kamene je deska s dírami.

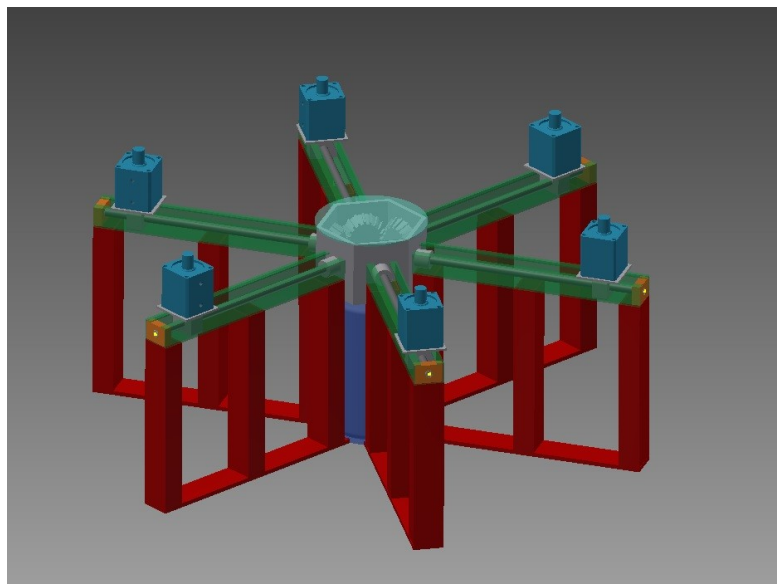


Obr. 38 Řez druhou verzí stojanu

1 - středový sloupek, 2 - servomotor, 3 - převodovka, 4 - šroub, 5 - matice spojena s pohyblivý kamenem, 6 - lišta, 7 - profily (jekly).

Tyto díry slouží pro uchycení pneumatického tlumiče. Kámen je uložen v liště 6, která mu umožňuje přímočarý pohyb v ose šroubu. K lištám jsou přivařeny ve třech místech profily 7 (jekly). Celý mechanismus přestavování polohy tlumičů na různé průměry je zajištěn tak, že při spuštění servomotoru se roztočí soukolí převodovky. Kuželové soukolí zajistí přenesení kroutícího momentu o devadesát stupňů oproti vstupu, čímž dojde k otáčení šroubu. Matice spojené s pohyblivým kamenem se vlivem otáčení šroubu začnou posouvat. Po určitém počtu otáček dojde k přestavení do krajní polohy, Obr. 39. Lišta zajišťuje správné vedení kamene.

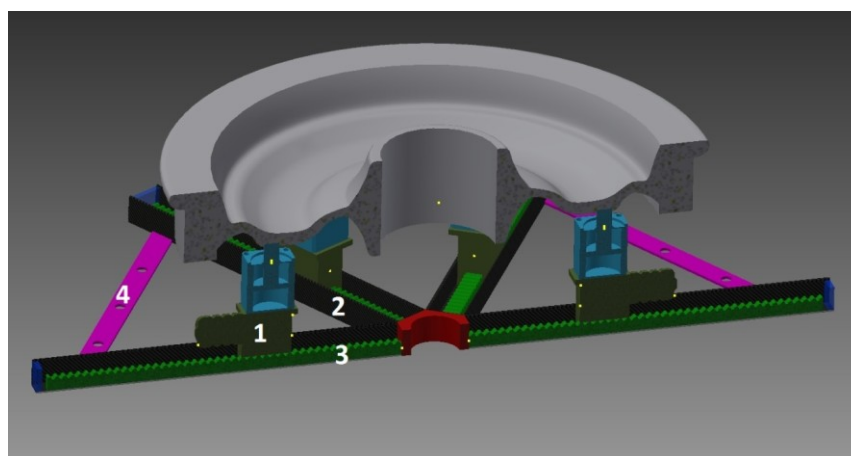
Při změně otáčení servomotoru dosáhneme opačného přímočarého pohybu. Tenhle systém mi přijde náročnější na výrobu. Důvodem je výroba ozubeného soukolí a převodovky. Konstrukce je z ekonomického hlediska náročnější (dražší), ale na druhou stranu stabilnější. Také odpadají velké hmotné pohybující se části.



Obr. 39 Druhá verze stojanu v krajní poloze

5.3 Třetí návrh

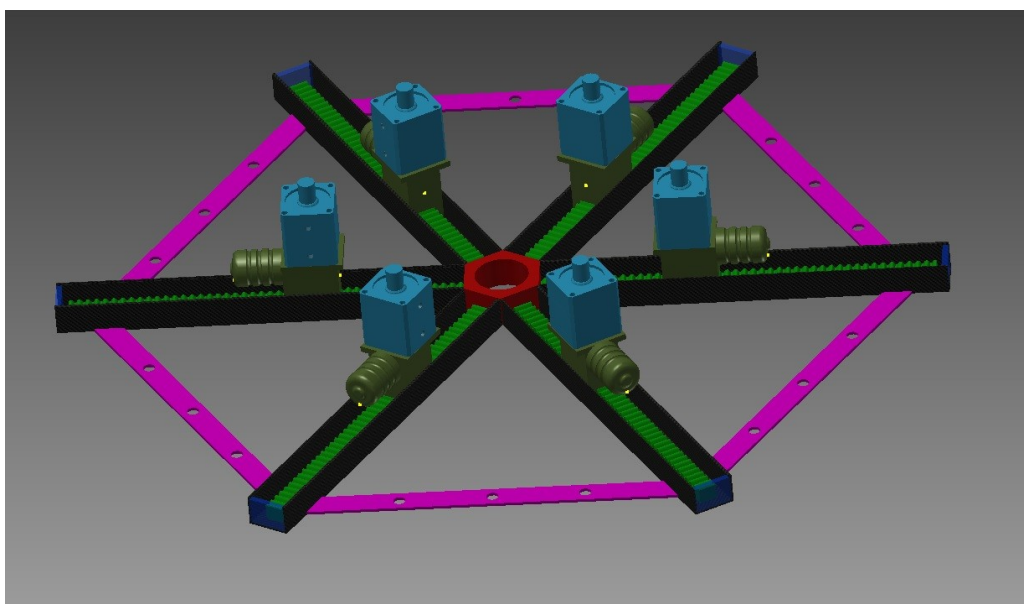
Třetí verze stojanu pro uchycení pneumatických tlumičů je uvedena na Obr. 40. Odlišná je zejména v tom, že nevychází z centrálního řízení jako ve dvou předešlých případech. Každý jeden z šesti tlumičů má svůj elektromotor s převodovkou 1 navrženou pro danou situaci. Převodovka je opatřena z horní strany deskou s dírami pro uchycení tlumiče, ze spodní strany kluzným povrchem a otvorem pro ozubenou tyč 3.



Obr. 40 Řez třetí verzi stojanu

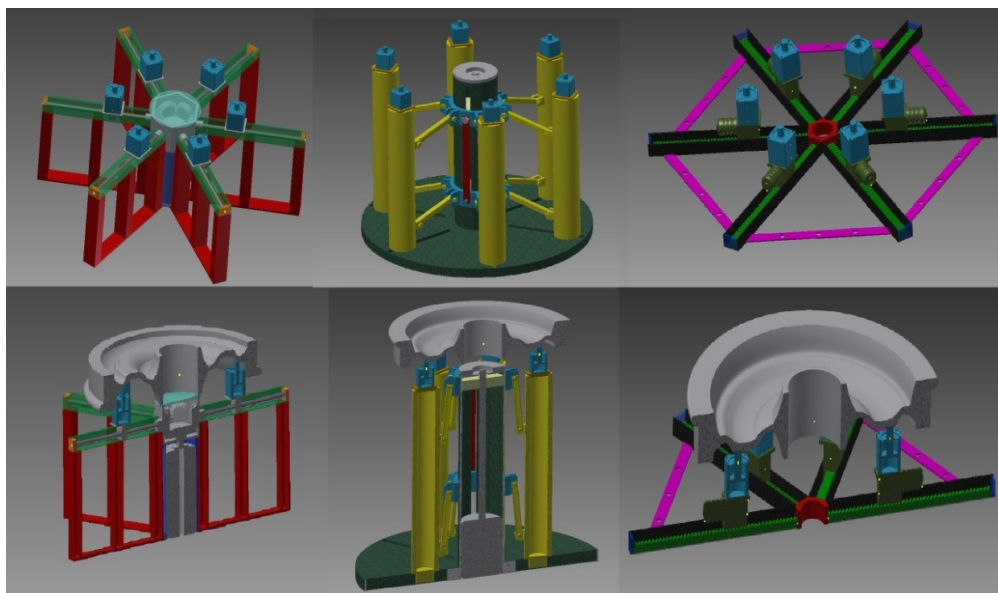
1 - elektromotor s převodovkou, 2 - lišta, 3 - ozubená tyč, 4 - profil (tyč plochá).

Celá takto sestavená převodovka je umístěná v liště 2. Lišta se skládá z U profilu 4. Uprostřed lišty je ozubená tyč, která je přes celou délku lišty. Z otvoru převodovky vystupuje ozubené kolo, které zabírá o zuby ozubené tyče. Lišty jsou navzájem propojeny profily (tyč plochá) pro zlepšení stability systému, Obr. 41. Následně při spuštění elektromotorů přeneseme pomocí převodovky potřebný kroučící moment a ozubené kolo v záběru s ozubenou tyčí vytvoří přímočarý pohyb. Aby došlo ke správnému vedení, celá převodovka se pohybuje v liště. Lišty jsou vzájemně propojeny profily pro zlepšení stability a možnosti ukotvení. Jelikož není pohyb řízen centrálně, je zapotřebí řídicí jednotky, která vždy ustaví jednotlivé tlumiče do správné polohy. Z ekonomického hlediska je tato varianta náročná na výrobu, je nutné naprogramovat polohu každého elektromotoru s převodovkou. Výhodou je stabilita, možnost umístění přímo na podlahu a ukotvení do betonu. Dalším plusem je možnost kombinace sestav tří nebo šesti tlumičů dle zatížení.



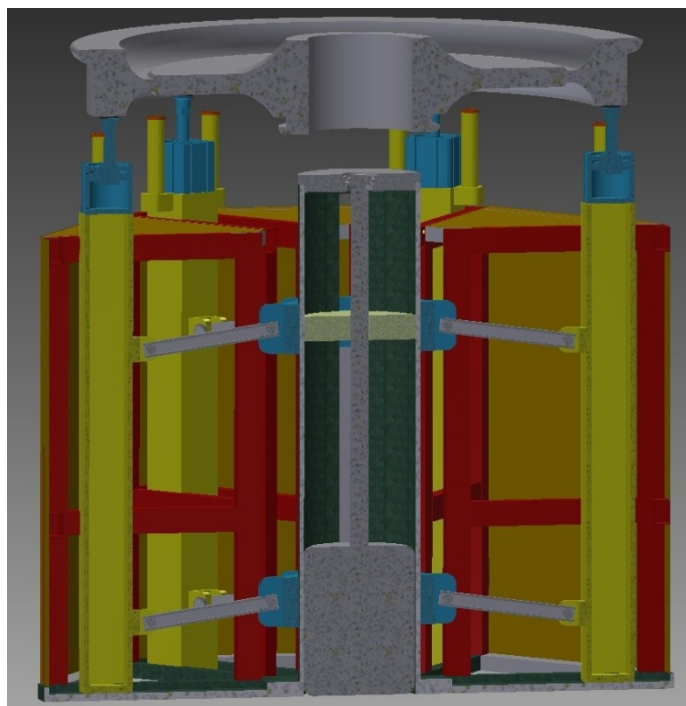
Obr. 41 Třetí verze stojanu

Při porovnání kladů a záporů verzí stojanu jsem dospěl k názoru, že nejlepší variantou bude verze stojanu jedna. Stojan s deštníkovitým ovládacím mechanismem je nejméně náročný na výrobu. Což se také promítne do ceny, která bude nejnižší, proto je i z ekonomického hlediska toto řešení přijatelné. Jednoduchost konstrukce klade menší požadavky na údržbu a náklady s ní spojené. Na Obr. 42 vidíme srovnání verzí stojanů.

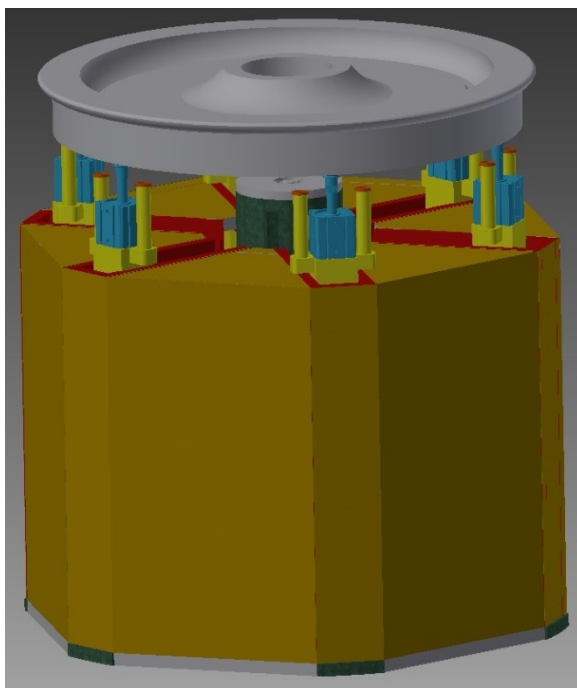


Obr. 42 Porovnání jednotlivých navržených variant

Konečnou variantu deštníkového stojanu jsem ještě doplnil prvky pro zvýšení stability, Obr. 43, Obr. 44. Tu dosáhneme úpravou kruhových sloupků na čtvercové a přidáním svařované konstrukce z jeklových profilů kolem sloupku. Konstrukce slouží k lepšímu vedení sloupku a systém je stabilnější. Sloupek je veden ve třech místech, což zabrání jeho vychýlení při přestavení a zatížení. Konstrukce je zakrytá plechem. Zakrytím pohybujících se částí mechanismu dojde k zvýšení bezpečnosti, která je vždy na prvním místě. Také se zabrání případnému zanášení třískou, jež může vznikat při gravírovací operaci.



Obr. 43 Deštníková konstrukce v řezu

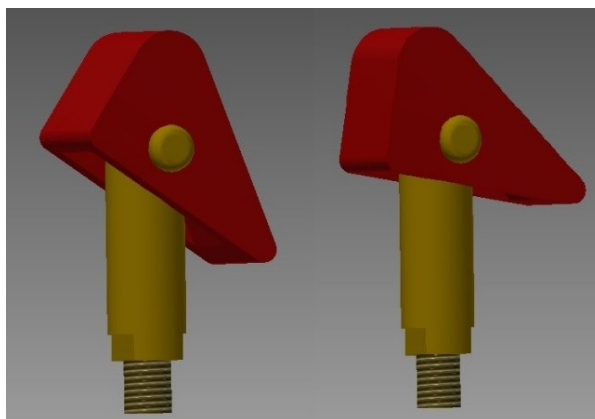


Obr. 44 Konečná konstrukce stojanu

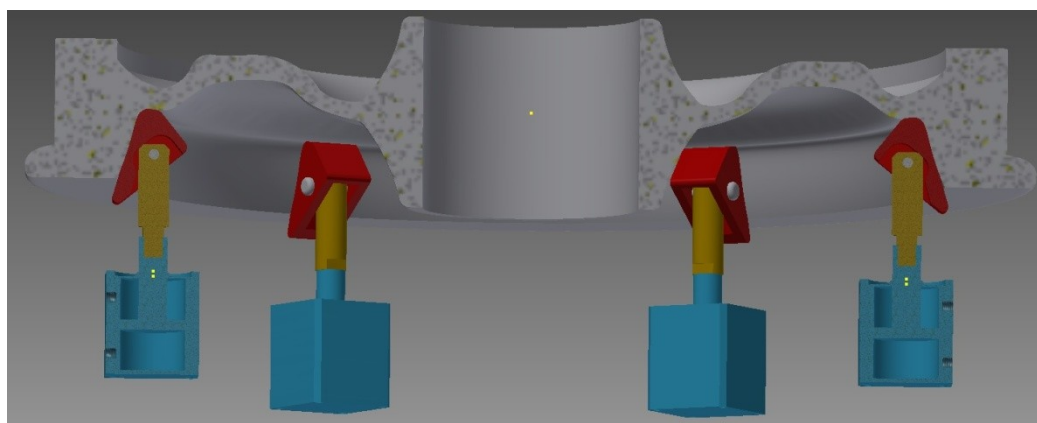
5.4 Opěrky

Další důležitou částí systému k zajištění správného přenosu energie mezi kolem a tlumičem je místo jejich vzájemného kontaktu. Z toho důvodu je zapotřebí opatřit přímočarý pneumatický válec nějakým typem koncovek (opěrek). Každé železniční kolo má v řezu jiný profil, musel jsem uvažovat s návrhem koncovek, které by se částečně přizpůsobily nerovnostem. Nerovnostmi je myšleno zakřivení ploch jednotlivých druhů kol.

Vytvořil jsem návrh, jak bych si představoval naklápěcí opěrku, Obr. 45. Opěrka se skládá ze tří částí. První částí je nástavec, který má na jedné straně závit pro uchycení do pístnice a na druhé straně otvor pro čep. Samotná opěrka je tvořena tělesem trojúhelníkového tvaru se zaoblenými hranami. Uprostřed tělesa je vyvrtaná díra, do které se nasadí nástavec. Součásti se spojí pomocí čepu, takže se opěrka může volně naklánět. Velikost naklánění je vymezená další dírou vytvořenou uvnitř opěrky. Při dopadu kola se opěrka opře o vnitřní stranu obruče, Obr. 46. Mezi obručí a deskou je vždy u každého typu kola určitý rádius. Protože se opěrka dokáže naklonit, přizpůsobí se a zajistí správné dosednutí kola na tlumiče. Šest tlumičů po obvodu se zapře do obruče z vnitřní strany, tudíž při útlumu nemůže dojít k vychýlení.



Obr. 45 Naklápěcí opěrka



Obr. 46 Zapřené opěrky tlumičů o obruč po dosednutí kola

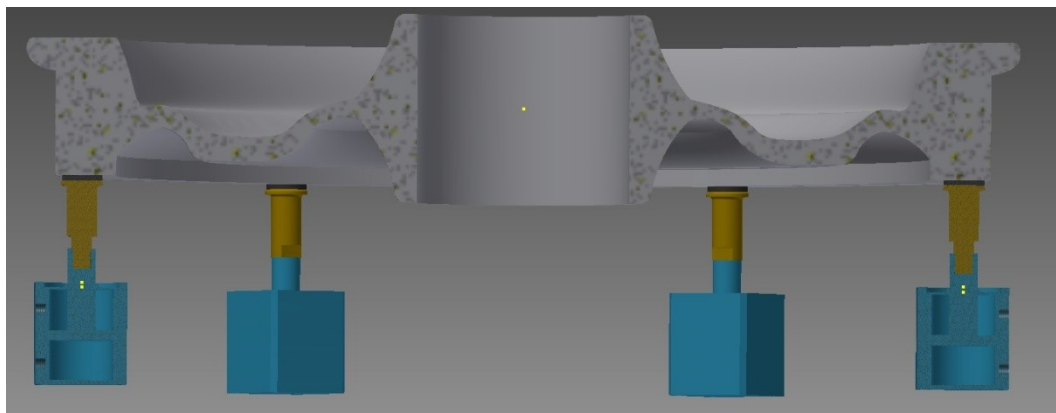
Po vizualizaci problému jsem došel k závěru, že velkou nevýhodou naklápěcích opěrek může být vznik axiálních sil. Pneumatické přímočaré válce zvládají malé zatížení v axiálním směru. Mohlo by docházet k opotřebení těsnění na jedné straně válce, až by došlo k jeho poškození.

Zamyslel jsem se tedy nad další možností, jak zhotovit opěrky, které by byly namáhány radiálně a daly se použít pro co největší okruh železničních kol. Zaměřil jsem se tedy na části kola, které jsou rovné. Přední a zadní strana náboje a obruče jsou jediné téměř rovné plochy. Rovné plochy náboje nelze použít, musela by být jiná konstrukce stojanu. Obruč kola je ideální pro opěrky. Její čelní a zadní strana je rovná.

Druhá verze opěrky se skládá z nástavce, Obr. 47, který je na jedné straně opatřen závitem pro uchycení do pístnice. Na opačné straně je nástavec rozšířen. Rozšířená část nástavce slouží k připevnění pryže. Pryž má protiskluzový povrch, který zajistí nežádoucímu posunutí při tlumení. Další výhodou je, že při dopadu kola na tlumič nebude vznikat nepříjemný zvuk kovu na kov. Na Obr. 48 vidíme vizualizaci dosednutí kola na opěrky.



Obr. 47 Pevná opěrka s pryžovou dosedací plochou

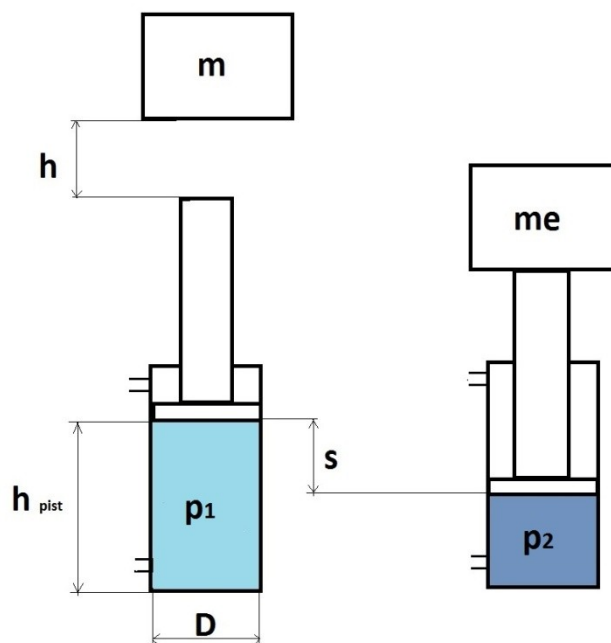


Obr. 48 Dosednutí kola na pevné opěrky s pryžovou dosedací plochou

6 Výpočet a návrh tlumícího členu

6.1 První předpoklad

Předpokládané podmínky jsou, že manipulátor pustí železniční kolo z výšky 5 – 20 mm, Obr. 49 . Po utlumení se kolo plynule spustí na pevné dorazy a proběhne gravírovací operace. Pro tlumení jsem zvážil, že použiju přímočarý pneumatický válec. Základním problémem bylo zjistit ekvivalentní hmotnost. Ekvivalentní hmotnost je hmotnost nárazová, která vznikne při volném pádu tělesa.



Obr. 49 Schéma prvního předpokladu tlumení

m - hmotnost, m_e - ekvivalentní hmotnost, h_{pist} - zdvih pístu, h - výška dopadu tělesa, s - stlačení při dopadu, p_1 - tlak před zatížením, p_2 - tlak po zatížení.

Počítal jsem s dvěma pracovními tlaky a to $p_1 = 0,4 \text{ MPa}$ před zatížením a $p_2 = 0,6 \text{ MPa}$ po zatížení. Výšku zdvihu jsem volil $h_{pist} = 50 \text{ mm}$. Při výpočtu jsem uvažoval o kolik se píst stlačí, aby došlo k navýšení tlaku z p_1 na tlak p_2 a z toho jsem dostal maximální velikost stlačení při dopadu tělesa. Dále jsem výpočtem celkové energie získal ekvivalentní dopadovou hmotnost. Na závěr jsem mohl spočítat potřebný průměr pístu přímočarého pneumatického válce.

6.1.1 Výpočet

Změna zdvihu z tlaku p_1 na tlak p_2 pro zjednodušení volím $T = \text{konstantní}$. Vyjádřením z rovnice (6.1) zjistíme stlačení x , při kterém dojde k navýšení tlaku z p_1 na tlak p_2 .

$$V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 \quad (6.1)$$

$$h \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p_1 = x \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p_2$$

$$x = \frac{p_1 \cdot h_{pist}}{p_2} = \frac{0,4 \cdot 50}{0,6} = 33,3 \text{ mm}$$

Stlačení přímočarého válce, Obr. 49.

$$s = h_{pist} - x = 50 - 33,3 = 16,7 \text{ mm} \quad (6.2)$$

Hmotnost nejtěžšího kola je 750 kg . Váha se rozloží na šest tlumičů. Hmotnost pak na každý tlumič činí $m = 125 \text{ kg}$.

Kinetická energie

$$W_1 = m \cdot h \cdot g = 125 \cdot 0,05 \cdot 9,81 = 24,525 \text{ J} \quad (6.3)$$

Energie od silového zatížení

$$W_2 = m \cdot g \cdot s = 125 \cdot 9,81 \cdot 0,0166 = 20,437 \text{ J} \quad (6.4)$$

Celková energie na zdvih

$$W_3 = W_1 + W_2 = 24,525 + 20,437 = 44,96 \text{ J} \quad (6.5)$$

Nárazová rychlost

$$v_D = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,02} = 0,626 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (6.6)$$

Ekvivalentní hmotnost [5]

$$m_e = \frac{2 \cdot W_3}{v_D^2} = \frac{2 \cdot 44,96}{0,626^2} = 229,16 \text{ kg} \quad (6.7)$$

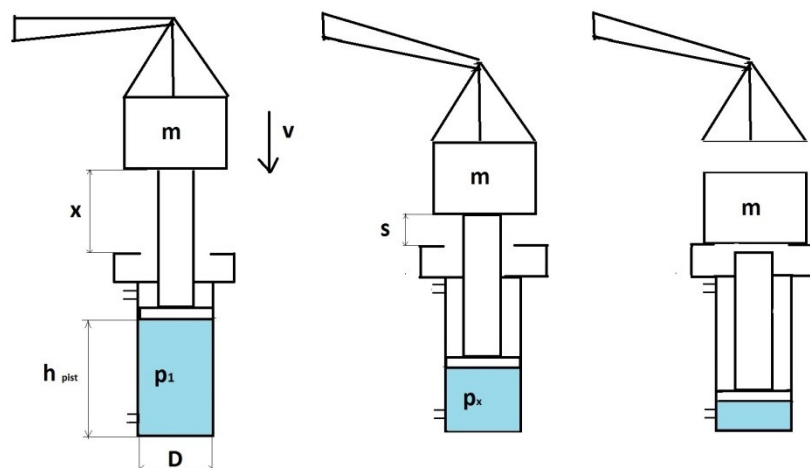
Průměr pístu

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot m_e \cdot g}{\pi \cdot p_2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 229,16 \cdot 9,81}{\pi \cdot 0,6}} = 69,07 \text{ mm} \quad (6.8)$$

Volím průměr pístu 80 mm. Z katalogu firmy SMC jsem zvolil přímočarý pneumatický válec s označením C55. Tato řada je vhodná pro tuto aplikaci, jelikož se vyrábí s velkými průměry a malými zdvihy. Z řady válců C55 jsem tedy volil přímočarý pneumatický válec s katalogovým označením C55B80-50- se zdvihem 50 mm.

6.2 Druhý předpoklad

Manipulátor přemístí železniční kolo nad stojan s pneumatickými tlumiči, Obr. 50. Začne pokládat kolo na stojan s tlumícími prvky. Jelikož manipulátor je velkých rozměrů a hmotností, tak má určitou nepřesnost (nedokáže kolo položit přímo na upínací stůl). Po kontaktu železničního kola s opěrkou tlumiče manipulátor dále klesá. K upuštění kola dojde 5 – 15 mm nad pevnými dorazy. Po oddělení kola od manipulátoru nesmí dojít k vyzdvižení kola. Kolo by mohlo narazit do manipulátoru a poškodit ho. Proto je zapotřebí navrhnout tlumící prvky, které nepřesnost vymezí. Další důležitou částí je regulace tlaku pod pístem, aby nedošlo k jeho zapružení a nárazu do manipulátoru.



Obr. 50 Schéma znázornění operace druhého předpokladu tlumení

m - hmotnost, h_{pist} - zdvih pístu, *x* - výška nad dorazem, *s* - vzdálenost nad dorazem, kdy dojde k odpojení manipulátoru, *v* - rychlost spouštění, p_1 - tlak před zatížením, p_x - potřebný tlak pod pístem, aby došlo k klesání břemene.

Pracovní tlak před zatížením pístu jsem volil $p_1 = 0,6 \text{ MPa}$. Výpočtem jsem nejdříve zjistil jaký průměr pístu je zapotřebí pro udržení zatížení v rovnováze za tlaku p_1 . Z toho vyplývá, že je zapotřebí řídit tlak na vstupu a odpouštění. K výpočtu průměru pístu jsem použil kolo lokomotivy, které je nejtěžší.

6.2.1 Výpočet

Průměr pístu

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot g}{\pi \cdot p_1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 125 \cdot 9,81}{\pi \cdot 0,6}} = 51,01 \text{ mm} \quad (6.9)$$

Volím průměr pístu 63 mm . Z katalogu firmy SMC jsem zvolil přímočarý pneumatický válec s katalogovým označením C5563B-50- se zdvihem 50 mm . Jedná se o stejný typ přímočarého pneumatického válce jako v předchozím předpokladu, jen s menším průměrem pístu, Obr. 51.



Obr. 51 Přímočarý pneumatický válec řady C55 [8]

Tab. 2 Technické údaje vybraného pneumatického válce řady C55

Funkce	Dvojčinný, jednostranná pístnice
Medium	Stlačený vzduch, filtrovaný ($5 \mu\text{m}$), nemazaný nebo přimazávaný
Max. provozní tlak	$1,0 \text{ MPa}$
Min. provozní tlak	$0,05 \text{ MPa}$
Teplota média a okolí	-10 až 60°C (vysušený vzduch)
Střední rychlost pístu	50 až $500 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$

Přepočítání tlaku pro průměr 63 mm

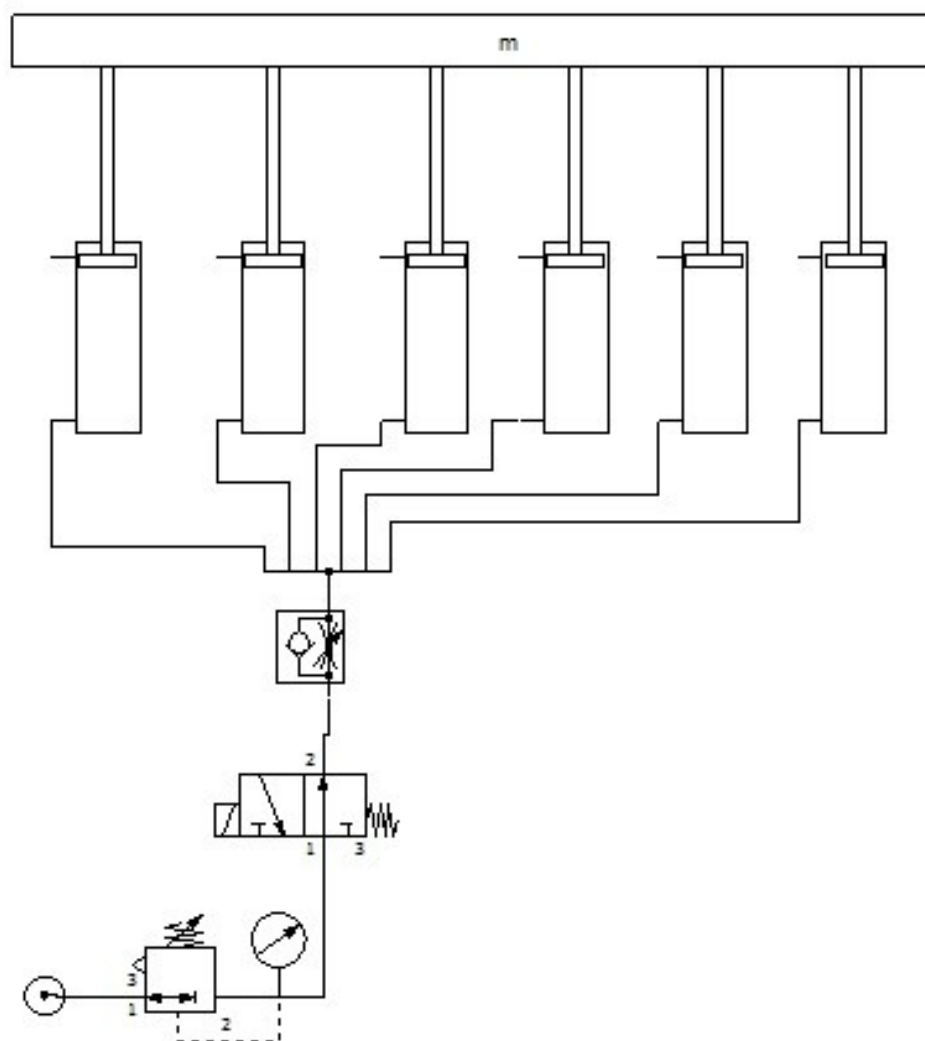
$$p_{1p} = \frac{4 \cdot m \cdot g}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 125 \cdot 9,81}{\pi \cdot 63^2} = 0,393 \text{ MPa} \quad (6.10)$$

Po přepočtení na zvolený průměr pístu jsem získal potřebný tlak p_{1p} pro zajištění rovnováhy sil, jehož hodnoty pro jednotlivé typy kol jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3 Potřebný tlak k udržení rovnováhy sil

Tlak ve válci pro zajištění rovnováhy sil		
Kolo	Hmotnost m	Tlak p_{1p}
-	[kg]	[MPa]
Lokomotivy	125	0,393
Nákladní vozy	52	0,163
Osobní vozy	49	0,154
Tramvaje	32	0,1

Pro danou aplikaci, kdy se manipulátor odpojí je potřeba regulovat tlak ve válci. Po odpojení manipulátoru dojde ke klesání kola při tlaku p_x , který musí být menší než tlak p_{1p} . Pro regulaci tlaku p_x pod pístem bych použil redukční ventil s pojistnou funkcí, Obr. 33. Pro dané kolo naplníme vzduchem pneumatický válec na požadovaný tlak. Hmotu tlačící silou stlačí vzduch uvnitř pístu. Stlačení se zmenší objem a zvýší tlak. Redukční ventil je nastaven na tlak menší než je rovnováha síly p_{1p} . Při zvýšení tlaku dojde k přepuštění přes redukční ventil s pojistnou funkcí do ovzduší. Pro upouštění tlaku je také možno použít blokovací ventil s tlakovým řízením.



Obr. 52 Schéma pneumatického obvodu

Pneumatický obvod je tvořen šesti přímočarými pneumatickými válci, Obr. 52. Výstupy z válců jsou svedeny na škrťací ventil s paralelně vestaveným jednosměrným ventilem. Škrćením na výstupu lze nastavit rychlost spouštění pístnice. Plnění válců probíhá pomocí pneumatického ventilu 3/2 normal open s elektromagnetickým ovládním. Po přestavení rozváděče do druhé polohy dojde k vypuštění tlaku z válců. Redukční ventil s pojistnou funkcí a manometrem slouží pro nastavení tlaku v potrubí.

7 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout tlumicí prvky a stojan pro jejich uchycení pro konkrétní aplikaci gravírování železničních kol. Po seznámení se s jednotlivými typy železničních kol a možnostmi provedení tlumení, jsem se začal věnovat realizaci tlumicího mechanismu. Navrhnul jsem tři konstrukční varianty řešení, z nichž jsem zvolil jako nejlepší variantu stojanu s centrálním řízením pomocí servomotoru. Stojan je tvořen svařovanou konstrukcí z jeklových profilů. Tlumicí prvky jsou uchyceny ve sloupcích, které dokážou měnit svou polohu. Přestavování na potřebný průměr je realizováno pomocí mechanismu, který jsem nazval deštníkový. Zvolený mechanismus je jednoduchý na výrobu a nenáročný na údržbu.

Vzhledem k tomu, že každý typ železničního kola má jiné rozměry a tvar v řezu, dále bylo nutné navrhnout opěrky, kterými bude tlumicí prvek opatřen. Zajistí se tak správné dosednutí železničního kola na tlumič. Vytvořil jsem dvě varianty opěrek, a to naklápěcí a pevnou. Naklápěcí je uložena otočně na čepu. Při styku s železničním kolem se opěrka přizpůsobí zakřivené ploše kola. Pevná opěrka se skládá ze stopky opatřené na konci pryží. Využívá se pro dosednutí na plochu obruče železničního kola, která je téměř rovná. Po vizualizaci jsem dospěl k názoru, že lepší variantou řešení bude pevná opěrka. U naklápěcích opěrek je riziko vzniku axiálních sil, což by mohlo vést k rychlejšímu opotřebení těsnění, až ke zničení tlumiče.

Pro realizaci tlumení jsem použil přímočarý pneumatický válec. Vzhledem k zadané situaci jsem bral v úvahu dva předpoklady, ke kterým může dojít před samotným procesem gravírování. První předpoklad vychází z toho, že manipulátor železniční kolo upustí 5 až 20 mm nad tlumicím prvkem. Po dopadu dojde k utlumení a plynulém spuštění na pevné dorazy. Při výpočtu jsem uvažoval se dvěma pracovními tlaky před zatížením 0,4 MPa a po zatížení 0,6 MPa. Výpočet byl proveden pro kolo lokomotivy o hmotnosti 750 kg. Výpočtem jsem zjistil, že je zapotřebí přímočarý pneumatický válec o průměru 69,07 mm. Zvolil jsem přímočarý pneumatický válec firmy SMC s katalogovým označením C55B80-50- o průměru pístu 80 mm a zdvihem 50 mm.

U druhého předpokladu je železniční kolo přemístěno nad tlumič. Začne spuštění kola a k oddělení od manipulátoru dojde 5 až 15 mm nad pevným dorazem. Po upuštění kolo musí klesat. Nesmí dojít k vyzdvižení a nárazu do manipulátoru. Výpočtem jsem nejprve zjistil potřebný průměr pístu. Zvolil jsem přímočarý pneumatický válec firmy SMC s katalogovým označením C5563B-50- o průměru 63 mm a zdvihem 50 mm. Dále jsem vypočítal tlak

potřebný k zajištění rovnováhy sil mezi tlumičem a kolem. V obvodu by byl připojen redukční ventil s pojistnou funkcí, na kterém se nastaví tlak menší než je rovnováha sil. Umístěním škrtícího ventilu lze ovládat rychlost spouštění kola.

Druhý předpoklad je výhodnější, jelikož lze použít pneumatický válec menšího průměru. Navíc nebude docházet k vzniku rázu, který je u první varianty způsoben volným pádem tělesa.

Poděkování

Na prvním místě chci poděkovat panu Ing. Kamilu Fojtáškoví, Ph.D. za cenné rady, čas, který mi věnoval a odborné vedení při vypracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu a zázemí při studiu.

8 Seznam použité literatury

- [1] *Techmagazín: ŽĎAS pro železniční výrobu [online]. 2013 [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/943>*
- [2] *Kola kolejových vozidel: Konstrukce kol [online]. 2010 [cit. 2015-11-20]. Dostupné z: <http://www.vagony.cz/pojezdy/kola.html>*
- [3] *Dvojkolí kolejových vozidel: 2013 [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: Presentence firma Bonatrans*
- [4] Festo: *Katalog Měchy EB [online]. 2013 [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/EB_CZ.PDF*
- [5] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanizmy DÍL 1: Pneumatické prvky a systémy. Dotisk. Ostrava: VŠB-TUO Ostrava, 1998, 265 s. ISBN 80-7078-306-0.*
- [6] Bibus: *ACE-Katalog Průmyslové tlumiče rázů [online]. 2011 [cit. 2015-12-14] Dostupné z: http://www.bibus.sk/fileadmin/editors/countries/bisro/katalo/ACE/ACE-Katalog_2011_CZ_A4_290512_low-resolution.pdf*
- [7] *Pneumatické pohony: Pneumotory s přímočarým pohybem [online]. 2010 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: http://edunet.souepl.cz/moc/pneumotory/pneumotory_1.htm*
- [8] SMC: *Products [online]. 2016 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_product_configurator.jsp?dc_product_id=133525*
- [9] *Technet.cz: Jak se vyrábí železniční kola [online]. 2008 [cit. 2016-02]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/jak-vznika-obuti-pro-nejrychlejsi-lokomotivu-sveta-fotoreportaz-1ck-/tec_reportaze.aspx?c=A080622_221359_tec_reportaze_rja*
- [10] *Brno Trams: obrázek Tatra KT8D5 [online]. 2004 [cit. 2016-03]. Dostupné z: <http://www.michaeltaylor.ca/trams/brno/brno-1721c.html>*
- [11] *Wikimedia: obrázek Tram Cityway Roma [online]. 2012 [cit. 2016-03]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3393_Tram_Cityway_Roma2_nd.jpg*

[12]BEATER, P. *Pneumatic Drives: System Design, Modeling a Control*. Berlín:
Springer, 2007. 323 pp. ISBN 978-3540-69470-0

[13]KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training- stlačený vzduch a jeho využití*. Brno:
SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.