

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

Tlumení vertikálně posuvných dveří

Damping Movement of Vertically Sliding Door

Student:

Lukáš Fuksa

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Fuksa**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Tlumení pohybu vertikálně posuvných dveří**
Damping Movement of Vertically Sliding Door
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši k problematice tlumení dojezdu přímočarých pneumatických motorů do koncové polohy.
2. Navrhněte způsob tlumení zavírání dveří obráběcího stroje o hmotnosti 12 kg, zdvih 1 m.
3. Zvolte prvky pneumatického obvodu.
4. Experimentálně ověřte navržený způsob tlumení.

Seznam doporučené odborné literatury:


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, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.
KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
MURRENHOFF, H., REINERTZ, O. *Fundamentals of fluid power: Part 2, Pneumatics*. Aachen: Shaker Verlag, 2014. 333 p. ISBN 978-3-8440-3213-0.
Katalogy a podklady výrobců pneumatických prvků.

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


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


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 dne 21. května 2018.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Fukša', is written above a horizontal dotted line.

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, 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 užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, 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 - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018.



.....
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Lukáš Fuksa

Adresa trvalého pobytu autora práce: Palkovická 523, Frýdek-Místek

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

FUKSA, L. *Tlumení vertikálně posuvných dveří: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2018, 47 s. Vedoucí práce: Dvořák, L.

Bakalářská práce se zabývá metodikou tlumení dojezdů přímočarých motorů do koncové polohy. V úvodu je popsána historie a využití stlačeného vzduchu. Dále jsou popsány druhy pneumatických motorů a konstrukce bezpístnicového motoru, který byl použit. Popsány jsou různé možnosti pro tlumení rázů. Je navržen obvod pro tlumení dojezdu pomocí zvoleného způsobu tlumení. Zvoleny jsou prvky, které jsou vhodné pro daný obvod, aby mohl fungovat. Funkce systému byla ověřena experimentem.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

FUKSA, L. *Damping Movement of Vertically Sliding Door: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulics Equipment, 2018, 47 p. Thesis head: Dvořák, L.

The bachelor thesis deals with the method of damping of linear motors into the end position. The introduction describes the history and use of compressed air. The following are the types of pneumatic motors and the design of the piston engine that has been used. Various options for shock absorption are described. A damping circuit is designed using the selected damping method. Elements that are appropriate for a given circuit are chosen to work. The system's functionality has been verified by the experiment.

OBSAH

1.	SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK	7
2.	ÚVOD.....	9
3.	CÍL PRÁCE	10
4.	PNEUMATICKÉ MOTORY	11
5.	TLUMENÍ NA KONCI ZDVIHU	15
5.1.	Tlumení pružnými prvky.....	15
5.2.	Hydraulické tlumiče.....	15
5.3.	Vnitřní (integrované) tlumení	19
5.4.	Externí pneumatické tlumení	24
6.	VÝPOČET BEZPÍSTNICOVÉHO VÁLCE	26
7.	NÁVRH OBVODU A VOLBA PRVKŮ	33
8.	EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ.....	38
9.	ZÁVĚR	44
10.	POUŽITÁ LITERATURA.....	45

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

d	Průměr válce	[mm]
E	celková energie	[N · m]
E_k	kinetická energie pohybujícího se tělesa	[N · m]
$E_{příp.}$	energie nárazu	[N · m]
E_1	kinetická energie	[N · m]
E_2	práce pohonu	[N · m]
E_ω	kinetická energie rotujícího tělesa	[N · m]
F	síla pohonu	[N]
F_b	reakční (brzdná) síla	[N]
g	tíhové zrychlení	[m · s ⁻²]
H	Rozdíl horní plochy jezdce a spodní plochy tělesa	[mm]
h	výška volného pádu	[m]
I	hmotnostní moment setrvačnosti	[kg · m ²]
M	kroučící moment	[N · m]
M_1	Statický moment	[N · m]
M_{1max}	Maximální statický moment	[N · m]
M_{1E}	Dynamický moment	[N · m]
M_{1Emax}	Maximální dynamický moment	[N · m]
m	hmota pohybujícího se tělesa	[kg]
m_e	efektivní hmotnost	[kg]
$m_{zátěž}$	pohybující se užitečná zátěž (maximální přípustná hmotnost)	[kg]
NE	Výška tělesa	[mm]
p	Pracovní tlak	[Pa]
R	poloměr ramene	[m]
S	Průřez válce	[mm]

s	zdvih tlumiče	[m]
s_e	Skutečná dráha tlumení	[m]
v	rychlost pohybujícího se tělesa v okamžiku nárazu	[m · s ⁻¹]
$v_{příp.}$	přípustná rychlost nárazu	[m · s ⁻¹]
W	vykonaná práce průmyslových tlumičů	[m ² · kg · s ⁻³]
y	Rameno gravitační síly (osa y)	[1]
α	Podíl momentů	[1]
δ	součinitel závislý na způsobu tlumení	[1]
ω	úhlová rychlost na konci rotačního pohybu	[rad · s ⁻¹]

1. ÚVOD

První zmínky o využití stlačeného vzduchu pocházejí z antiky. Příkladem může být katapult, u kterého se při ručním natahování stlačoval vzduch ve válcích. Do 17. století se sice vyskytovaly zmínky o využití stlačeného vzduchu člověkem, ale nikdy nedošlo k trvalému použití. První vědecké základy byly položeny až v průběhu zmíněného století.²

K prvnímu širšímu využití stlačeného vzduchu došlo ve zbrojním průmyslu, kde se využívaly takzvané vzduchové zbraně, které byly rovnocenné zbraním palným.

Vývojem výkonných parních strojů získalo na významu využití stlačeného vzduchu jako energie pro pohon různých strojů a zařízení. Energie parních strojů se uchovávala ve vzdušnicích a využívala se pro mobilní zařízení. V této době byly vyvinuty centrální kompresorové stanice, jež ovlivnily vývoj, kdy potrubím dlouhým několik kilometrů dodávaly stlačený vzduch k řadě malých spotřebičů.

Stlačeného vzduchu se využívá pro pohony, řízení a regulaci. V dnešní době je stále více a více používána a je neodmyslitelnou součástí řady manipulátorů a dalších mechanismů. Stlačený vzduch má mnohostranné využití. Na jedné straně se jím měří tlak kapaliny v lidském oku a na druhé straně se používá k pohonu vrtačky pro vrtání betonu. Často bývá využíván například v textilním průmyslu, u balících a dřevoobráběcích strojů a také v konstrukci.

Stlačený vzduch je ve většině podniků k dispozici a pojezdové kompresory umožňují jeho využití mimo provozovny. Není problém skladovat velký objem stlačeného vzduchu. Pneumatické prvky mají jednoduchou konstrukci a jde sestavit jednoduché řídicí obvody. Pneumatické motory a řídicí systémy odolávají prostředí provozu a atmosférickým vlivům. Pneumatické pohony se při provozu nezahřívají, a proto je možno je bez obav použít i ve výbušném prostředí. Velké zrychlení umožňuje velká rozpínavost stlačeného vzduchu a malá hmotnost pohybujících se částí pneumatických motorů.

Pro základní obvod, ve kterém se využívá stlačeného vzduchu, jsou potřeba části jako pneumatické válce, kyvné pohony, úchopné hlavice a pneumatické motory, které převádí energii stlačeného vzduchu na energii mechanickou, která se využívá pro dopravu materiálu, jeho opracování nebo třeba i k zajištění jeho polohy. Pro jejich řízení je potřeba dalších pneumatických prvků. Stlačený vzduch se posuzuje podle fyzikálních zákonů pro stlačený plyn.

2. CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je vypracovat přehled problematiky tlumení dojezdu přímočarých pneumatických motorů do koncové polohy. Mezi hlavní cíle patří:

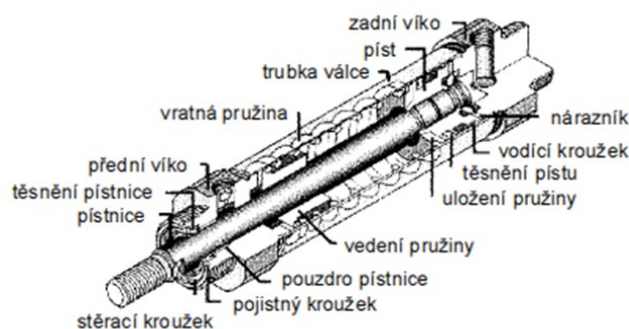
- Zobrazit možnosti tlumení
- Charakterizovat možnosti výpočtu pro tlumení
- Návrh bezpístnicového pneumatického motoru pro danou aplikaci
- Návrh pneumatického obvodu s ohledem na bezpečnost – zabránění pádu a zavření pokud obsluha zasahuje do stroje
- Experiment ověřující tlumení

3. PNEUMATICKÉ MOTORY

Pneumatické motory mohou vytvářet lineární pohyb (přímočarý vratný), rotační pohyb vratný – kyvný nebo rotační pohyb. Pomocí pneumatických válců realizujeme lineární pohyb, zatímco pomocí pohonů s ozubeným pastorkem a hřebenem nebo pomocí křídlových pohonů dostáváme pohyb kyvný. Rotační pohyb vytváříme pomocí různých pneumatických motorů (pístové motory, motory s rotorem výsuvnými lopatkami, turbíny).

Válce přeměňují pneumatickou energii na mechanickou práci. Jejich částí je obvykle pohyblivý prvek, jako je píst a pístnice, nebo plunžr, který pracuje uvnitř válcového otvoru. Pneumatické válce dělíme na pístnicové a bezpístnicové, jenž mají jezdce pohybujícího se podél trubky válce. Válce jsou často obousměrné, to znamená, že stlačený vzduch může pracovat na obou stranách pístu pro vysunutí nebo zasunutí a většinou mají pístnici s jednou koncovou částí. Dále jsou pneumatické lineární pohony rozděleny na jednočinné, které mají přívod stlačeného vzduchu pouze na jedné straně a dvojčinné válce, které mají přívod stlačeného vzduchu na obou stranách.

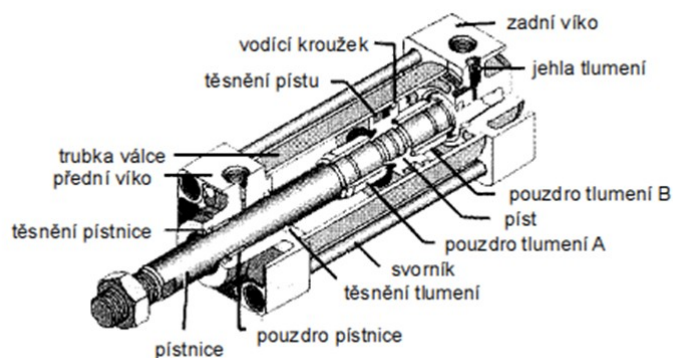
Na jednočinné válce působí síla vyvinutá tlakem vzduchu na plochu pístu pouze v jednom směru. Může tedy být využita buď jako síla tažná, nebo jako síla tlačná. Přerušením přívodu stlačeného vzduchu do válce se pístnice vrací do výchozí polohy silou pružiny nebo externí silou. Jednočinné válce mohou být ve dvou provedeních – s pístnicí v klidové poloze zasunutou a s pístnicí v klidové poloze vysunutou.



Obrázek 1 - Jednočinný pneumatický válec ²

U dvojčinných pneumatických motorů působí síla vyvinutá tlakem vzduchu na plochu pístu podle přívodu vzduchu střídavě v obou směrech pohybu pístu. Používají se tam, kde má mechanismus i při zpětném pohybu vykonávat práci. Dvojčinné pneumatické válce

vyvíjí menší sílu při zasouvání pístnice než při jejím vysouvání, protože účinná plocha pístu je menší o plochu danou průměrem pístnice.



Obrázek 2 – Dvojčinný pneumatický válec ²

Pneumatické válce mají mnoho možností provedení. Válce s průchozí pístnicí mají pístnici uloženou ve dvou ložiskách, tudíž není citlivá na radiální zatížení. Volný konec této pístnice lze využít na připevnění narážky pro aktivaci koncových poloh. Při nedostatku místa pro upevnění standardního válce můžeme použít například tandemový válec, který je tvořen ze dvou dvojčinných válců, u kterých mají písty jednu společnou pístnici.

Standardní pneumatické válce mají pouze dvě možné polohy pístnice v klidovém stavu, tedy s pístnicí vysunutou a s pístnicí zasunutou. Existují ale i vícepolohové pneumatické válce, jenž mají kombinaci dvou pneumatických válců. Mají 2 základní provedení a to tří a čtyř polohové.

Zvláštní konstrukcí jsou bezpístnicové válce, využívající se tam, kde jsou vyžadovány dlouhé zdvihy v omezeném prostoru, protože válec s pístnicí může zabírat skoro dvojnásobný prostor. Bezpístnicové válce mohou být například s magnetickým přenosem síly, kde silné magnety přenášejí na support síly vyvinuté tlakem vzduchu na plochu pístu a přenos pohybu pístu. Tato přenášená síla má stejnou velikost jako síla standardního pneumatického válce. U pneumatických válců s magnetickým přenosem síly s externím vedením je možné spojit poháněný mechanismus s jezdcem, ale musí se vzít ohled na zastavení jezdce v koncových polohách a na momenty. Bezpístnicové válce s mechanickým přenosem síly s integrovaným vedením mají polohu pístu při pohybu zaručenou vedením v drážce profilu tělesa válce. Tyto válce mají složitou konstrukci těsnění a nezaručují se absolutní těsností, proto je nelze použít do velmi čistých prostředí.

Některé pneumatické válce jsou kombinované (suporty). Toto provedení se používá především pro konstrukci montážních robotů a manipulátorů. Obsahují oboustranné pístnice, které slouží jako vodící prvky, se dvěma písty umožňující velmi kompaktní konstrukci s malými nároky na prostor.

Rychlost pístu – pístnice je ovlivněna:

- Přebytkem síly pro zrychlení (koeficient zatížení pístnice)
- Tlakem vzduchu
- Rozdílem tlaku ve válci za pístem a před pístem ve směru jeho pohybu. Jeho velikost závisí především na rychlosti, jakou je objem vzduchu před pístem z válce vypuštěn.

Čím má koeficient zatížení pístnice nižší hodnotu, tím lépe lze regulovat rychlost pohybu pístnice. Pro regulaci pístu se používají většinou škrticí ventily s vestavěným zpětným ventilem. U pneumatických válců rozlišujeme mezi škrcením vzduchu na přívodu do válce a škrcením vzduchu na výstupu z válce.

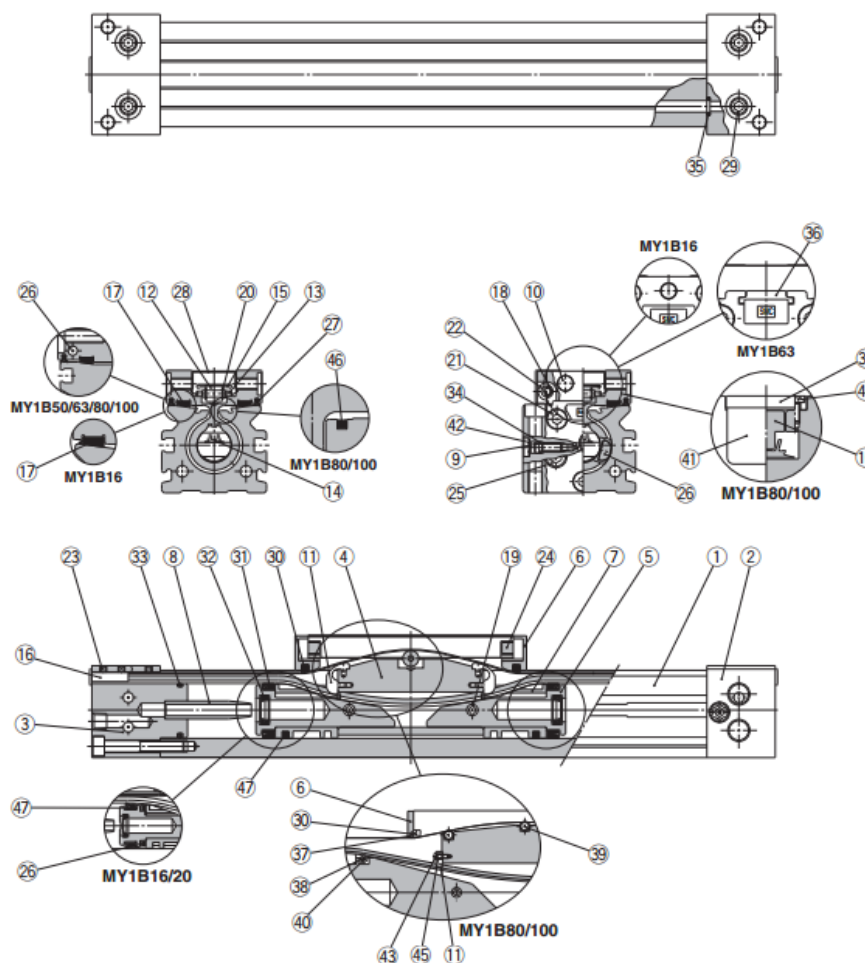
Použití rychloodvzdušňovacího ventilu:

Velká rychlost pístu není závislá pouze na tlaku za pístem, ale také na rychlém snížení tlaku před pístem, tedy na rychlém odvedení vzduchu z prostoru před pístem do atmosféry. K tomu účelu byl vyvinut tzv. rychloodvzdušňovací ventil.

Konstrukce bezpístnicových motorů:

Hlavní součástí je trubka válce, která je z oceli nebo hliníku. Dále přední a zadní víko, nejčastěji z hliníku nebo odlitek z temperované litiny, které jsou na trubku válce našroubováno nebo jsou víka spojena průběžnými šrouby. Píst i jeho těsnění bývá buď odlitek, nebo výkovek z hliníku. Nejčastějším provedením bezpístnicových motorů je s přímým přenosem pohybu pístu na unášecí prvek ocelovým pásem. Toto provedení je vybaveno řízenou pneumatickou brzdou, která je ovládaná z přívodu stlačeného vzduchu a umožňuje zastavení v libovolné poloze mezi úvratěmi. Dalším provedením je bezpístnicový pneumomotor s nosnou přírubou. Přenáší pohyb pístu na unášecí prvek bezprostředním spojením pomocí příruby. Oba typy motorů bývají s konstrukční možností bez tlumení v koncových polohách pístu nebo s tlumením. Problémem bezpístnicových motorů bývá utěsnění pístu a převáděcího prvku. Na tento problém mívají různé firmy různá řešení. K převáděcímu prvku je možno připevnit příruby a jejich vedení, díky kterým

je možno, hlavně při velkých zdvizech, dosáhnout i trojkového nebo momentového namáhání.



Obrázek 3 - Řez bezpístnicovým motorem⁵

https://content2.smcetech.com/pdf/MY1_EU.pdf

Popis:

1 – trubka válce, 2 – přední víko, 3 – zadní víko, 4 – těsnění pístu, 5 – píst, 6 – koncový kryt, 7 – nosný kroužek, 8 – tlumicí kroužek, 9 – tlumicí jehla, 10 – uzávěr, 11 – dělicí pás, 12 – vodící válec, 13 – vodící válcová hřídel, 14 – těsnicí pás, 15 – páska proti prachu, 16 – upínací pás, 17 – ložisko, 18 – podložka, 19 – pružinový kolík, 20 – přídržný kroužek typu E, 21,22,23 – šroub s šestihrannou hlavou, 24 – dvojitý kulatý paralelní klíč, 25,29 – šroub s kuželovou hlavou, 26 – magnet, 27 – boční škrabka, 28 – víko krytu, 30 – škrabka, 31 – těsnění pístu, 32 – těsnění tlumení, 33 – Trubkové těsnění, 34,35 – o-kroužek, 36 – čelní deska, 37 – zadní deska, 38 – vodící válec B, 39 – vodící válec A, 40 – vodící válečková hřídel B, 41 – boční kryt, 42 – pojistný kroužek CR, 43, 44 – šroub s šestihrannou hlavou, 45 – podložka, 46 – těsnění magnetu, 47 – zásobník pro mazání

4. TLUMENÍ NA KONCI ZDVIHU

Pneumatické válce jsou velmi vhodné pro rychlé zrychlení hmot na vysokou rychlost. Aby nedošlo k poškození zátěže a stroje, musí být na konci zdvihu válce tato hmota zpomalena. Tímto je také zabráněno nadměrnému hluku.

4.1. Tlumení pružnými prvky

Malé lehké provozní válce mají malou hmotnost a zatížení, proto jsou konstruovány bez tlumení, případně je možno použít tlumení pružnými prvky.

Pro absorpci kinetické energie se používají pružiny a nárazníky z pružných materiálů (guma, plasty apod.). Pryžové a pryžokovové dorazy (silentbloky) jsou tlumící prvky, jenž se používají u opakujících se pohybů s koncovým dorazem. Často se používá pro doraz dveří a zároveň je zvukově izolující. Při opačném pohybu je kinetická energie opět předána tělesu.



Obrázek 4 - Pryžový silentblok ¹⁵

https://www.kipp.cz/xs_db/BILD_DB/2/www/750/26110-Gummipuffer-parabelfoermig-Rubber-impact-buffer-parabolic.jpg

4.2. Hydraulické tlumiče

Mají možnost připevnění závitů s fixní hloubkou závitového spoje, v průběžném závitě, v průběžných přírubách a tak dále. Pro tlumení větších hmot využíváme tlumiče rázů nastavitelné. Používají se tam, kde je potřeba velké množství stejných tlumičů, které mají stejný zdvih. Na tělese tlumiče je regulační šroub, pomocí něhož se reguluje nastavení tlumení efektivní hmotnosti.



Obrázek 5-Tlumič rázů – pevně nastavený ¹⁴

<http://www.fluidtechnik.eu/tlumice-razu/tlumice-razu-pevne-nastavene/clanky-355-jpg.jpg>



Obrázek 6 - Tlumič rázů – nastavitelný ¹⁴

<http://www.fluidtechnik.eu/tlumice-razu/tlumice-razu-nastavitelne/clanky-356-jpg.jpg>

Externí tlumení používáme v případě, že interní tlumení není možné použít. Externí tlumení je celkově složitější na konstrukci a doraz musí působit v těžišti břemene, jinak může docházet k nežádoucím momentům. U vnějšího pevného dorazu je možno použít menšího pohonu než u vnitřního, ale u tohoto řešení může docházet k rozkmitání konstrukce. U vnějšího dorazu s hydraulickým tlumičem je možno tyto vibrace omezit. Stejně jako vnitřní tlumení s hydraulickým tlumičem je omezeno maximálním počtem pracovních cyklů podle množství energie. Níže jsou uvedeny vztahy pro výpočet tlumiče.

Kinetická energie tělesa s přímočarým pohybem:

Pokud má těleso posuvný pohyb, pohybují se všechny jeho body stejnou rychlostí a celková kinetická energie je tedy součet kinetických energií všech bodů tělesa.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

E_k - kinetická energie pohybujícího se tělesa (Nm)

m - hmota pohybujícího se tělesa (kg)

v - rychlost pohybujícího se tělesa v okamžiku nárazu ($m \cdot s^{-1}$)

Kinetická energie rotujícího tělesa:

U otáčivého pohybu těleso rotuje kolem nehybné osy a jeho body se pohybují po kružnicích se středem na této ose otáčení. Všechny tyto body mají stejnou úhlovou rychlost.

$$E_{\omega} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

E_k - kinetická energie rotujícího tělesa (Nm)

I - hmotnostní moment setrvačnosti ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

ω - úhlová rychlost na konci rotačního pohybu ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)

Reakční (brzdná) síla:

Brzdná síla je taková, která tlumí rychlost pohybu až do zastavení tělesa.

$$F_b = \frac{2 \cdot E}{s_e}$$

F_b - reakční (brzdná) síla (N)

E - celková energie (Nm)

s_e - Skutečná dráha tlumení (m)

Vykonaná práce průmyslových tlumičů:

$$W = F_b \cdot s_e$$

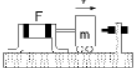
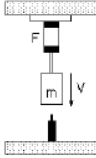
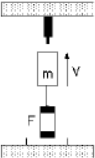
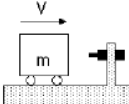
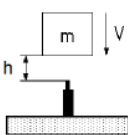
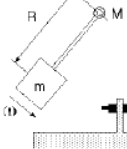
W - vykonaná práce průmyslových tlumičů

F_b - reakční (brzdná síla) (N)

s_e - Skutečná dráha tlumení (m)

Výpočet tlumiče podle způsobu zatížení:

V následující tabulce jsou vzorce pro výpočet tlumičů podle šesti způsobů jeho zatížení. Podle těchto vzorců můžeme spočítat rychlost, kinetickou energii, práci pohonu, celkovou energii a efektivní hmotnost.

způsob zatížení	válec s břemenem	válec s břemenem dolů	válec s břemenem nahoru	náraz vodorovně	náraz svisle – volný pád	hmota na rameni s pohonem
						
vzorce pro výpočet	v	v	v	v	$\sqrt{2gh}$	$= \omega$
E_1	$\frac{m \times v^2}{2}$	$\frac{m \times v^2}{2}$	$\frac{m \times v^2}{2}$	$\frac{m \times v^2}{2}$	$m \times g \times h$	$\frac{I\omega^2}{2}$
E_2	$F \times s$	$F \times s + m \times g \times s$	$F \times s - m \times g \times s$	–	$m \times g \times s$	$\frac{M}{R} \times s$
E	$E_1 + E_2$	$E_1 + E_2$	$E_1 + E_2$	E_1	$E_1 + E_2$	$E_1 + E_2$
m_e	$\frac{2E}{v^2}$	$\frac{2E}{v^2}$	$\frac{2E}{v^2}$	m	$\frac{2E}{v^2}$	$\frac{2E}{v^2}$

Obrázek 7 - Přehled vzorců pro výpočet tlumiče ²

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

g – tíhové zrychlení ($9,81 m \cdot s^{-2}$)

h – výška volného pádu (m)

ω – úhlová rychlost ($rad \cdot s^{-1}$)

R – poloměr ramene (m)

m – hmotnost (kg)

I – moment setrvačnosti ($kg \cdot m^2$)

F – síla pohonu (N)

s – zdvih tlumiče (m)

M – krouticí moment (Nm)

E – celková energie (Nm)

E_1 – kinetická energie (Nm)

E_2 – práce pohonu (Nm)

m_e – efektivní hmotnost (kg)

Přípustná rychlost nárazu:

Přípustná rychlost nárazu ukazuje rychlost nárazu, při které může těleso narazit, aby se konstrukce zařízení nepoškodila.

$$v_{příp.} = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{příp.}}{m_{vlastní} + m_{zátěž}}}$$

$v_{příp.}$ - přípustná rychlost nárazu

$E_{příp.}$ - maximální energie nárazu ($m \cdot s^{-1}$)

$m_{vlastní}$ - pohybující se hmotnost (pohon) (kg)

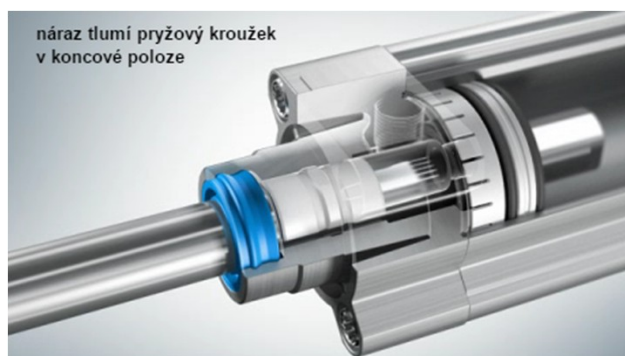
$m_{zátěž}$ - pohybující se užitečná zátěž (maximální přípustná hmotnost) (kg)

4.3. Vnitřní (integrované) tlumení

U některých aplikací jsou vhodné válce s integrovaným tlumením, které mohou být neregulační (pryžový prvek), nebo nastavitelné, které je tvořeno pneumatickým tlumícím systémem. Tento systém může pracovat jen, pokud zátěž a rychlost během poslední části zdvihu zůstane stejná, protože jejich změna způsobí rozladění systému. Úprava vyžaduje důkladné pochopení dynamických efektů a vyžaduje vhodné měřicí zařízení, například snímač zrychlení. Existuje několik typů tlumení, ale princip fungování je stejný.

Válce s pružnými tlumícími kroužky P

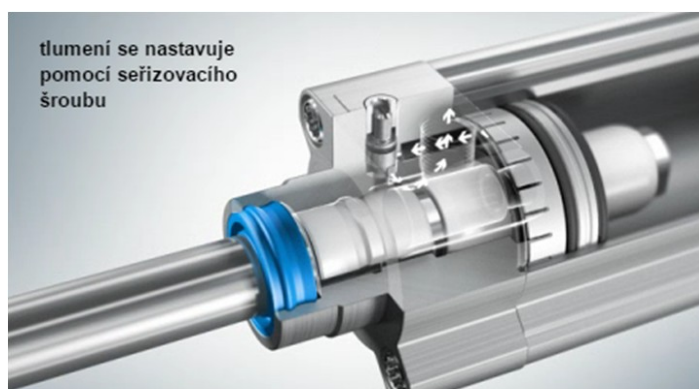
Snižují hluk a zajistí výkonné pružné dorazy. Náraz tlumí pryžový kroužek v koncové poloze. Nevýhodou však je, že utlumí pouze poměrně nízkou energii a tlumení není nastavitelné. energii pohlcují pružné tlumící kroužky integrované v pístu. Tato varianta se používá při malém zatížení, pomalé rychlosti a malé energii nárazu.



Obrázek 8 - Válec s pružným tlumícím kroužkem P⁴
https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/Flash/280951/215330/cs/index.htm

Válec s nastavitelným tlumením PPV

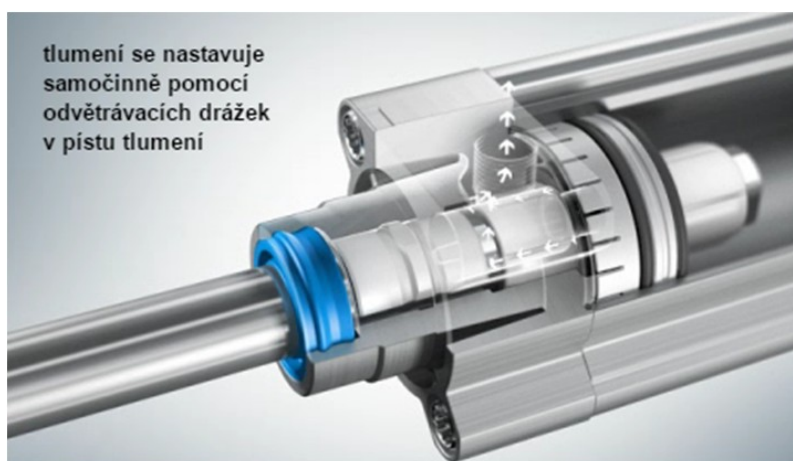
Pomocí cíleného omezení odvětrávání vzduchu je pohlcována energie nárazu v koncových polohách. Válec obsahuje speciální tlumící písty formou prodloužení hlavního pístu. Vytvoří se vzduchový polštář v konci zdvihu před dosažením dorazu. V tomto případě je součástí válce seřizovací šroub, pomocí něhož nastavujeme tlumení. Pomocí tohoto tlumení snižujeme hluk a můžeme pohltit velké množství energie. Je možno nastavit tlumení v obou koncových polohách. Se změnou zatížení a rychlosti je vyžadováno nové ruční nastavení tlumení. Používá se pro střední až vysoké zatížení, vysoké rychlosti a velkém nárazu energie. Pokud je tlumení špatně nastaveno nebo je neseřízeno v koncové poloze, dochází k výkyvům tlaku a nerovnoměrnému dojezdu do koncové polohy. Při správném nastavení tlumení dochází k rychlému náběhu tlaku, jenž zajišťuje neproporcionální zpomalení pohybu pístu.



Obrázek 9 - Válec s nastavitelným tlumením PPV⁴
https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/Flash/280951/215330/cs/index.htm

Válec se samočinně nastavitelným tlumením PPS

U tohoto válce se tlumení nastavuje samočinně pomocí odvětrávacích drážek v pístu tlumení. Tyto drážky odvětrávají vzduch nezávisle na délce tlumení. Není zde potřeba ručního nastavení a automaticky se přizpůsobuje změnám zátěže a rychlosti. Snižuje hluk a ve srovnání s válci s pružnými tlumícími kroužky P pohlcuje více energie. Tento válec není možno použít, pokud pracuje na hranici svých možností – velké zatížení, velmi vysoká nebo nízká rychlost. Díky tvaru drážek je určen průběh tlumícího polštáře, který vzniká na konci zdvihu. Díky tomu není nutný seřizovací šroub. Má poměrně plynulý dojezd do koncové polohy. Používá se na malé až střední zátěže, nízké až střední rychlosti a na střední energii nárazu.



Obrázek 10 - Válec se samočinně nastavitelným tlumením PPS ⁴
https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/Flash/280951/215330/cs/index.htm

Kontrola vnitřního tlumení

Kinetickou energii je potřeba tlumit z důvodu nebezpečí poškození mechanismu při nárazu na pevný doraz. Platí tedy všeobecné pravidlo, které říká, že je nutno použít externí dorazy s tlumiči energie vždy, dosáhne-li rychlost na konci zdvihu $500 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ a vyšší. Zjistit jakou kinetickou energii je daný pneumatický pohon schopen absorbovat je možno z příslušných katalogů či dotazem u firmy. Hodnota přípustné kinetické energie se porovná s kinetickou energií systému na konci zdvihu. Tu zjistíme podle vzorce

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

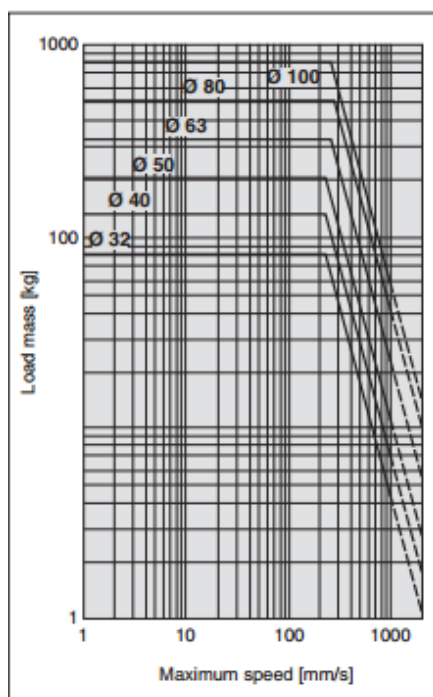
Jaká je přípustná kinetická energie pro různé průměry pístu, se zjišťuje z příslušných katalogů z tabulek, kde je přímo napsána energie nárazu pro daný píst, nebo z grafu, kde si najdeme daný průměr pístu a k němu přípustnou energii.

Síly [N] a energie nárazu [J]							
Ø pístu	32	40	50	63	80	100	125
teoretická síla při 6 barech, pohyb vpřed	483	754	1178	1870	3016	4712	7363
teoretická síla při 6 barech, pohyb vzad	415	633	990	1682	2721	4418	6881
max. energie nárazu v koncových polohách							
DSBC-...	0,4 ¹⁾	0,7	1,0	1,3	1,8	2,5	3,3
DSBC-...-L/-U/-T1/-T3/-T4	0,2 ¹⁾	0,35	0,5	0,65	0,9	1,25	1,65
DSBC-...-L1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,9	1,25	1,65

Obrázek 11 - Tabulka pro zjištění přípustné kinetické energie ⁴

https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DSBC_CZ.PDF

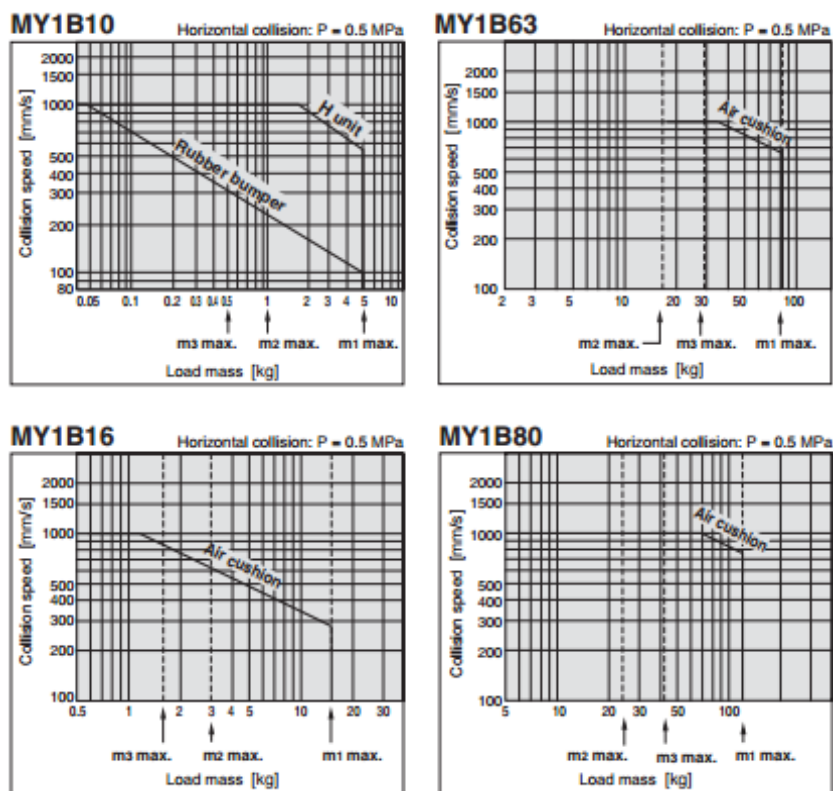
Vnitřní tlumení se tedy kontroluje výpočtem nebo graficky ze závislosti rychlosti na zatížení. Interní tlumení je schopno zatížení zvládnout tehdy, pokud se pohybujeme pod čarou příslušného průměru pístu. Pokud se však pohybujeme nad touto křivkou, vnitřní tlumení nedokáže absorbovat kinetickou energii a je nutno provést další opatření – snížit zatížení se zachováním rychlosti nebo naopak snížit rychlost a zachovat zatížení, zvětšit průměr pístu nebo hydraulické tlumiče rázů jako externí tlumení. Každá firma má svou vlastní možnost pro zjištění kinetické energie. Jednou z možností je například předešlá tabulka a další možností je například následující graf.



Obrázek 12 - Graf přípustné energie ⁵

https://content2.smcetech.com/pdf/CP96-C-B_EU.pdf

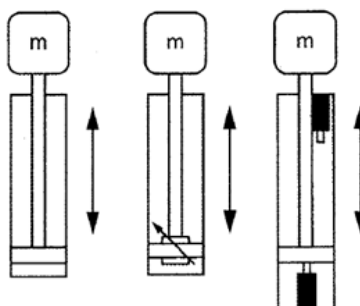
Některé pneumatické pohony jsou dodávány ve variantách se vzduchovým tlumením nebo s pryžovým. Tak je tomu například u bezpístnicových motorů. Na obr.13 je vidět, že u motoru s průměrem 10 mm je standardně dodáváno provedení s pryžovým tlumením. Pokud toto nestačí, je třeba namontovat hydraulický tlumič. Ostatní velikosti jsou standardně dodávány se vzduchovým tlumením.



Obrázek 13 - Absorpční kapacity jednotek pro nastavení gumových nárazníků, vzduchového polštáře a zdvihu ⁵

https://content2.smcetech.com/pdf/MY1_EU.pdf

Na obr 14 je uveden souhrn možných způsobů vnitřního tlumení – bez tlumení, tlumení se vzduchovým polštářem a tlumení s hydraulickým tlumičem.

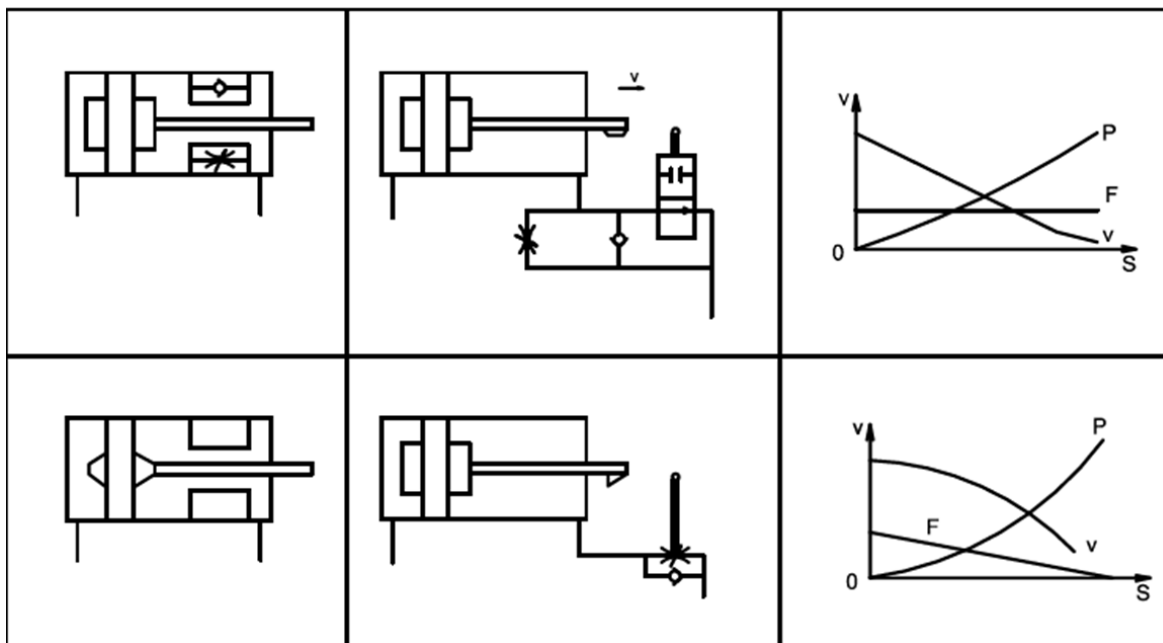


Obrázek 14 - Vnitřní doraz ²

- Vnitřní pevný doraz
- Vnitřní doraz s pneumatickým tlumením koncové polohy
- Vnitřní doraz s hydraulickým tlumičem

4.4. Externí pneumatické tlumení

Výše byly popsány dva způsoby interního pneumatického tlumení. Pokud válec tlumení nemá, nebo je kinetická energie na konci zdvihu větší než jakou je schopno absorbovat interní tlumení, lze pneumatické tlumení realizovat externě.

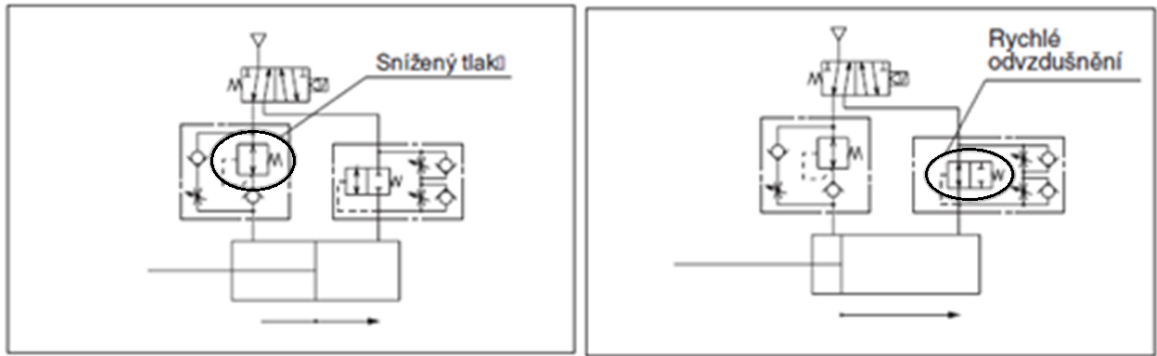


Obrázek 15 - Externí tlumení

V prvním případě lze před koncem zdvihu přepnout ventil a přeměřovat volně odcházející vzduch tak, aby odcházel přes škrticí ventil. To odpovídá výše zmíněnému tlumení PPV, jak jej označuje Festo.

Obdobu PPS tlumení lze realizovat škrticím ventilem, který je na konci zdvihu stále více uzavírán. Na grafech vedle jednotlivých způsobů tlumení je vidět průběh tlumicí síly F , rychlosti v a velikosti průtočného průřezu škrticího ventilu S v závislosti na dráze tlumení.

Další možností je použití ventilu, který není řízený polohou, nýbrž tlakem. Takto funguje například ventil ASQ od firmy SMC. Při zpětném pohybu ventil ASQ zajišťuje rychlé odvzdušnění, zatímco pokud je použit standardní škrticí ventil, je odvzdušnění pomalejší a tedy i pomalejší rozjezd válce. Při dojezdu do koncové polohy poklesne tlak v odvětrávaném prostoru a 2/2 ventil obsažený v QSR se uzavře. Vzduch potom musí proudit přes škrticí ventil a tím dojde k dotlumení dojezdu.



Obrázek 16 - Ventil ASQ¹²

https://content2.smcetech.com/pdf/ASR-ASQ-A_EU.pdf

5. VÝPOČET BEZPÍSTNICOVÉHO VÁLCE

Nejprve provedu volbu bezpístnicového motoru, který bude posunovat dveře. Dveře se budou posouvat ve vedení, viz schéma na obr.17. Parametry pro výpočet jsou následující:

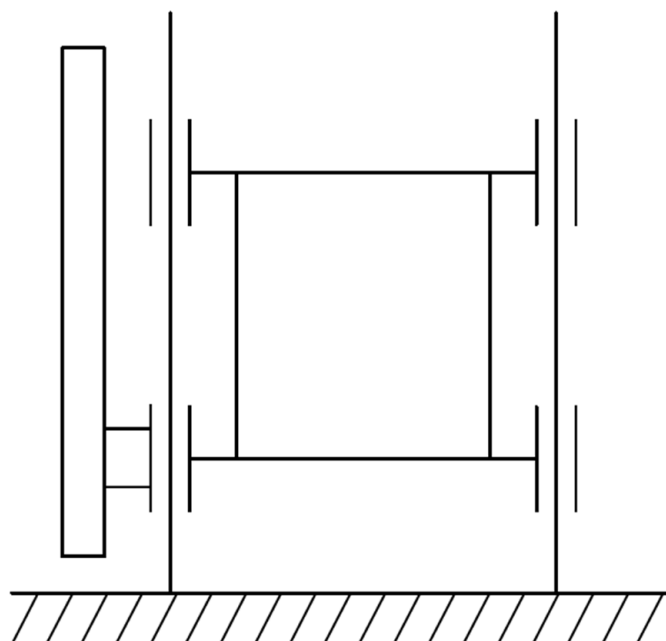
$$v = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ rychlost otvírání a zavírání dveří}$$

$$p = 0,5 \text{ MPa} - \text{pracovní tlak}$$

$$m = 13 \text{ kg} - \text{hmotnost dveří plus spojovací prvky atd.}$$

$$\delta = \frac{1}{100} - \text{součinitel závislý na způsobu tlumení}$$

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$



Obrázek 17 - Nákres vertikálně posuvných dveří

Na začátku je třeba spočítat sílu, která bude působit, což spočteme pomocí tíhového zrychlení a hmotnosti. Dále zjistíme z průřezu průměr.

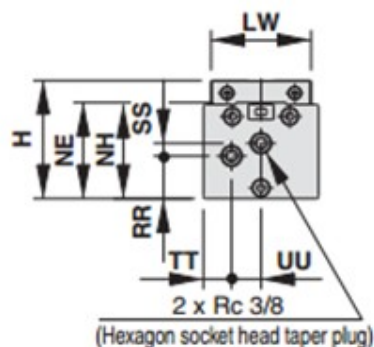
$$F = m \cdot g = 13 \cdot 9,81 = 127,53 \text{ N}$$

$$S = \frac{F}{p} = \frac{127,53}{0,5 \cdot 10^6} = 255,06 \text{ mm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 255,06}{3,14}} = 18,03 \text{ mm}$$

Nejprve byl proveden výpočet pro průměr 20 mm. Tento motor ale nevyhovoval z hlediska namáhání vedení. Proto z katalogu SMC volím bezpístnicové pohon série MY1B průměr 50mm a níže je uvedena jeho kontrola.

Jelikož budou dveře upnuty přímo na posuvné části motoru, rameno gravitační síly bude rozdíl horní plochy jezdce a tělesa. Tyto velikosti zjistíme z příslušného katalogu.



Model	A	B	C	E	G	GB	H	J	JJ	K	KK	L	LD	LL	LW	M	MM	N	NC	NE
MY1B50□	200	14	8.5	3	23.5	37	94	M12 x 1.75	M6 x 1	25	17	200	9	100	80	14	M8 x 1.25	47	38	76.5
MY1B63□	230	17	10.5	3	25	39	116	M14 x 2	M8 x 1.25	28	24	230	11	115	96	16	M8 x 1.25	50	51	100

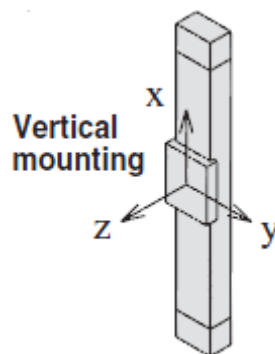
[mm]

Obrázek 18 – Horní plocha jezdce⁵

https://content2.smcetech.com/pdf/MY1_EU.pdf

$$z = H - NE = 94 - 76,5 = 17,5 \text{ mm}$$

Válec bude namáhán pouze momentem kolem osy y při statickém namáhání a momentem kolem stejné osy při dynamickém namáhání. Ostatní síly a momenty jsou zachyceny vedením.



Obrázek 19 – Osy válce⁵

https://content2.smcetech.com/pdf/MY1_EU.pdf

$$M_1 = m \cdot g \cdot y = 13 \cdot 9,81 \cdot 17,5 \cdot 10^{-3} = 2,23 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{1max} = 30 \text{ N} \cdot \text{m}$$

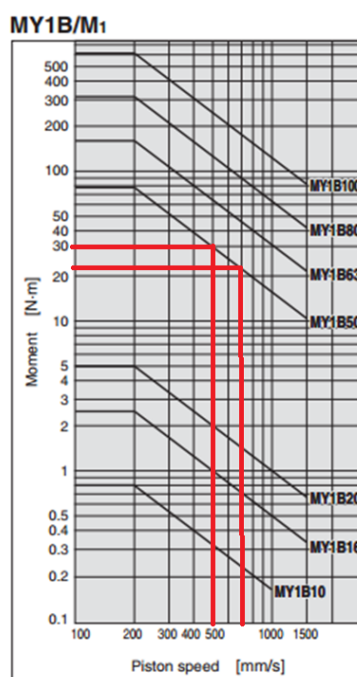
$$\alpha_1 = \frac{2,23}{30} = 0,074$$

$$F_e = 1,4 \cdot v \cdot \delta \cdot m \cdot g = 1,4 \cdot 500 \cdot \frac{1}{100} \cdot 13 \cdot 9,81 = 893 \text{ N}$$

$$M_{1E} = \frac{1}{3} \cdot F_e \cdot y = \frac{1}{3} \cdot 893 \cdot 17,5 \cdot 10^{-3} = 5,21 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{1Emax} = 22 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\alpha_2 = \frac{M_{1E}}{M_{1Emax}} = 0,24$$



Obrázek 19 - Graf pro určení maximálních momentů⁵

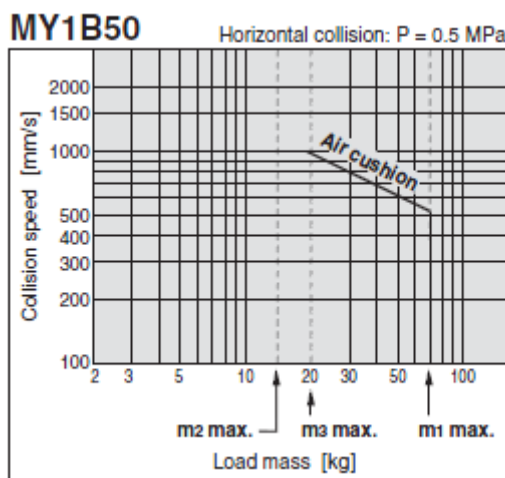
https://content2.smcetech.com/pdf/MY1_EU.pdf

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 0,0074 + 0,24 = 0,3 < 1 \text{ Podmínka splněna.}$$

Maximální statické a dynamické namáhání jsme zjistili z grafu. U dynamického zatížení jsme pracovali s rychlostí $700 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, kterou jsme získali vynásobením zadané rychlosti koeficientem 1,4.

Výpočet bezpístnicového motoru vyšel, tudíž ho je možno použít. Volím tedy bezpístnicové pohon MY1B50-1000.

Podle grafu by při horizontální montáži bylo vnitřní tlumení dostačující. Pro můj případ, kdy motor pohybuje dveřmi ve vertikálním směru, bude ale potřeba použít externí tlumení.



Obrázek 20 - Graf vnitřního tlumení ⁵

https://content2.smcetech.com/pdf/MY1_EU.pdf

Podle obrázku 7 na stránce 18 se v mém případě jedná o způsob zatížení hydraulického tlumiče s břemenem dolů. Pro tento případ provedu výpočet.

$$E_1 = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{13 \cdot 0,5^2}{2} = 1,625 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$E_2 = F \cdot s + m \cdot g \cdot s = 0,2 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} \cdot 0,011 + 13 \cdot 0,011 \cdot 9,81 = 5,72 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$E = E_1 + E_2 = 7,345 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$m_e = \frac{2 \cdot E}{v^2} = \frac{2 \cdot 7,345}{0,5^2} = 58,67 \text{ kg}$$

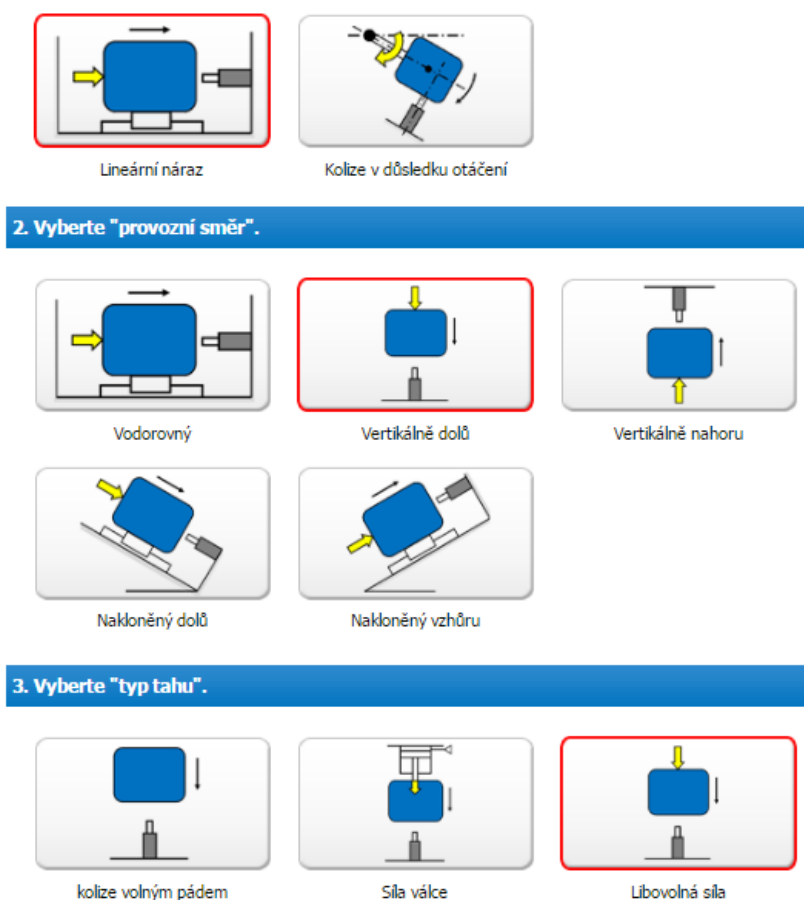
Podle tohoto výpočtu jsem našel vhodný tlumič z katalogu firmy SMC. Jedná se o tlumič série RB typ RB1411.



Obrázek 21 - Tlumič série RB ¹⁷

https://content2.smcetech.com/pdf/RB_EU.pdf

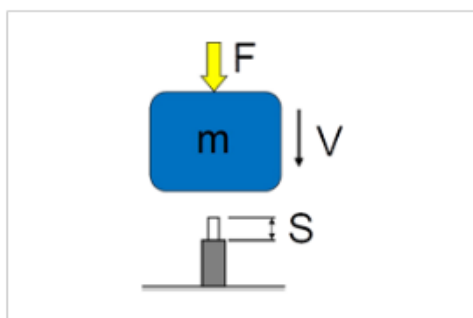
Každá firma má na svých stránkách nějaké softwary a konfiguratory pro výpočet různých komponentů, kde se zadají vstupní hodnoty, a krok po kroku jste dovedeni k příslušnému komponentu, jenž je možno použít. Jelikož jsem použil bezpístnicový pohon od SMC, použil jsem pro porovnání s výpočtem jejich software pro volbu tlumiče. Nejdříve si vybereme způsob zatížení podle podoby srážky, provozního směru a typu tahu. Po volbě způsobu zatížení je třeba zadat požadované hodnoty, viz obr. 21.



Obrázek 22 - SMC software pro výpočet tlumiče⁸

https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/corporative/modules/modelSelect/shock_absorbers_select.jsp

4. Zadání provozních podmínek.



Typ nárazu: Lineární náraz

Směru pohybu: Vertikálně dolů

Typ tahu: Libovolná síla

Rozsah vstupní hodnoty

Hmota m: kg [0,001~20,000]

Tah F: N [0~200,000]

Rychlost srážky V: m/s [0,050~5]


Počet paralelně zapojených tlumičů: pcs. [1~10]

Pracovní frekvence: cycle/min [1~80]

Obrázek 23 - SMC software pro výpočet tlumiče⁸

https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/corporative/modules/modelSelect/shock_absorbers_select.jsp

Výpočet maximální absorbované energie, maximální ekvivalentní hmotnosti a maximální provozní frekvence jsou provedeny pro obvyklou teplotu (20 až 25 ° C). Dále se vybírá zadání série válců, kde se rozhoduje mezi tlumičem standardního typu, s jemným dojezdem, odolným chladicím kapalinám a tlumičem pro krátký zdvih. Po výběru se rozhoduje typ těla, volba počtu a druhu matic a velikost závitu. Na to nám tento software nabídne tlumiče, které je možno použít a ze kterých je tedy možno vybírat. Nakonec nám vyskočí výsledek výběru. Dle mého zadání je podle SMC softwaru výsledek, jenž je ukázán v následujícím obrázku.

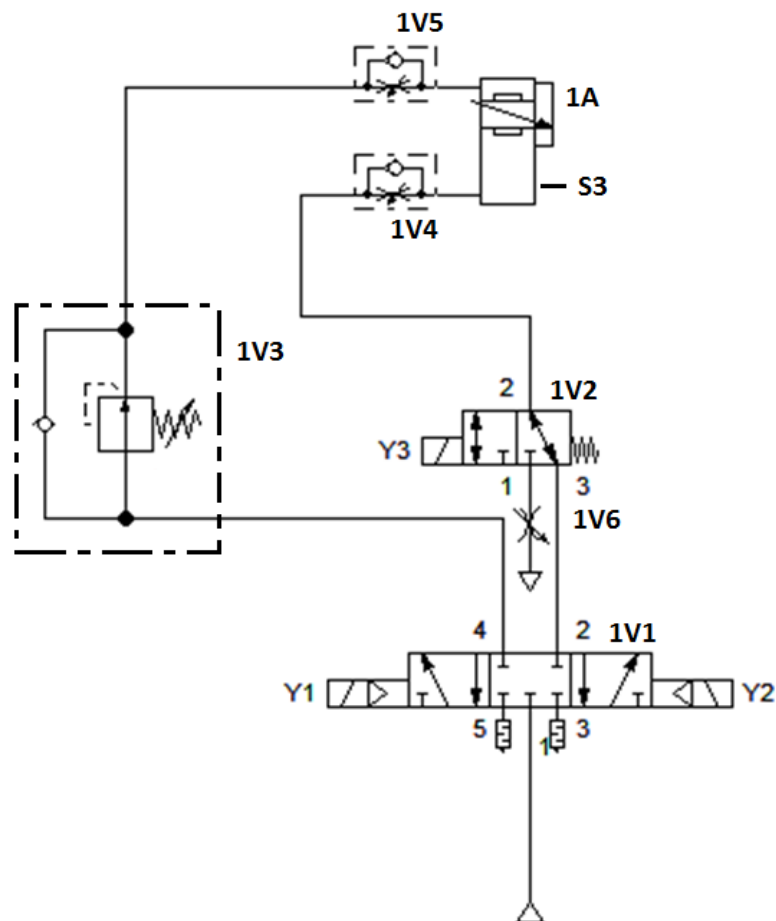
Výsledek výběru	Zadání podmínek
<p>Standardní typ RB1411S</p> <p>Referenční fotky</p> 	<p>Lineární náraz ⇒ Vertikálně dolů ⇒ Libovolná síla</p> <p>Hmotnost : 13 kg</p> <p>Tah : 130 N</p> <p>Rychlost srážky : 0.500 m/s</p> <p>Počet paralelně zapojených tlumičů : 1 pcs.</p> <p>Pracovní frekvence : 1 cycle/min</p> <p>Typ těla : Základní typ</p> <p>Volba : Šesthraná matice 2 kusy/ Pojistná matice 1ks.</p> <p>Velikost závitu O.D. : M14X1.5</p>
<p>Specifikace</p> <p>Max. absorbovaná energie : 14.7 J</p> <p>Zdvih : 11 mm</p> <p>Rychlost srážky : 0.05~5 m/s</p> <p>Max. pracovní frekvence : 45 cycle/min</p> <p>Max. přípustný tah : 814 N</p> <p>Rozsah okolní teploty vzduchu : -10~80 °C</p> <p>Pružná síla (Prodloužení) : 6.86 N</p> <p>Pružná síla (Zatažení) : 15.3 N</p> <p>Hmotnost : 65 g</p> <p>Držák tlumiče nárazu (nutno objednat samostatně) : RB14-X331</p> <p><input type="button" value="Vysvětlění"/></p>	

Obrázek 24 - SMC software pro výpočet tlumičů⁸

https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/corporative/modules/modelSelect/shock_absorbers_select.jsp

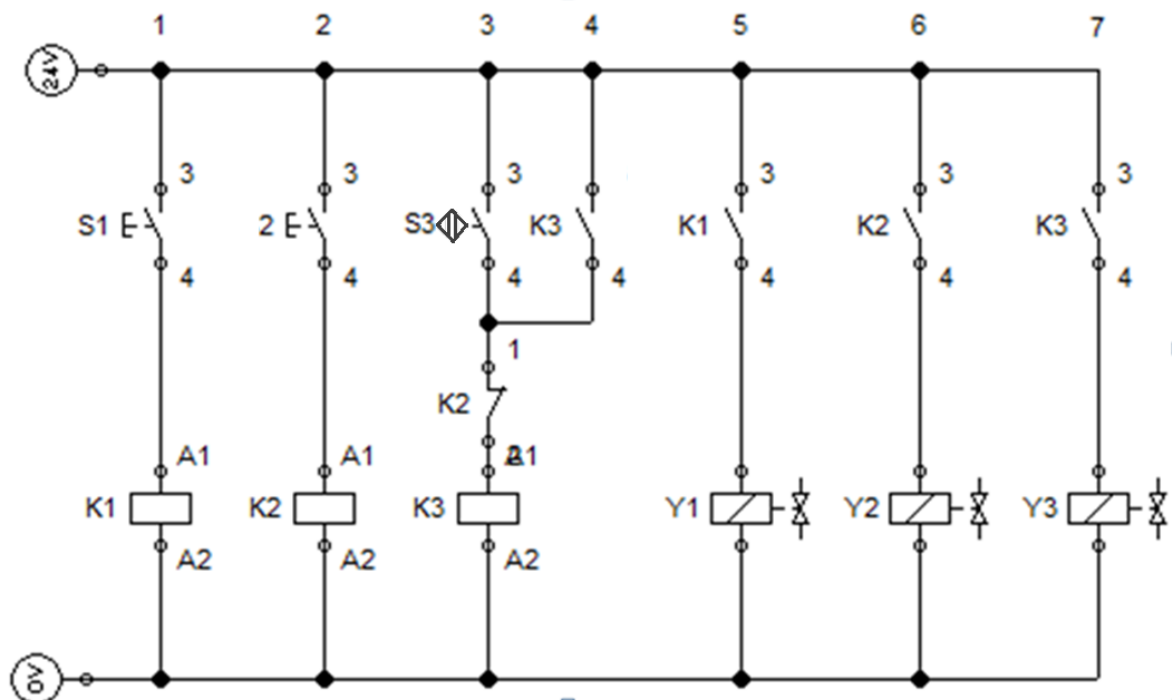
6. NÁVRH OBVODU A VOLBA PRVKŮ

Pro problematiku tlumení dojezdu dveří jsem podle zadaných parametrů vybral externí tlumení. Navrhl jsem obvod, jenž bude fungovat pro danou problematiku. Na internetu z katalogů od firem jsem vybral vhodné prvky tohoto obvodu.



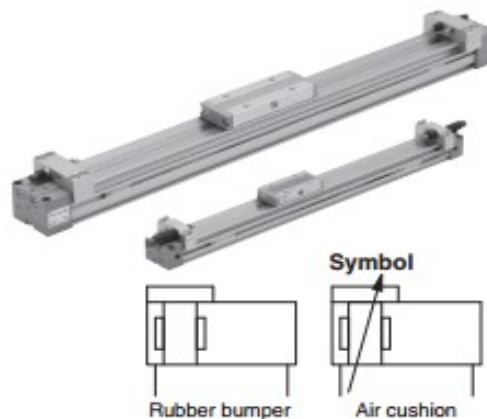
Obrázek 25 - Obvod pro tlumení vertikálně posuvných dveří

Na obr. 25 je schéma obvodu, který se skládá z bezpístnicového motoru (1A), 5/3 ventilu (1V1), který řídí směr proudění vzduchu, tedy jestli se budou dveře otvírat nebo zavírat, 3/2 ventilu, který řídí škrcení pro tlumení v koncové poloze a spustí se, když bezpístnicový motor dojede do polohy, ve které je nainstalovaný senzor polohy (S3). Dále obvod obsahuje redukční ventil, jenž omezuje tlak na předem nastavenou hodnotu. Řízení bude provedeno z řídicí jednotky. Prvky v obvodě jsou propojeny pomocí hadic s vnějším průměrem 6 mm a vnitřním průměrem 4mm. Pro experimentální ověření byl sestaven relový obvod podle zapojení na obr. 26.



Obrázek 26 - Elektrický obvod pro tlumení vertikálně posuvných dveří

Jako bezpečnicový válec jsem vybral válec, jenž mi vyšel dle předešlých výpočtů. Tudíž od firmy SMC ze série MY1B bezpečnicový válec MY1B50-1000.



Obrázek 27 - Bezpečnicový válec série MY1B⁵

https://content2.smcetech.com/pdf/MY1_EU.pdf

Škrticí ventil na výstupu z válce (1V4) jsem vybral od SMC typ AS3201FPG-02-06. Druhý Jednosměrný škrticí ventil (1V5) nemusí být, protože redukční ventil ASR od firmy SMC už tento škrticí jednosměrný ventil obsahuje.



Obrázek 28 - Jednosměrný škrticí ventil SMC série AS ¹⁶

https://content2.smcetech.com/pdf/AS-FPx-A_EU.pdf

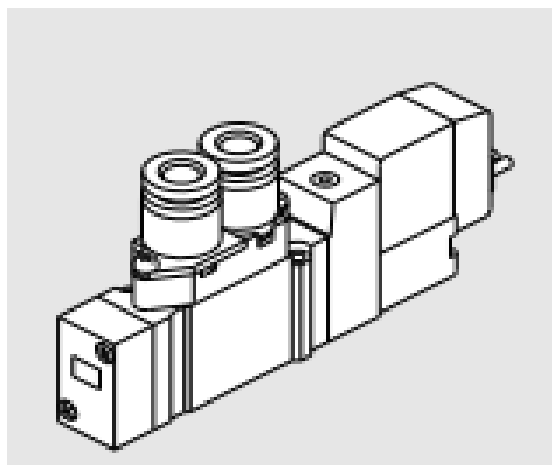
Dále jsem použil třicestný dvoupolohový rozváděč (1V2) ovládaný elektricky se základní polohou vymezenou pružinou. Vybral jsem jej od firmy SMC typ VT307-5D01-01F-Q.



Obrázek 29 - 3/2 ventil série VT307 ⁹

http://content2.smcetech.com/pdf/VT_A_EU.pdf

Rozváděč 5/3 (1V1) jsem taktéž vzal od SMC série SY7. Je ovládaný elektromagneticky se střední polohou uzavřenou, typ SY7320-5MOU-C8F-Q pro řízení směru posouvání dveří.



Obrázek 30 - 5/3 ventil série SY7 ¹⁰

https://content2.smcetech.com/pdf/SY_EU.pdf

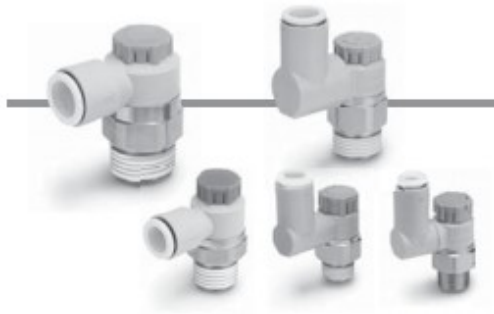
Dalším prvkem je řídicí ventil (1V3) od firmy SMC pro úsporu stlačeného vzduchu, regulaci tlaku/ průtoku, který má možnost nastavení tlaku a škrcení. Je to ventil ze série ASR typ ASR530F-02-06S, který navíc obsahuje škrťací jednosměrný ventil, tudíž už není potřeba tento ventil před válcem (1V5).



Obrázek 31 - Ventil SMC série ASR ¹²

https://content2.smcetech.com/pdf/ASR-ASQ-A_EU.pdf

Škrticí ventil pro tlumení dojezdu jsem volil od firmy SMC typ AS3301F-03-11A.



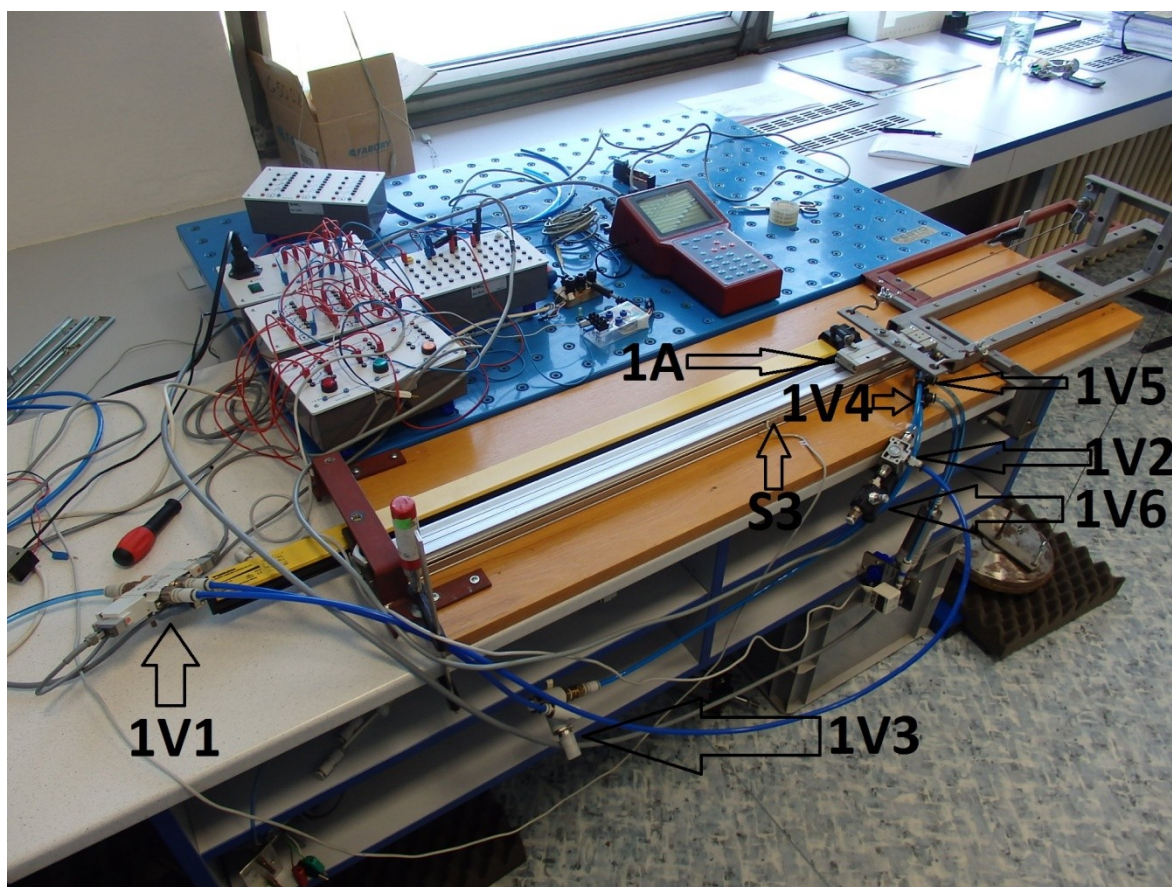
Obrázek 32 - Škrticí ventil od SMC série AS ¹⁶

https://content2.smcetech.com/pdf/AS-1F_FG-A-D_EU.pdf

7. EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ

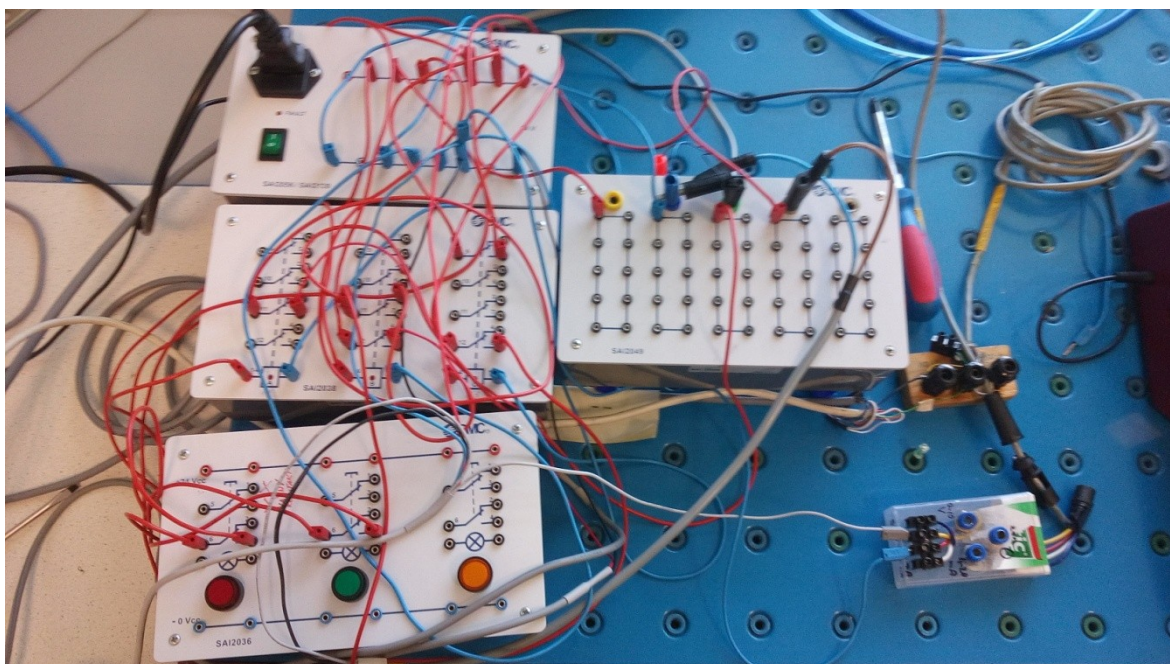
V laboratoři pneumatiky jsme si vytvořili a smontovali experiment, který by se co nejlíže podobal problematice, která je řešena v této bakalářské práci.

Na obrázku 33 je vidět, že bezpístnicový válec je připevněn na stole se závažím spuštěným dolů. Byl použit pohon od SMC MYB20G-600 se snímačem polohy vzdáleným od konce dojezdu válce 113 mm, který snímal polohu, ve které začne systém tlumit dojezd, aby nedošlo k nárazu. Závaží mělo hmotnost 10 kg.



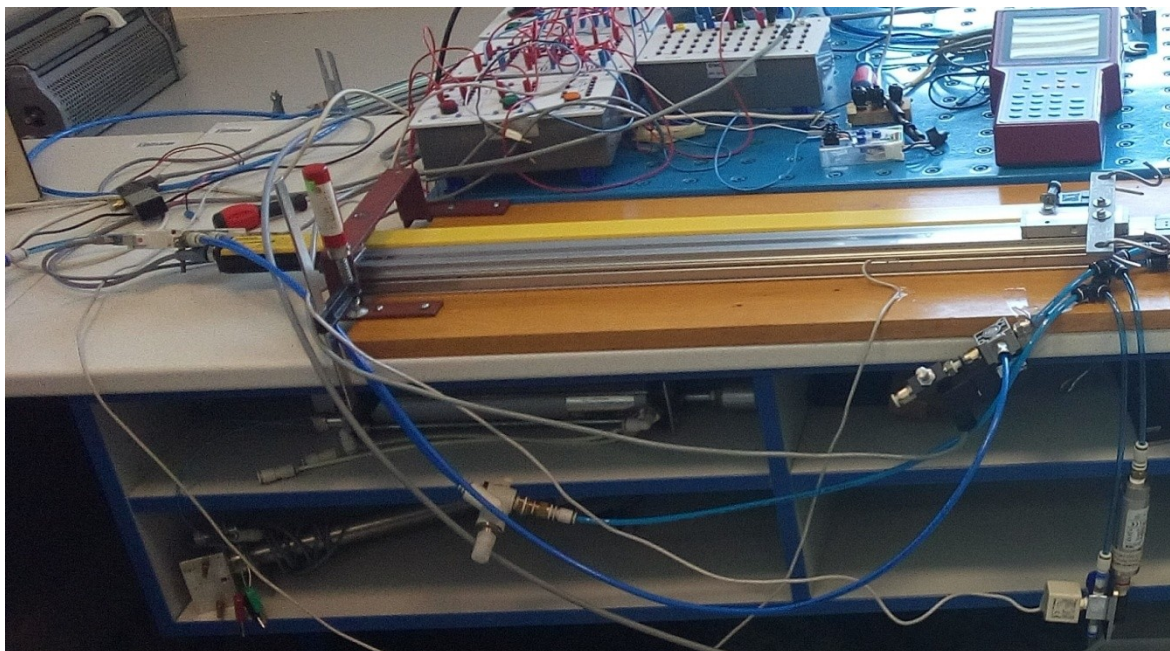
Obrázek 33 - Experimentálně sestavený obvod pro tlumení

Tento obvod byl elektricky zapojen dle schéma elektrického obvodu na obrázku 26 na straně 34, takže při zmáčknutém jednom tlačítku jel válec doprava (pohyb dolů) a při držení druhého tlačítka jel válec doleva (pohyb nahoru). Pokud nebylo zmáčknuté žádné tlačítko, válec byl zastaven v aktuální poloze.



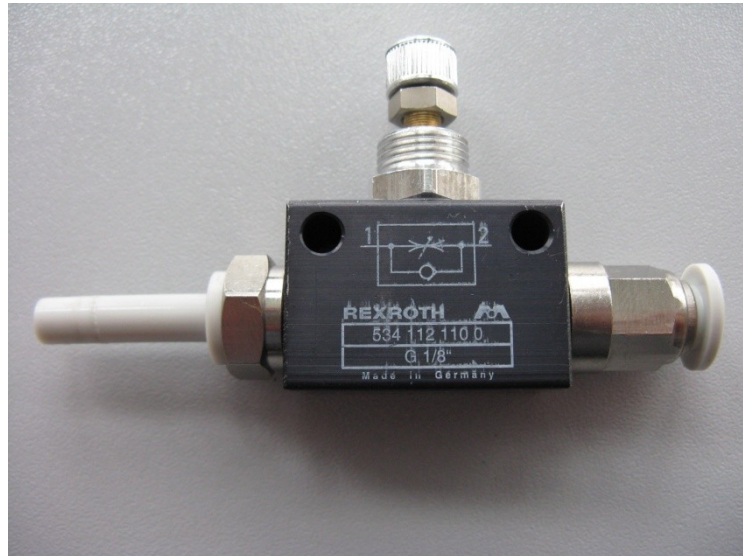
Obrázek 34 - Zapojený elektrický obvod

Škrticí ventil na výstupu z válce (1V5) byl stejný jako při návrhu obvodu. V experimentu byl použit 3/2 ventil 20-VT307-5D0-01 (1V2) a 5/3 ventil SY7320-5MOU-C8F-Q (1V1) od firmy SMC.



Obrázek 35 - Zapojený experimentální obvod

Škrticí ventil na tlumení dojezdu dveří (1V6) byl použit od firmy Rexroth typ CC01-5341121100.



Obrázek 36 - Škrticí ventil firmy Rexroth

Řídicí ventil od firmy SMC pro úsporu stlačeného vzduchu, regulaci tlaku/ průtoku, který má možnost nastavení tlaku a škrcení (1V3) byl použit typ ASR530F-02-06S.

Kromě polohy jsme také zaznamenávali tlak na vstupu a na výstupu do válce pomocí snímače tlaku od firmy Hydrotechnik PR15.

Měřili jsme tedy dráhu, rychlost, tlak na vstupu a tlak na výstupu. Všechny snímače byly připojeny k přístroji Hydrotechnik 5050, který zaznamenával 8 měření, které jsme provedli.



Obrázek 37 - Hydrotechnik PR15



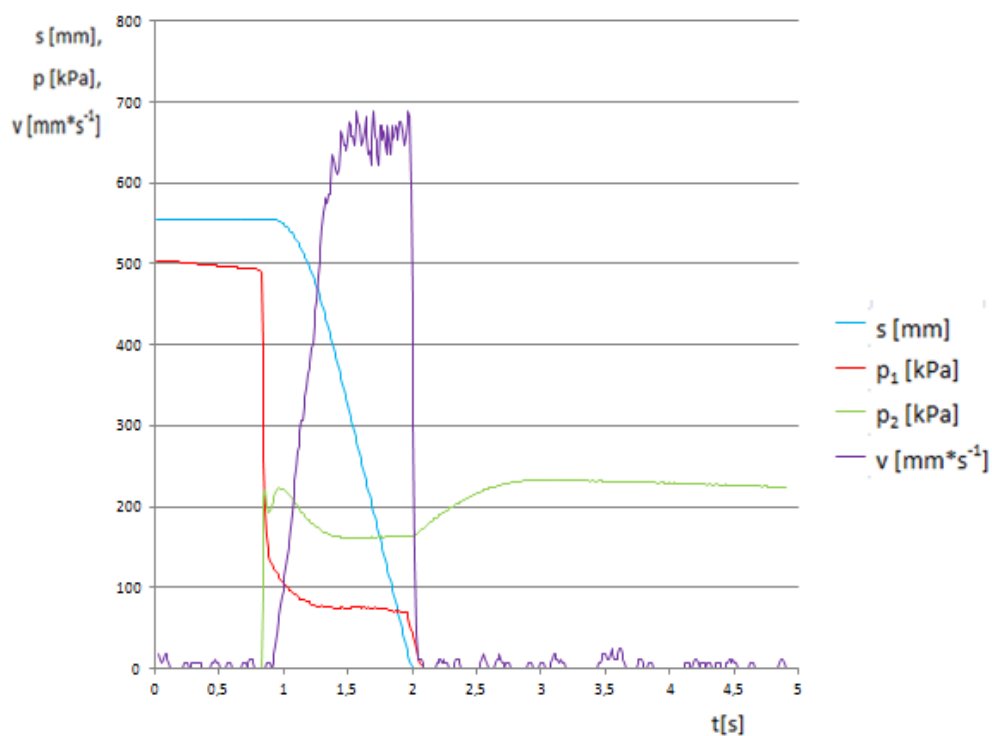
Obrázek 38 - Hydrotechnik 5050

Tlak byl regulován pomocí proporcionálního regulátoru tlaku od firmy Festo VPPE-3-1-1/8-10-010-E1.



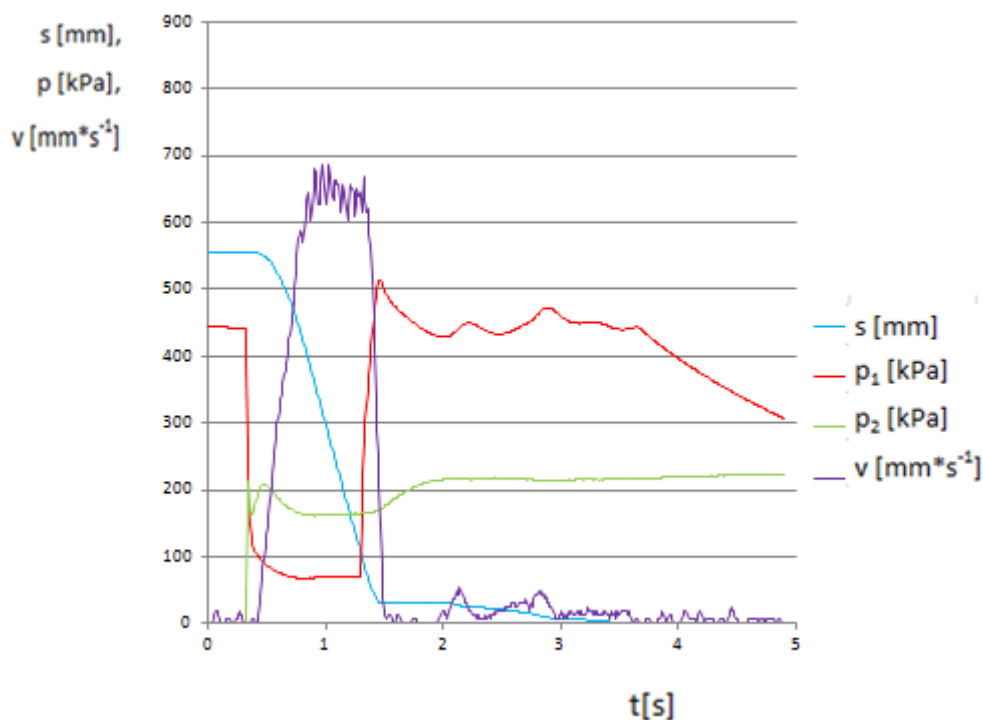
Obrázek 39 - Proporcionální regulátor tlaku od firmy Festo

Pomocí Hydrotechnik 5050 jsem udělal 8 měření a vytvořil grafy, jež tlumení dokazují. Na následujícím grafu je dojezd bez tlumení a tedy náraz pístu v koncové poloze. Rychlost motoru prudce narůstá a při nárazu prudce klesne. Tlak taktěž prudce klesá.



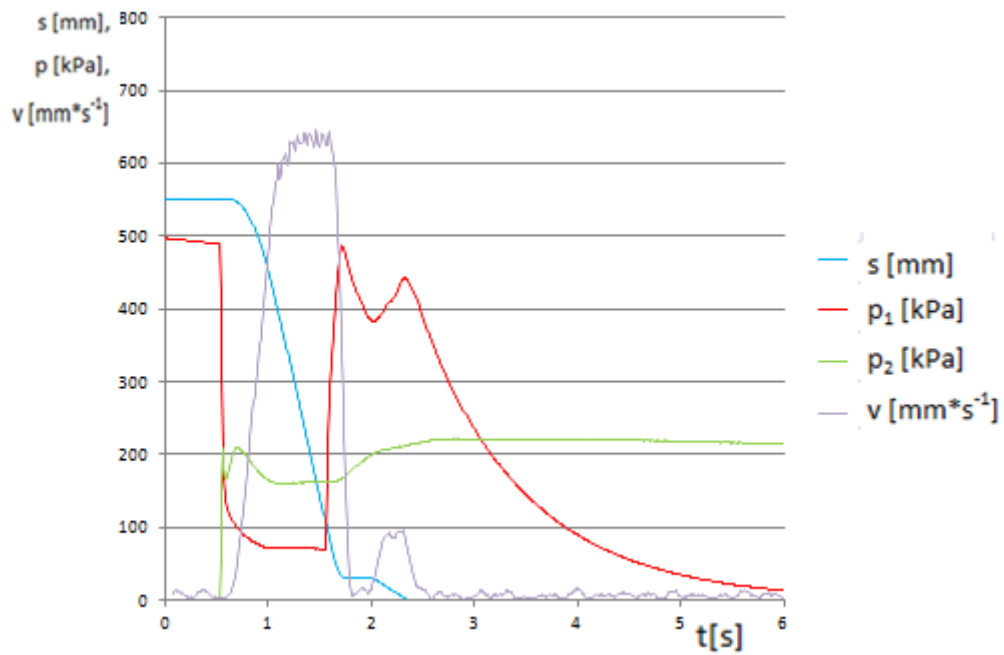
Obrázek 40 - Graf při měření spouštění dveří bez tlumení

Následující měření jsou s tlumením dojezdu v koncové poloze pomocí škrticího ventilu. Jak vidíme na obrázku 41, při tlumení spadne rychlost na nulu v důsledku prudkého nárůstu tlaku po přestavení ventilu a po vypuštění části vzduchu se píst znovu trhavě rozjede. Tudíž již nedochází k takovému nárazu jako bez tlumení, ovšem dojezd do koncové polohy je sekavý. Pro plynulejší dojezd je tedy třeba více otevřít škrticí ventil.



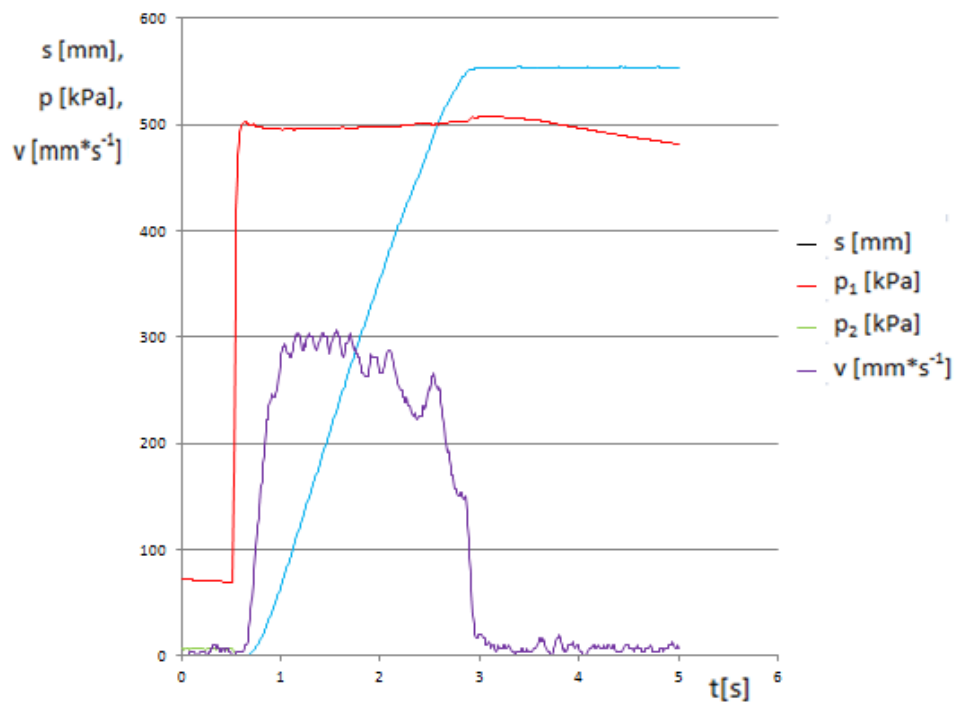
Obrázek 41 - Graf při měření tlumení dojezdu s otevřeným škrticím ventilem na 1,75 otáčky

Nyní již chtělo jen doladit plynulejší dojezd do koncové polohy, což bylo regulováno postupným otvíráním škrticího ventilu a to otevřením na 3, 4 a 5 otáček. Již při otevření na čtyři otáčky byl dojezd plynulý, jak lze vidět na obrázku 42. Jakmile rychlost spadne díky škrcení téměř na nulu, opět naroste a bez jakéhokoliv sekání plynule dojde do koncové polohy. Již na tomto obrázku jde tedy vidět, že experiment byl úspěšný a tlumení funguje. Na grafech jde vidět, že experiment vyšel, měření bylo úspěšné a tato volba tlumení funguje.



Obrázek 42 – Graf při měření tlumení dojezdu s otevřeným škrticím ventilem na 4 otáčky

Jedno měření jsme věnovali zvedání zátěže, tedy bez žádného škrcení a žádného nárazu, což vidíme na obrázku 43. Tlak je po celou dobu drží na stejných hodnotách.



Obrázek 43 - Graf pro měření při zvedání zátěže

Výše byly uvedeny výsledky 4 měření, ostatní výsledky jsou v excelovských souborech v příloze. V příloze jsou rovněž uvedeny fotografie a videa z měření.

8. ZÁVĚR

Po pročtení knížek a článků na internetu o stlačeném vzduchu, pneumatických válcích a problematice tlumení koncové polohy jsem napsal rešerši o těchto informacích. Jelikož jsem měl zadán bezpístnicový válec, popsal jsem i jeho konstrukci a možnosti tlumení.

Dále jsem si zvolil bezpístnicový válec a spočítal jeho parametry, abych věděl, jakou velikost mohu použít z hlediska namáhání vedení jezdce bezpístnicového motoru. Následně jsem spočetl vhodný tlumič a pomocí SMC softwaru i ukázal druhou možnost, jak jej lze lehce spočítat.

Navrhl jsem pneumatický obvod s elektrickým ovládním a zvolil do něj prvky, jež by vyhovovaly při zadaných podmínkách. Jako způsob tlumení jsem zvolil externí tlumení pomocí škrticího ventilu, který na konci zdvihu velmi rychle zvýšil tlak a zpomalil dojezd.

Experimentálně jsem ověřil, zdali obvod bude fungovat a nedojde k nárazům v koncové poloze. Měření dopadlo úspěšně, jak lze vidět na obrázku 42, a pro zvolené parametry dveří by zvolený způsob tlumení fungoval.

9. POUŽITÁ LITERATURA

1. KOPÁČEK, J. Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 S. ISBN 80-7078-306-0.
2. KOLEKTIV AUTORŮ. SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. Vydání. 344 s.
3. BEATER, P. Pneumatic drives: systém design, modelling and kontrol. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.
4. Válce s tlumením. Festo [online]. Praha: Festo, 2017 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:
https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/Flash/280951/215330/cs/index.htm
5. Bezpístnicové válce série MY1. Mechanically Jointed Rodless Cylinder Series MY1 [online]. Brno: SMC Industrial Automation CZ, 2017 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://content2.smcotech.com/pdf/MY1_EU.pdf
6. Regulátor rychlosti úspory vzduchu. Air Saving Speed Controller [online]. Brno: SMC Industrial Automation CZ, 2017 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: https://content2.smcotech.com/pdf/AS-R_AS-Q-B_EU.pdf
7. Válce dle norem DSBC, ISO 15552. Festo [online]. Praha: Festo, 2017 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:
https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DSBC_CZ.PDF
8. SMC Software pro výpočet tlumičů. *SMC Software pro podporu návrhu* [online]. Brno: SMC Industrial Automation CZ, 2012 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/corporative/modules/modelSelect/shock_absorbers_select.jsp
9. Proporcionální regulátor tlaku. *Festo* [online]. Praha: Festo, 2017 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:
https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/InternetSearch.aspx
10. 3-portový elektromagnetický ventil Typ s přímým ovládáním. *3 Port Solenoid Valve Direct Operated Poppet Type* [online]. Brno: SMC Industrial Automation CZ, 2016 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z:
http://content2.smcotech.com/pdf/VT_A_EU.pdf

11. SMC ventil série SY. 5 Port Solenoid Valve [online]. Brno: SMC Industrial Automation CZ, 2016 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_product_configurator.jsp?dc_product_id=32866&part_number=SY7320-5MOU-C8F-Q
12. Tlakový ventil ASR. *Air Saving Valve* [online]. Brno: SMC Industrial Automation CZ, 2016 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/ASR-ASQ-A_EU.pdf
13. Hydraulické tlumiče. *Stránský a Petržík* [online]. Bílá Třemešná: Stránský a Petržík, c2018 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/hydraulicke-tlumice-razu/technicke-informace-hydraulicke-tlumice/>
14. Hydraulické tlumiče. *Tlumiče rázů* [online]. BRNO: FLUIDTECHNIK BOHEMIA, 2018 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.fluidtechnik.eu/tlumice-razu>
15. Pryžové silentbloky. *Tlumicí prvky* [online]. Sulz am Neckar: HEINRICH KIPP WERK, c2018 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Ovl%C3%A1dac%C3%AD-prvky-normovan%C3%A9-d%C3%ADly/Tlumic%C3%AD-prvky/K0574-Pry%C5%BEov%C3%A9-dorazy-parabolick%C3%A9.html>
16. Škrticí ventil AS. *Speed Controller with One-touch Fitting* [online]. Brno: SMC Industrial Automation CZ, 2016 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/AS-1F_FG-A-D_EU.pdf
17. HYDRAULICKÝ TUMIČ SÉRIE RB. *Shock Absorber Series RB* [online]. Brno: SMC Industrial Automation CZ, 2015 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/RB_EU.pdf

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Lukášovi Dvořákovi Ph.D. za odborné vedení práce, trpělivost, ochotu, cenné rady a věcné připomínky při konzultacích a vypracování bakalářské práce.