

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Alan Šumelda

**AUTOMATICKÉ VEDENÍ VOZIDLA PO STANOVENÉ  
DRÁZE**

Diplomová práce

**2015**



**K616.....Ústav dopravních prostředků**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Alan Šumelda**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – ID – Inženýrská informatika v dopravě a spojích**

Název tématu (česky): **Automatické vedení vozidla po stanovené dráze**

Název tématu (anglicky): Automatic control of the vehicle upon the specified path

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Rešerše systémů pro ovládání řízení a pohonu vozidla v laboratorních podmínkách vč. vyhodnocení nákladnosti.
- Návrh zástavby ovládání pedálové skupiny pro osobní automobil a autobus včetně výkresové dokumentace.
- Návrh zástavby ovládání řízení pro osobní automobil a autobus včetně výkresové dokumentace.
- Návrh bezpečného uložení řídicích jednotek a záznamového zařízení ovládacího systému v případě nárazu.
- Jízdní zkoušky s realizovaným systémem.

Rozsah grafických prací: Dle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: First, J., Zkoušení automobilů a motocyklů : příručka pro konstruktéry  
předpisy EHK/OSN a EU/EHS/ES  
technická dokumentace k aktuátorům a řídicím jednotkám

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Stanislav Novotný, Ph.D.**  
**Ing. Martin Šotola, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **26. června 2014**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2015**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia




doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu dopravních prostředků



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.



Bc. Alan Šumelda  
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....2. června 2015

## Poděkování

Nejdříve bych chtěl poděkovat mým rodičům za celoživotní podporu.

Dále bych chtěl poděkovat svým kolegům z ústavu K616, kteří mi pomáhali utvářet a formovat mě a mé myšlenky v průběhu studia na Fakultě dopravní.

Zvláště bych chtěl poděkovat vedoucím této práce, jmenovitě panu Ing. Martinu Šotolovi Ph.D. a panu doc. Ing. Stanislavu Novotnému Ph.D., kteří mi umožnili získat náhled do zajímavé problematiky a byli vždy konstruktivní a otevření k otázkám, týkajících se této práce.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat i lidem, kteří mi věnovali svůj čas při konzultacích ve strojírenských otázkách týkajících se konstrukce navrhovaných zařízení a za možnost pracovat se softwarem SolidWorks. Chtěl bych tedy poděkovat svým bratrům, Ivanovi a Adamovi, panu Ing. Jiří Firstovi a také panu Ing. Pavlu Syslovi za cenné rady, týkající se detailů konstrukce uložení.

Nejvíce bych chtěl však poděkovat své dívce Veronice Klepalové, za neutuchající psychickou podporu a vždy pozitivní náladu.

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě dopravní ČVUT v Praze.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu a Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorských a o změně některých zákonů.

V Brandýse nad Labem dne 25.11.2015



## **Abstrakt**

Diplomová práce Automatické vedení vozidla po stanovené dráze se zabývá zařízeními, jež dokáží ovládat vozidlo přes standardní ovládací prvky, a tlumícím uložením pro ochranu ovládacího a záznamového zařízení při nárazu.

Teoretická část se věnuje v současnosti prodávaným zařízením a řeší dotčených norem. Tyto normy se týkají především rozmístění ovládacích prvků a sil, kterými mají být ovládány. Dále je v této části uvedena teorie kmitavého pohybu, jak netlumeného tak i tlumeného.

Praktická část se věnuje návrhu zástavby ovládacího pohonu vozidla a popisu použitých lineárních aktuátorů.

Dále se zabývá zástavbou ovládacího řízení vozidel a popisu použitého krokového motoru.

Závěrečná část se věnuje návrhu bezpečného uložení záznamového a ovládacího zařízení pro specifická použití, například při nárazové zkoušce.

## **Klíčová slova**

vedení, crashtest, uložení, ovládací, řídicí robot

## **Abstract**

The diploma thesis Automatic control of the vehicle upon the specified path is focused on devices capable of driving a vehicle through the use of its standard controls and also on shock absorbing shielding of the control and recording device for its protection in the case of a collision.

The theoretical part of the thesis deals with devices already available on the market as well as with the norms concerning control elements – their placement and the acting forces needed to use them. In addition, the theory of simple and damped harmonic oscillation is included in this part.

The practical part proposes a way of embedding a system that controls the propulsion and describes the linear actuators used.

Afterward, it handles another system to control steering, following with the description of the used step motor.

The goal of the final part is to design a safe placement for all the control and recording devices for specific uses, for instance within a crash-test.

## **Key words**

guidance, crashtest, storage, control, driving robot

# Obsah

<b>Obsah</b>	<b>6</b>
<b>1 Seznam použitých zkratk</b>	<b>9</b>
<b>2 Úvod</b>	<b>10</b>
<b>3 Rešerše systémů pro ovládání řízení a pohonu vozidla v laboratorních podmínkách vč. vyhodnocení nákladovosti</b>	<b>12</b>
3.1 Výrobce Anthony Best Dynamics Ltd. . . . .	13
3.2 Výrobce Stähle GmbH . . . . .	21
3.3 Vyhodnocení nákladovosti . . . . .	28
<b>4 Rešerše předpisů zabývající se nožními ovladači vozidla</b>	<b>29</b>
<b>5 Rešerše předpisů zabývající se ručním řízením vozidla</b>	<b>33</b>
<b>6 Teorie kmitavého pohybu</b>	<b>34</b>
6.1 Netlumený kmitavý pohyb . . . . .	34
6.2 Tlumený kmitavý pohyb . . . . .	36
<b>7 Použitý software</b>	<b>37</b>
<b>8 Návrh zástavby ovládání pedálové skupiny pro osobní automobil a autobus</b>	<b>38</b>
8.1 Požadavky na systém ovládající pedálové skupiny v automobilu a v autobusu . .	38
8.2 Použitá sestava aktuátoru FESTO . . . . .	38
8.2.1 Aktuátor FESTO . . . . .	38
8.2.2 Motor FESTO . . . . .	40
8.3 Stavebnicový systém ALUTEC . . . . .	41
8.4 Uložení aktuátoru FESTO . . . . .	41



8.4.1	Omezující podmínky . . . . .	41
8.4.2	Návrh uložení . . . . .	43
8.5	Návrh zástavby ovládání pedálové skupiny pro osobní automobil . . . . .	45
8.6	Návrh zástavby ovládání pedálové skupiny pro autobus . . . . .	47
<b>9</b>	<b>Návrh zástavby ovládání řízení pro osobní automobil a autobus</b>	<b>49</b>
9.1	Požadavky na systém ovládající řízení automobilu a autobusu . . . . .	49
9.2	Použitý krokový motor FESTO . . . . .	49
9.3	Návrh zástavby ovládání řízení pro osobní automobil a autobus . . . . .	50
9.3.1	Návrh č.1 . . . . .	50
9.3.2	Návrh č.2 . . . . .	51
<b>10</b>	<b>Určení parametrů pro uložení zařízení</b>	<b>56</b>
10.1	Popis crashtestů, na které by se dané zařízení mělo použít . . . . .	56
10.2	Popis řídicích jednotek a záznamového zařízení ovládacího systému . . . . .	56
<b>11</b>	<b>Návrh uložení záznamových a řídicích jednotek</b>	<b>58</b>
11.1	Podmínka správné funkčnosti . . . . .	58
11.2	Model v programu MSC Adams/view . . . . .	58
11.3	Návrh uložení . . . . .	61
11.3.1	Popis řešení uložení . . . . .	62
11.3.2	Tlumení příčného směru . . . . .	63
11.3.3	Tlumení v podélném směru - varianta 1 . . . . .	64
11.3.4	Tlumení v podélném směru - varianta 2 . . . . .	65
11.3.5	Použité lineární vedení . . . . .	68
11.3.6	Použité tlumiče . . . . .	69
11.4	Ověření uložení . . . . .	69

<b>12 Jízdní zkouška</b>	<b>72</b>
<b>13 Závěr</b>	<b>75</b>
<b>Seznam obrázků</b>	<b>79</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>82</b>
<b>Přílohy</b>	<b>83</b>

## 1 Seznam použitých zkratek

TCU	transmission control unit
ESC	electronic stability control
ABS	anti-lock brake system
ECU	electronic control unit
3d	třidimenzioální
sw	software
NI	National Instruments
LIN	Local Interconnect Network
CAN	Controller Area Network
FPGA	Field-programmable gate array
MSC	MacNeal-Schwendler Corporation
AB	Anthony Best

## 2 Úvod

Dnešní doba se vyznačuje stále se zvyšujícím životním tempem. Toto můžeme vidět, mimo jiné také na vzrůstajícím se počtu vozidel v České republice. Ruku v ruce s tímto trendem se zvyšují požadavky kladené na vývoj automobilů, nejen z hlediska kvality výroby, ale též z hlediska bezpečnosti či vlivu na životní prostředí. Další podstatnou stránkou nových automobilů jsou i elektronické systémy, mající za úkol usnadnit řízení vozidla v krizových situacích nebo těmto situacím předejít úplně. Tyto systémy jsou vhodné zejména v situacích, kdy řidič přecenil své schopnosti nebo na trase nastala neočekávaná situace. Tak jako každý systém, tak i tyto podpůrné vozidlové systémy je třeba před nasazením do sériové výroby řádně otestovat a ověřit tak jejich funkčnost. Přestože se v současnosti provádí většina testování pomocí počítačových simulací, pro ověřování a finální testování je nepostradatelnou součástí i testování fyzické. Tuto fyzickou složku testování provádějí nejen samotné automobilky, ale i nezávislé organizace, které mají za cíl nejen porovnávat vozidla různých výrobců, ale i ověřování výrobcem udávaných parametrů. Z důvodů možnosti porovnatelnosti výsledků se při testování využívají roboti, kteří jsou elektronicky řízeni. V těchto testech dokáží roboti nejen přesně reprodukovat vstupy do ovládání vozidla, ale také kompletně nahradit řidiče ve vozidle a zvýšit tím bezpečnost testování.

Roboti se využívají nejen při testování vozidel, ale také při homologačním testování prvků infrastruktury, například svodidel či jiných záchytných systémů. Používají se tehdy, kdy není možné nasměrovat vozidlo do překážky jinak, než pomocí kolejnic nebo vodícího lana. Roboti se využívají i při zátěžových zkouškách nových vozidel, kdy výrobce testuje odolnost vozidla a jeho skupin, buď na testovacím polygonu, který obsahuje prvky z prostředí pro které je vozidlo určeno (například obrubníky, zpomalovací prahy atd.) nebo na válcové zkušebně.

Zařízení, která mají být navržena v rámci této diplomové práce, mají být primárně určeny pro testování spotřeby paliva na vozidlech s automatickou převodovkou na polygonech. Další využití toho zařízení se plánuje při testování záchytných systémů. Posledním plánovaným využitím je pak nasazení zařízení v testech brzd, ESC apod..

Cílem práce je navrhnout jednoduché, rozměrově adaptabilní a rozpočtově přívětivé zařízení pro ovládání řídicích prvků vozidla. V současnosti dostupná zařízení jsou totiž k plánovanému použití zbytečně sofistikovaná a finančně náročná. Výsledná podoba takového zařízení a jeho zástavba je podmíněna navíc ještě požadavky zadavatele, tj. využití již zakoupených aktuátorů a jednoduchá výroba.

Práci je možné rozdělit na dvě části, teoretickou a praktickou.

V teoretické části je provedena rešerše v současnosti prodávaných zařízení a dále popisuje teorii kmitavého netlumeného pohybu od kterého se dále přesunuje ke kmitavému tlumenému pohybu.

Praktická část se věnuje návrhům zástavby ovládání pedálové skupiny pro oba požadované typy vozidel - osobní automobil a autobus. Poslední část práce se zabývá návrhem bezpečného

uložení řídicího a záznamového zařízení, používaného při nárazových zkouškách, které se provádějí při homologačních testech svodidel tak, aby bylo možné pro tento typ zkoušek využít i zařízení, které není pro toto primárně určeno.

Zadavatelem této diplomové práce je TÜV SÜD Czech s.r.o. a vznikla za podpory Technologické agentury České republiky v programu Centra kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka TE01020020.

### 3 Rešerše systémů pro ovládání řízení a pohonu vozidla v laboratorních podmínkách vč. vyhodnocení nákladovosti

Systémy pro řízení a ovládání vozidla jsou takové systémy, které mají za úkol nahrazovat operátora, tedy řidiče, při testování. Ačkoli by šly moderní dopravní prostředky řídit přes sběrnici, kterou jsou dnes téměř všechny vybaveny, tyto zařízení ovládají jak pohon, tak i řízení vozidla pomocí prvků, které používá také běžný řidič. Jediným rozdílem oproti ovládacím prvkům pro řidiče je ten, že některá ovládání řízení vyžadují demontáž původního volantů.

Systémy pro řízení a ovládání vozidla se používají pro vývoj a testování podpůrných systémů řidiče, stejně jako testování samotného vozidla. Jejich další výhodou spočívá v tom, že jsou řízeny pomocí počítače a dokáží tak tedy napodobit jakýkoliv jízdní styl a přesně ho reprodukovat. Reprodukovatelnost testů je důležitá při homologačních a dalších testech, jako jsou například: testy výfukových emisí a z nich vycházející spotřeby paliva, testy životnosti techniky vozidla, testy převodových skříní, klimatické testy, ECU a TCU testy, testy pohonného ústrojí apod. Další výhodou můžeme spatřovat v tom, že mohou vozidlo přivést do jakékoliv situace a nehrozí zranění řidiče či jiné osoby ve vozidle.

Tyto systémy rozdělujeme na tři hlavní skupiny, přičemž ve své práci se budu zabývat prvními dvěma ze tří, níže jmenovaných.

- systémy pro ovládání řízení vozidla
- systémy pro ovládání pohonu vozidla
- systémy pro ovládání ostatních systémů vozidla (řadicí páka, zapalování, apod.)

Výrobci těchto systémů je většinou projektují tím způsobem, aby mohli ve vozidle fungovat jak samostatně, tak společně s dalšími systémy.

Systémy pro ovládání řízení a pohonu vozidla v laboratorních podmínkách vyrábí pouze několik výrobců. Těmi jsou například:

- Anthony Best Dynamics Ltd. [1]
- Stähle GmbH [2]

### 3.1 Výrobce Anthony Best Dynamics Ltd.

Nabídka britského výrobce Anthony Best Dynamics se skládá z šesti typů ovládání řízení a čtyř typů pro ovládání pohonu vozidla. Ovládání řízení vozidla jsou rozdělena podle typu montáže ve vozidle a dále podle točivého momentu, který dokáží přenést do řídicí tyče vozidla.

Ovládání pohonu vozidla se dělí podle typu montáže, ovládaného pedálu a typu použitého akтуátoru.

**Pro ovládání řízení vozidla společnost AB Dynamics vyrábí šest typů zařízení:**

- SR15
- SR30
- SR60
- SR60 - Torus
- SR60 - Orbit
- SR150

#### **SR15**

Tento lehký model je určen pro montáž na vozidle, bez nutnosti odmontování standardního volantu. Vozidlo může být řízeno i s nasazeným ovládacím robotem. Ovládací segment je nasazen pomocí rychloupínacích prvků, takže jej lze rychle demontovat. Tento model je vhodný pro testování pokročilých asistenčních systémů vozidla. Maximální točivý moment tohoto modelu je 20 Nm. Pro záchyt momentu je motor robota ukotven přes rameno a stojnu.



Obrázek 3.1: SR15 (zdroj:[1])

## SR30

Model SR30 využívá stejnosměrný motor s maximální produkcí 35 Nm. Tento model je nejlehčí z nabídky výrobce AB Dynamics, jenž má motor přímo napojen na řídicí tyč vozidla. Model SR30 je vhodný pro testy, kde má vozidlo sledovat předem zadanou dráhu a pro testování dynamiky vozidla. Tento model však není vhodný pro zkoušky, kde je nutno rychle měnit směr jízdy, jako je například zkouška fishhook<sup>1</sup> a sine-dwell<sup>2</sup>, a to díky jeho nízkému točivému momentu. Záchyt momentu je vytvořen pomocí dvou ramen, které přenášejí sílu dále do místa jejich úchytu.



Obrázek 3.2: SR30 (zdroj:[1])

## SR60

Model SR60 má motor připojený přímo na řídicí tyči vozidla a má maximální točivý moment 70 Nm. Robot je tedy vhodný pro testy fishhook a sine-dwell, kde jsou zapotřebí rychlejší reakce, než dokáže zajistit lidský operátor. Tento robot se převážně využívá při testech EURO NCAP<sup>3</sup>. Záchyt momentu je vytvořen pomocí dvou ramen, která jsou připevněna ve středové části vozidla (středový panel či jiný pevný záchytný bod ve vozidle).

<sup>1</sup>Test fishhook se skládá ze dvou opačných natočení volantu. První část je specifická tím, že se volant natočí na předem danou hodnotu natočení a následně se volant natočí do téměř mezní polohy natočení volantu. Změny natočení volantu způsobují změnu bočního zrychlení vozidla a následný projev ztráty stability vozidla. Více informací k testu a jeho dalším variantám naleznete v [4].

<sup>2</sup>Test se skládá ze dvou zkoušek. První je test, při kterém se zjišťuje úhel natočení volantu při kterém působí na vozidlo příčné zrychlení 0,3 g. Tento test se nazývá Slowly increasing steer test. Druhý je už samotný test Sine-dwell. Ten je navrhnut jako sinusová vlna s frekvencí 0,7 Hz a prodlevou po dosažení druhého vrcholu o délce 0,5 s. Amplituda vlny odpovídá natočení volantu, které bylo zjištěno v první části testu. Další informace jsou dostupné na [4].

<sup>3</sup>EURO NCAP je nezávislá organizace, která provádí testování automobilů z hlediska jejich bezpečnosti. Informace o této organizaci jsou dostupné na [3].





Obrázek 3.3: SR60 (zdroj:[1])

### SR60 - TORUS

Tento model je jediným řídicím robotem na světě, který díky své konstrukci může být nasazen na původní volant vozidla a přitom poskytuje stejný výkon jako model SR60. Díky zachování původního volantu a konstrukci robota je i zachována funkčnost airbagu. Ten se v případě nutnosti aktivuje skrz obruč, která je tvořena robotem. Zachování volantu je v případě testů ESC v některých vozech vyžadováno, protože bez něj nemusí být systém aktivní. Dále díky zachování původního volantu jsou zachovány i ovládací prvky volantu. SR60 - Torus využívá motor s vysoce kluzným ložiskem, který je napojen přímo na volant bez dalších převodů či spojek. Vozidlo může být řízeno manuálně i při nasazeném robotu díky obruči, která je na robotu. Jako záchyt momentu jsou využita dvě táhla, která jsou pomocí přísavek připevněna k čelnímu sklu.



Obrázek 3.4: SR60 - TORUS (zdroj:[1])

## SR60 - Orbit

Model SR60 - Orbit je uchycen stejně jako robot SR15 s tím rozdílem, že tento je namontován ze zadní strany volantu, což umožňuje normální používání volantu. Další výhodou zachování volantu je i nenarušená funkce airbagu a ovládacích prvků, které jsou umístěné na volantu.



Obrázek 3.5: SR60 - Orbit (zdroj:[1])

## SR150

Model robotu SR150 je nasazen přímo na řídicí tyči a nahrazuje tedy originální volant vozidla. Jeho maximální točivý moment je 175 Nm a je určen pro testování autobusů a nákladních vozidel bez funkčního posilovače řízení.



Obrázek 3.6: SR150 (zdroj:[1])

V tabulce 1 jsou shrnuty technické specifikace systémů pro řízení vozidla od výrobce AB Dynamics.

Tabulka 1: Parametry robotů ovládaní řízení vozidla od výrobce AB Dynamics

	SR15	SR30	SR60	SR60 - Orbit	SR60 - Torus	SR150
přímo napojený motor		x	x		x	x
možnost použití originálního airbagu	x			x	x	
vhodný pro sine-dwell / fishhook			x	x	x	
vhodný pro sledování dráhy	x	x	x	x	x	x
maximální točivý moment	20 Nm v 100°/s	33 Nm v 850°/s	70 Nm v 580°/s	70 Nm v 580°/s	85 Nm v 850°/s	160 Nm v 500°/s
jmenovitý moment	15 Nm v 500°/s	30,5 Nm v 1000°/s	60 Nm v 1300°/s	60 Nm v 1500°/s	60 Nm v 1500°/s	150 Nm v 550°/s
maximální rychlost	1000°/s až do 6 Nm	2350°/s až do 7 Nm	2500°/s až do 10 Nm	2500°/s až do 10 Nm	2500°/s až do 10 Nm	1500°/s až do 20 Nm
hmotnost motoru	5,6 kg	10 kg	12,5 kg	8 kg	10,5 kg	19 kg

**Pro ovládání pohonu vozidla společnost AB Dynamics vyrábí 4 typy zařízení.**

Ty se liší podle toho, pro který ovládací prvek jsou určeny.

Zmíněné typy jsou:

- BR - brake robot
- AR - accelerator robot
- CBAR - combined brake and accelerator robot
- CR - clutch robot

### **BR1000 Brake robot**

Základ tohoto robotu, který je určen pro brzdový pedál, tvoří lineární aktuátor se stejnosměrným motorem. Model BR1000 Brake robot dokáže působit silou až 1400 N a má maximální rychlost 800 mm.s<sup>-1</sup>. Tento model funguje tak, že lineární aktuátor přenáší sílu do ramene na němž je uchyceno i táhlo, které přímo působí na brzdový pedál. Aktuátor lze pak nasadit ve dvou polohách, které se určují podle rozměrových dispozic vozu

- *na sedadle* - aktuátor je umístěn před sedačkou a je uchycen pomocí nastavitelného rámu, který je připevněn k úchytům sedačky
- *pod sedačkou* - aktuátor je uchycen horizontálně pod sedačkou na podlaze a sedadlo je uchyceno na něm. Protože se zvýší úchytné body pro sedačku, je nutno použít sedačku s nižším sedákem

Tento robot může být nainstalován s ovládáním řízení a ovládáním pedálu akceleratoru od výrobce AB Dynamics.



(a) montáž na sedadle



(b) montáž pod sedačkou

Obrázek 3.7: BR1000 Brake robot (zdroj:[1])

### BR1000HS Brake robot

Robot BR1000HS využívá dvou paralelně uložených aktuátorů, stejných, jako jsou ty, které jsou použity na BR1000. To zaručuje sice stejnou maximální sílu, ale produkuje dvojnásobnou rychlost pohybu. Tato vlastnost je dosažena využitím přepákování, které je vidět na obrázku 3.8.



Obrázek 3.8: BR1000HS Brake robot (zdroj:[1])

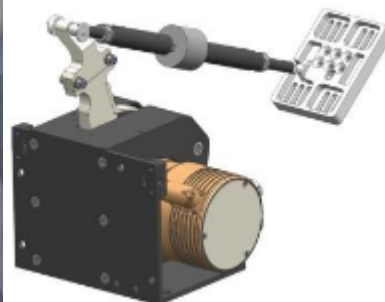
### RBR1500 Brake robot, RBR500 Brake robot

Brzdový robot RBR1500 má výkonný servopohon, který dokáže na brzdový pedál působit silou až 1500 N a vyvine rychlost až  $1000 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Tento robot funguje tak, že v prostoru před přední sedačkou je umístěn motor s pákou, na jejímž konci je umístěno táhlo, které přímo působí na brzdový pedál. Tento model může být ve vozidle namontovaný i s dalšími zařízeními pro ovládání pohonu a řízení vozidla.

Model RBR500 je rozměrově kompaktnější model, který dosahuje velkých rychlostí (přes  $1000 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ), avšak menších sil než RBR1500. Tento brzdový robot je součástí CBAR, o kterém se zmiňují na konci této podkapitoly.



(a) RBR1500



(b) RBR500

Obrázek 3.9: brzdové roboty RBR (zdroj:[1])

### AR1 Accelerator robot

Tento robot funguje na stejném principu jako robot RBR1500 Brake robot. Má tedy servomotor na kterém je rameno, na jehož konci je umístěné táhlo, které přímo ovládá pedál akcelérátoru. Model AR1 Accelerator robot může být kombinován s robotem ovládajícím řízení vozidla. Maximální síla, kterou tento robot dokáže vyvinout je 150 N a maximální rychlost je  $300 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  a maximální dráha je 130 mm. Tyto hodnoty jsou při standardní délce ramene.



Obrázek 3.10: AR1 Accelerator robot (zdroj:[1])

### CR Clutch robot

Robot ovládající spojku je dostupný ve dvou různých provedeních. První je určen pro použití se systémem CBAR a druhá varianta je pro použití s BR1000. Toto zařízení je vyvinuto pro spolupráci s robotem GR<sup>4</sup>, který zajišťuje pohyb řadící pákou. Průběh stlačování a uvolňování spojkového pedálu může být nastaven individuálně pro každé vozidlo. Tím je zajištěno to, že robot může být přizpůsoben charakteristice spojky, která je závislá na mnoha parametrech.

### CBAR Combined Brake and Accelerator robot

Tento robot je unikátní v tom, že ovládá dva prvky (pedál brzdy a akcelérátoru) pomocí jednoho servopohonu. Jeho princip je založen na tom, že pohyby servopohonu jsou směřovány pomocí spojky vždy na jeden z ovládaných prvků. Jeho maximální síla je 500 N, rychlost  $750 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  a maximální dráha pedálu je 125 mm.



Obrázek 3.11: CBAR Combined Brake and Accelerator robot (zdroj:[1])

---

<sup>4</sup>Více informací o robotu GR je na [5].

## 3.2 Výrobce Stähle GmbH

Nabídka německého výrobce Stähle GmbH se skládá z pěti robotů, které ovládají pohon vozidla a pěti robotů, které ovládají řízení vozidla. Výrobce se zaměřuje na roboty, které jsou určeny převážně pro použití ve válcových zkušebnách. Mezi jeho hlavní přednosti patří roboti pro ovládání pohonu, kteří mohou pracovat ve vozidle bez demontované sedačky řidiče.

V jeho nabídce je celkem pět robotů pro ovládání řízení vozidla.

- SSP-FrontFree
- SSP3000
- SSP-FF
- SSP3000-85/2k-HS
- SSP2000

### SSP-FrontFree

Robot SSP-FrontFree je tvořen motorem, který je namontován mimo řídicí tyč vozidla a točivý moment přenáší na volant pomocí převodu, který je tvořen velkým ozubeným kolem, které je namontováno ze zadní strany volantu a malým kolem, které je namontováno přímo na výstup z motoru. Větší ozubené kolo je na volantu přichyceno pomocí soustavy pák, které jsou pomocí šroubů přitahovány k volantu. Díky tomu, že je větší ozubené kolo dělené, lze robota nasadit ze zadní strany volantu.



Obrázek 3.12: SSP-FrontFree (zdroj:[2])

## SSP3000

SSP3000 se skládá z motoru, který je namontován v ose tyče řízení, přičemž původní volant zůstává zachován. Uchytení k volantu je provedeno pomocí kovové šablony, do které se umístí úchytné prvky podle velikosti volantu. Použitý motor se může lišit podle přesné specifikace. Motory se liší svým točivým momentem a rychlostí otáčení. Jednotlivé specifikace jsou uvedeny v tabulce 2. Díky použitému motoru, který má nízké tření, lze vozidlo ovládat i při nasazeném robotu, avšak díky jeho konstrukci je znemožněna správná funkce airbagu a přístup k ovládacím prvkům na volantu. Záchyt točivého momentu je proveden pomocí ramene, které se dále ukotví na čelním skle pomocí přísavek.



Obrázek 3.13: SSP3000 (zdroj:[2])

Tabulka 2: Parametry robotu SSP3000

verze	SSP3000-25	SSP3000-60	SSP3000-80	SSP3000-50HS
maximální točivý moment [Nm]	121	213	300	229
nomimální točivý moment [Nm] v nominálních otáčkách	28	69	93	52
nominální rychlost otáčení [°/s] v nominální rychlosti	1086	1074	1008	1480
maximální rychlost otáčení [°/s]	115	1158	1158	1680
napájení	12 V DC/ 24 V DC/ 48 V DC/ 230 V AC			

## SSP-FF

Tato verze ovládání řízení má stejné vlastnosti jako model SSP3000, pouze s tím rozdílem, že je použit slabší a menší aktuátor. Tím je zajištěna nižší hmotnost a nižší spotřeba energie.





Obrázek 3.14: SSP-FF (zdroj:[2])

### SSP3000-85/2k-HS

Tento robot dovoluje provádět standardizované testy, jako jsou J-turn<sup>5</sup>, Fishhook a je využíván v testech EURO NCAP. Motor je namontován přímo na řídicí osu bez dalšího převodu. Díky univerzálnímu úchytnému systému může být uchycen na originální volant, přičemž se tím omezí funkce airbagu. Záchyt momentu motoru je proveden pomocí tří přísavek, které se přichytí na čelní sklo testovaného automobilu.

Tabulka 3: Parametry robotu SSP3000-85/2k-HS

maximální točivý moment [Nm]	85
maximální rychlost [°/s]	2500
hmotnost [kg]	cca 9
napájecí napětí [V DC]	24

<sup>5</sup>Test J-turn je používá pro zjištění rychlosti, při které se vozidlo dostává na mez stability. Ta se projevuje buď nadzvednutím vnitřních kol vozidla nebo převrácením vozidla. Existují dva druhy tohoto testu, s brzděním, nebo bez. Základním prvkem testu je rychlé natočení volantu a následné navrácení do přímého směru. Maximální natočení volantu je až 330° a provádí se jak levou, tak i na pravou stranu. Více informací o tomto testu je v [4].



Obrázek 3.15: SSP3000-85/2k-HS (zdroj:[2])

### SSP2000

Jak je z obrázku 3.16 patrné, tento robot je složen z motoru, dále převodu a následně volantu. Volant, kterým je možno řídit vozidlo při vypnutém robotu je tedy umístěn mimo osu volantové tyče.



Obrázek 3.16: SSP2000 (zdroj:[2])

**Pro ovládání pohonu vozidla tento výrobce nabízí:**

- SAP2000
- SAP2000T
- SAP2000LC
- SAP-RAPID
- SAP-RAPID-HE-TRUCK

## SAP2000, SAP2000T, SAP2000LC

Tyto modely se liší pouze svým zaměřením. Zatímco model SAP2000 je určen pro použití na osobních automobilech, tak model s přídomkem T, je určen pro použití na nákladních automobilech a na autobusech. Přídoměk LC znamená Low Cost, jedná se tedy o verzi, která má nižší cenu. Tím jsou však omezeny některé její funkce. Výhoda těchto jednotek spočívá v tom, že všechny modely mají i ovládání řadící páky či voliče převodů. Jedná se o jednotky, které se skládají ze dvou hlavních částí - podstavy a hlavní jednotky. Nejdříve se na sedačku položí podstava a zajistí se popruhy, které jsou součástí podstavy, proti pohybu. Následně se na ni připevní hlavní jednotka, která obsahuje aktuátory. Technické informace k aktuátorům jsou uvedeny v tabulce níže.



(a) SAP2000



(b) SAP2000T



(c) SAP2000LC

Obrázek 3.17: verze robotu SAP2000 (zdroj:[2])

Tabulka 4: Parametry k robotům SAP2000, SAP2000T a SAP2000LC

celková hmotnost [kg]	cca 30
hmotnost komponentů [kg]	max. 16
pracovní napětí [V]	24
pracovní teplota [°C]	-40 - +80
aktuátor akcelérátoru	
typ aktuátoru	elektrický
pracovní zdvih [mm]	max. 150
maximální síla [N]	100
maximální rychlost [mm.s <sup>-1</sup> ]	450
aktuátor pedálu brzdy	
typ aktuátoru	elektrický
pracovní zdvih [mm]	200
maximální síla [N]	350
maximální rychlost [mm.s <sup>-1</sup> ]	300
aktuátor pedálu spojky	
typ aktuátoru	elektrický
pracovní zdvih [mm]	200
maximální síla [N]	200
maximální rychlost [mm.s <sup>-1</sup> ]	350
aktuátor řadící páky	
typ aktuátoru	elektrický
rozsah v ose x [mm]	250
rozsah v ose y [mm]	200
maximální síla [N]	250
maximální rychlost [mm.s <sup>-1</sup> ]	600

## SAP-RAPID

Tento robot má modulární konstrukci, kdy je na sedadle řidiče připevněna základní podstava pomocí vlastních popruhů. Pro zajištění dostatečné stability je základní deska tvořena dvěma částmi, přičemž se tyto části opírají jak o sedák, tak o opěradlo. Na části, která leží na sedáku, je připevněna ta část robota, která zajišťuje řazení převodových stupňů. Díky modulární konstrukci, lze robota uzpůsobit pro pravostranné i levostranné řízení. V prostoru před přední sedačkou je umístěn další modul, který je připevněn k části, jež je položena na sedáku. Tento modul má na starosti obsluhu pedálů. Pro samotné stlačování pedálů akcelérátoru a brzdy jsou použity moduly, které mají za úkol imitovat nohu řidiče, která se patou opírá o podlahu vozidla a bříšky a prsty stlačuje pedál. Jedná se tedy o desku, která je otočně v jedné ose uchycena na své spodní hraně a horní hrana je ovládána servopohonem. Na částech modulů, které se dotýkají pedálů, jsou namontovány snímače dotyku. Pedál spojky je ovládán pomocí lineárního aktuátoru. Technické parametry aktuátoru jsou v tabulce 5.

Tabulka 5: Parametry robotu SAP-RAPID

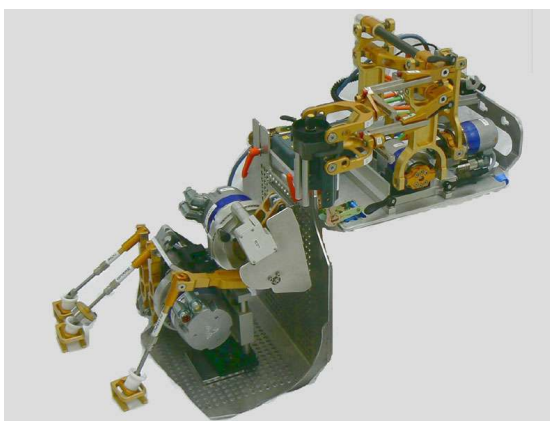
Ovládací prvek	rozsah [mm]	rychlost [mm.s <sup>-1</sup> ]	maximální síla [N]
akcelerátor	150	1000	200
brzdový pedál	150	700	350
spojkový pedál	210	1000	250
řazení osa X	200	2400	250
řazení osa Y	250	2400	250



Obrázek 3.18: SAP-RAPID (zdroj:[2])

### SAP-RAPID-HE-TRUCK

Tento model je určen pro nákladní vozidla, lehká nákladní vozidla a autobusy. Konstrukčně vychází z modelu SAP-RAPID. Oproti výchozímu modelu jsou zde využity silnější servopohony a místo lineárního pohonu pro ovládání spojky je zde využit rotační servopohon s pákou a táhlem.



Obrázek 3.19: SAP-RAPID-HE-TRUCK (zdroj:[2])

### 3.3 Vyhodnocení nákladovosti

Co se týká konkrétního dotazu na nákladovost ovládání, měl jsem možnost získat informace od výrobce Stähle GmbH. Tento mi poskytl informace týkající se robotu SAP2000.

Hardware a software, který slouží k ovládání robotu SAP2000, jež ovládá pedálovou skupinu, výrobce nabízí ve více variantách podle softwaru se kterým se systém dodává. Software se liší podle použití. Ceny a varianty jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6: Varianty a ceny řízení robotu SAP2000 Autopilot

varianta	cena [€]
Emission	89 000
Mileage	84 000
Mileage PID	73 000

Robot SAP2000, který obsluhuje pedál akcelérátoru, brzdy a spojky a řadící páku si výrobce cení na 43 000 €.

Kompletní ovládání vozidla, které dovoluje jízdu po uzavřené smyčce či sledování dané cesty a ovládá řízení, pedál plynu a brzdy, stojí i s ovládacím modulem a softwarem 165 000 €. Dodatečný modul pro toto zařízení, se kterým dokáže vozidlo udržovat stálou vzdálenost od pohybujícího se objektu, výrobce vyčíslil na částku 10 000 €.

Jednodušší verzi tohoto řídicího systému, jenž ovládá samotné řízení vozidla, výrobce nabízí za 60 000 €.

Bohužel z podkladů, které mi zaslal výrobce, nebylo možné zjistit jednotlivé typy zařízení, které jsou v těchto sestavách použity.

Ceny robotů pro ovládání a řízení vozidla od výrobce Anthony Best Dynamics Ltd. se mi podařilo zjistit pro dva jejich modely. Přesněji pro zařízení SR60 a CBAR. Cena zařízení SR60 činí přibližně 100 000 € a cena zařízení CBAR 90 000 €. Obě ceny zahrnují samotný přístroj s příslušenstvím a školení pro obsluhu zařízení.

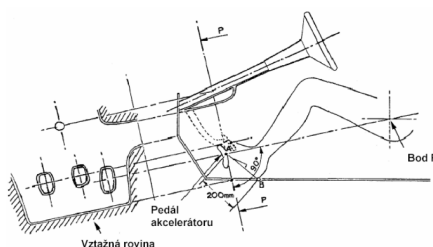
Mnou odhadovaná cena navrhovaného řízení pedálové skupiny, včetně softwaru a řízení, je 15 000 €. Pokud by došlo k poškození části zařízení (lineárního aktuátoru), výše škod by se pohybovala v řádech jednotek tisíců eur. Celková nákladovost samotné zkoušky<sup>6</sup> pro porovnání činí cca 40 000 €.

<sup>6</sup>Plánovanou zkouškou jsem zamýšlel homologační test svodidel, kde se provádí dvě nárazové zkoušky a to TB11 a TB51. Více informací o zkouškách je v kapitole 10.1.

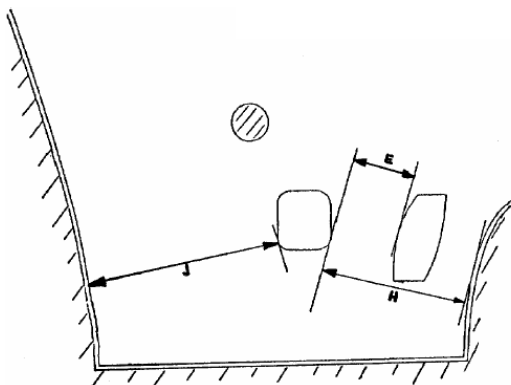
## 4 Rešerše předpisů zabývající se nožními ovladači vozidla

Předpis EHK/OSN č.35 [6], který se zabývá rozmístěním nožních ovladačů, popisuje způsob a postup pro stanovení bodu H a skutečného úhlu torza pro polohy sedění v motorových vozidlech. Tento předpis dále popisuje trojrozměrný referenční systém pro měření vozidla a jeho částí. Další část předpisu se věnuje vztažným údajům pro polohy k sezení. Poslední, a z mého pohledu nejdůležitější součástí předpisu tvoří část o geometrickém uspořádání nožních ovladačů.

V tomto předpise jsou popsány rozměry pro oba typy nožních řízení. Jak pro dva pedály (automatická převodová skříň), tak i pro tři pedály (manuální převodová skříň). Normála roviny, do které jsou pedály promítány, prochází bodem R, a bodem A, který je v místě doteku nohy s pedálem akceleračního. Místo dotyku je vzdáleno 200 mm od bodu, kde se pata dotýká podlahy vozu. Tento bod určuje výrobce vozu. Popisovaná situace je patrná z obrázku 4.1



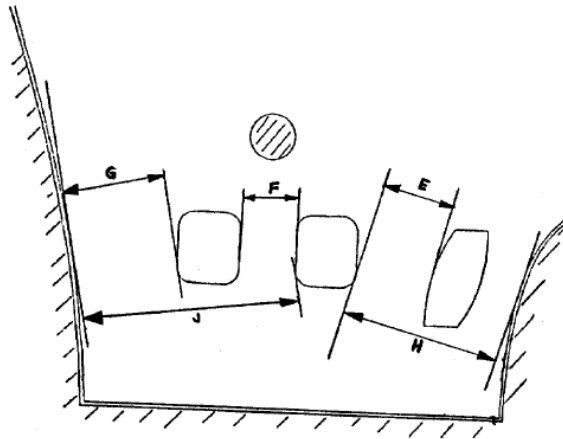
Obrázek 4.1: Uspořádání nožních ovladačů - bokorys (zdroj:[7])



Obrázek 4.2: Geometrické uspořádání dvou pedálů (zdroj:[7])

Tabulka 7: Tabulka rozměrů pro uspořádání dvou pedálů

	max [mm]	min [mm]
E	100	50
H	-	130
J	-	120



Obrázek 4.3: Geometrické uspořádání tří pedálů (zdroj:[7])

Tabulka 8: Tabulka rozměrů pro uspořádání tří pedálů

	max [mm]	min [mm]
E	100	50
F	-	50
G	-	50
H	-	130
J	-	160

Předpisy, které mají za účel určovat ovládací sílu na pedály, jsou pouze dva. A to následující: Předpis EHK/OSN č.13 [8], který je určen pro nákladní automobily, dále kategorie M1, M2, M3 a dále předpis EHK/OSN č.13-H [9], který je určena pro kategorii osobních vozidel M1.

Předpis EHK/OSN č.13 obsahuje jednotná ustanovení pro schvalování vozidel kategorie M, N a O z hlediska brzdění. Tento předpis se zabývá a popisuje zkoušky brzdění a účinek brzdových systémů. Dále pak popisuje metody pro měření náběhu tlaku pro vozidla s pneumatickými brzdovými systémy, popisuje ustanovení pro zdroje a zásobníky energie, specifické ustanovení pro pružinové brzdy, ustanovení pro systémy parkovacích brzdy a pojednává též o rozdělení brzdných sil mezi nápravy vozidel a podmínkách spojitelnosti mezi přípojným tažným vozidlem. Následně také pojednává o samotných zkouškách s vozidly, které mají různé technologie brzdových systémů a o podmínkách zkoušek přívěsů.

Z mého pohledu jsou pak pro mou práci nejužitečnější informace uvedené v odstavci 2.1.1. , kde se nachází tabulka s určením maximální síly na brzdový pedál pro kategorie M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>a N<sub>3</sub>. V tabulce jsou zobrazené parametry zkoušek pro jednotlivé kategorie vozidel.



Tabulka 9: Podmínky zkoušení provozní brzdy dle předpisu EHK/OSN č.13 (zdroj:[8])

	Kategorie vozidla	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
	Typ zkoušky <sup>7</sup>	0 - I	0 - I - III nebo IIA	0 - I	0 - I	0 - I - III
Zkouška typu 0 s odpojeným motorem	v	60 km/h	60 km/h	80 km/h	60 km/h	60 km/h
	s ≤	$0,15v + \frac{v_2}{130}$				
	d <sub>m</sub> ≥	5,0 m/s <sup>2</sup>				
Zkouška typu 0 se zapojeným motorem	v= 0,80 V <sub>max</sub> , ale ne více než	100 km/h	90 km/h	120 km/h	100 km/h	90 km/h
	s ≤	$0,15v + \frac{v_2}{103,5}$				
	d <sub>m</sub> ≥	54,0 m/s <sup>2</sup>				
	F ≤	70 daN				

- v = rychlost  
 s = brzdná dráha  
 kde: d<sub>m</sub> = střední plné zpomalení  
 F = síla působící na pedál  
 v<sub>max</sub> = maximální rychlost  
 v<sub>2</sub> = konečná rychlost

Předpis EHK/OSN č.13-H obsahuje jednotná ustanovení pro schvalování osobních automobilů z hlediska brzdění. V tomto předpisu jsou uvedeny zkoušky brzdy a účinek brzdových systémů, dále ustanovení týkající se zdrojů a zásobníků energie. Následně pojednává o rozložení brzdových sil mezi nápravy vozidel a v následujících dodatcích popisuje metody zkoušky pro pořadí blokování kol a metodu zkoušky s dynamometrickými koly. Dále popisuje podmínky, kterými se řídí zkoušky vozidel s protiblokovacími systémy. V příloze je uveden postup zkoušky brzdových obložení na setrvačnickém dynamometru a zvláštních požadavků, týkající se bezpečnostních komplexních elektronických řídicích systémů vozidel. V závěrečné příloze předpis popisuje systémy elektronické řízení stability a brzdové asistenční systémy.

Pro potřeby této diplomové práce je nejdůležitější odstavec 2.1.1, kde je uvedeno rozmezí hodnot síly na brzdový pedál, při které vozidlo deceleruje více, než je uvedeno v této tabulce. Pro uvedený parametr budu tedy projektovat zařízení, jež má za úkol ovládat pohon vozidla.

Tabulka 10: Podmínky zkoušení provozní brzdy dle předpisu EHK/OSN č.13-H (zdroj:[9])

A Zkouška typu 0 s odpojeným motorem	v	100 km/h
	$s \leq$	$0,1 v + 0,0060 v^2$ (m)
	$d_m \geq$	6,43 m/s <sup>2</sup>
B Zkouška typu 0 se zapojeným motorem	v	100 km/h
	$s \leq$	$0,1 v + 0,0060 v^2$ (m)
	$d_m \geq$	6,43 m/s <sup>2</sup>
	f	6,5 - 50 daN

v = rychlost  
 s = brzdná dráha  
 kde:  $d_m$  = střední plné zpomalení  
 F = síla působící na pedál  
 $v_{max}$  = maximální rychlost  
 $v_2$  = konečná rychlost

Ovládací síly na pedály spojky a akcelérátoru legislativně omezeny nejsou.

## 5 Rešerše předpisů zabývající se ručním řízením vozidla

Předpis EHK/OSN č.79 [10] zabývající se ovládací výbavou vozidla, definuje a popisuje řízení vozidel kategorií M a N. V předpisu EHK/OSN č.79 je stanoveno, že řízení musí zajišťovat snadné a bezpečné ovládání vozidla až do jeho maximální povolené rychlosti. V tomto předpisu je definovaný postup, jak měřit ovládací síly na volant. Zkouška pak vypadá tak, že vozidlo najíždí definovanou rychlostí (10 km/h) z přímého směru do spirály. Síla, potřebná ke změně směru, se měří na volantu, přesněji na jmenovitém poloměru ovládacího orgánu řízení, do doby, než nastavení ovládacího prvku neodpovídá poloměru zatáčení, který je uveden v tabulce 11. Sloupec v tabulce čas, určuje jak nejdéle může celý proces změny směru trvat.

Z tohoto předpisu jsem čerpal informace pro dimenzování systému pro ovládání řízení vozidla.

Tabulka 11: Podmínky předpisu EHK/OSN č.79 (zdroj:[10])

kategorie vozidla	neporušený mechanismus řízení			porucha v mechanismu řízení		
	maximální síla (daN)	čas (s)	poloměr zatáčení (m)	maximální síla (daN)	čas (s)	poloměr zatáčení (m)
M1	15	4	12	30	4	20
M2	15	4	12	30	4	20
M3	20	4	12**	45*	6	20
N1	20	4	12	30	4	20
N2	25	4	12	30	4	20
N3	20	4	12**	45*	6	20

\* - 50 pro tuhá vozidla se dvěma nebo více řízenými nápravami, s výjimkou samořízeného mechanismu

\*\* - nebo plný rejď kol, pokud nelze dosáhnout poloměru 12m

## 6 Teorie kmitavého pohybu

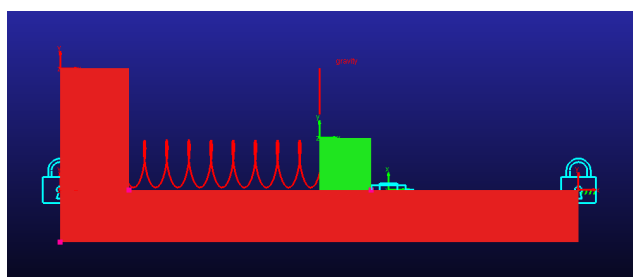
Výpočet útlumu nárazu je proveden na základě teoretického výpočtu útlumu kmitavého pohybu tělesa. V tomto případě je třeba něco říci ke kmitavému pohybu netlumenému a následně tlumenému.

### 6.1 Netlumený kmitavý pohyb

První důležitou součástí použitého názvosloví, je rovnovážný bod. Tak je označován bod, kdy na těleso nepůsobí žádná síla nebo jsou působící síly v rovnováze. Následně, pokud je těleso z tohoto bodu vychýleno se pak vzdálenosti mezi rovnovážným bodem a aktuální polohou nazývají výchylkou. Pro lepší práci je vhodné umístit počátek soustavy souřadnic do rovnovážného bodu. Výchylka bude dále značena písmenem  $y$ . Aby mohl být pohyb harmonický, využívá se vlastností pružiny, na kterou je dané těleso uchycené. Síla, která díky pružině na těleso působí, je lineárně závislá na aktuální výchylce a tuhosti pružiny. Tato síla na těleso působí proti směru aktuální výchylky v tom případě, že se pohybujeme v oblasti pružné deformace. Tato deformace se odvíjí od Hookova zákona. V modelu, který budu využívat jsem se rozhodl pracovat s kmity, které probíhají pouze na jedné ose - jednorozměrné kmity. Dráha tělesa na pružině zavěšené je shodná s osou použité pružiny. Model této situace je na obrázku 6.1. Model je ideální, tzn. mezi červenou podložkou a zeleným tělesem nedochází k žádnému tření. Sílu, kterou působí pružina na těleso, lze popsat takto:

$$F = -yk \quad (6.1)$$

$F$  = výsledná síla  
kde:  $y$  = výchylka  
 $k$  = tuhost pružiny



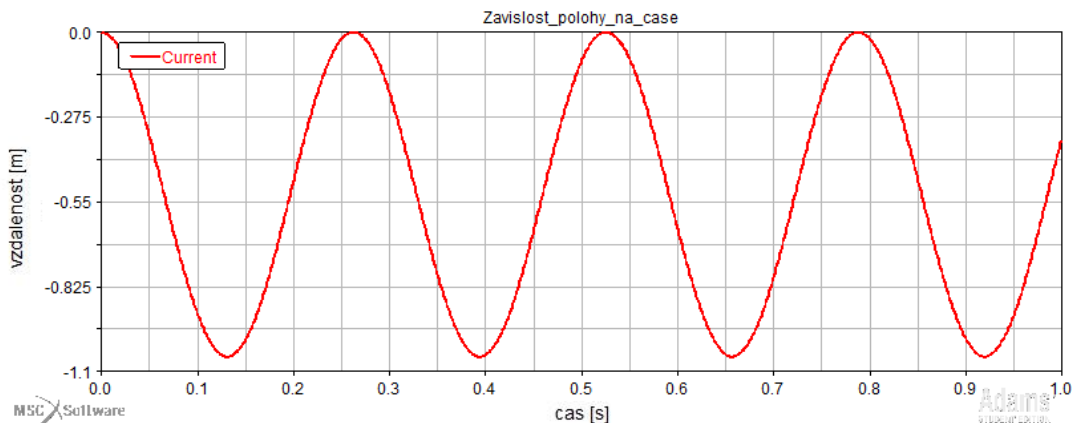
Obrázek 6.1: Model zavěšeného závaží na pružině

Pohybová rovnice celé soustavy bude mít tvar

$$m * \frac{d^2y}{dt^2} = -yk \quad (6.2)$$

$m$  = hmotnost tělesa  
 kde:  $y$  = výchylka  
 $k$  = tuhost pružiny  
 $t$  = čas

Výsledný pohyb tělesa, v závislosti na čase, má tuto podobu. Z grafu 6.2 je zřejmé, že není střed souřadného systému umístěn v rovnovážném bodu. Toto zobrazení je však při použití programu MSC Adams/view výhodnější. Na grafu můžeme vidět, že průběh má stále stejnou periodu<sup>8</sup> i amplitudu<sup>9</sup>.



Obrázek 6.2: Závislost polohy tělesa na čase

Po drobné úpravě dostaneme:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{k}{m}y = 0 \quad (6.3)$$

Ze členu rovnice  $\frac{k}{m}$  lze spočítat kruhovou frekvenci a periodu,

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow f = \frac{\sqrt{\frac{k}{m}}}{2 * \pi} \rightarrow T = \frac{2 * \pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} \quad (6.4)$$

$\omega$  = kruhová frekvence  
 $k$  = tuhost pružiny  
 kde:  $m$  = hmotnost tělesa  
 $f$  = frekvence  
 $T$  = perioda

Více informací je k dispozici na [11].

<sup>8</sup>Perioda je čas, po kterém se průběh znovu opakuje.

<sup>9</sup>Amplituda je maximální a minimální hodnotou (měřeno od rovnovážné polohy).

## 6.2 Tlumený kmitavý pohyb

Nyní se dostáváme k útlumu pohybu, který je pro mou úlohu zásadní. Útlum, nebo jinak řečeno brzdící síla, se nachází v každém styku mezi tělesy, pod pojmem třecí síla. Pro potřeby své diplomové práce jsem se rozhodl využít viskózního tření, jež je lineárně závislé na rychlosti pohybu a útlumu.

$$F_t = -B \frac{dy}{dt} \quad (6.5)$$

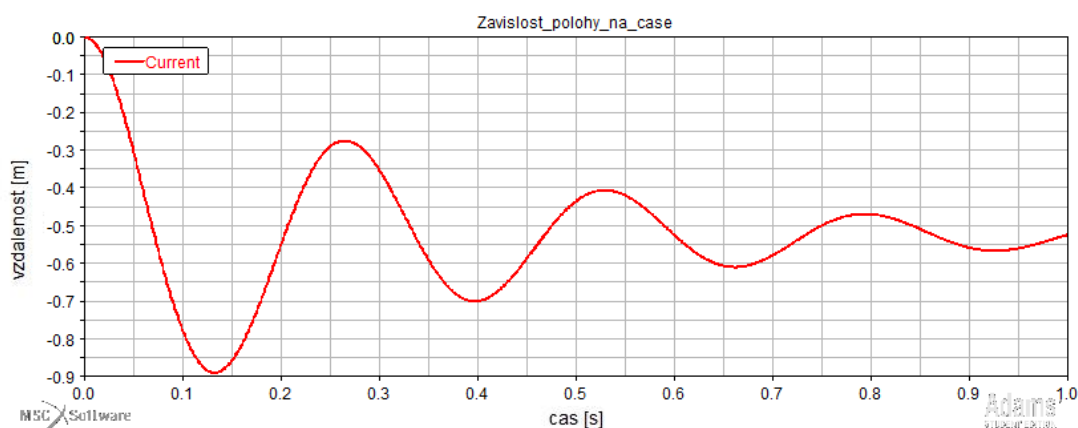
$F_t$  = třecí síla  
kde:  $B$  = útlum  
 $t$  = čas

Po připojení tlumícího členu do soustavy dostáváme silovou rovnici ve tvaru:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -yk - B \frac{dy}{dt} \quad (6.6)$$

$m$  = hmotnost tělesa  
 $y$  = výchylka  
kde:  $k$  = tuhost pružiny  
 $t$  = čas  
 $B$  = útlum

Přičemž průběh závislosti polohy závaží na čase je na grafu 6.3.



Obrázek 6.3: Závislost polohy tělesa a času - tlumený pohyb

Z grafu 6.3 je zřejmé, že tlumení způsobuje postupné snižování amplitudy, oproti grafu 6.2 kde k žádnému snižování nedochází. Obě soustavy mají stejné parametry prvků, tedy totožnou hmotnost závaží a tuhost pružiny. Dalším důležitým parametrem je konstanta útlumu  $b$ .

$$2b = \frac{B}{m} \quad (6.7)$$

Po následné úpravě má pohybová rovnice tvar:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2b\frac{dy}{dt} + \omega^2y = 0 \quad (6.8)$$

Podrobnější informace lze nalézt v [12]. Pro modelování celého systému tlumení záznamového zařízení, kde budu využívat tlumičů, jsem se rozhodl využít program od firmy MSC software Adams/view, který má vše výše zmíněné implementováno.

## 7 Použitý software

Při práci na této diplomové práci jsem využíval dvou programů pro práci s 3D modely a práci s dynamikou soustav.

První program je SolidWorks [13] od Dassault Systèmes. Ten je určen pro vytváření a práci s 3d modely a sestavami.

Druhým je Adams/view [14] od výrobce MSC Software. Tento program je vytvořen pro řešení dynamických simulací s více tělesy. Umožňuje zjistit dynamické vlastnosti pohybujících se těles jako jsou například síly, zatížení, momenty apod..

## 8 Návrh zástavby ovládání pedálové skupiny pro osobní automobil a autobus

### 8.1 Požadavky na systém ovládající pedálové skupiny v automobilu a v autobusu

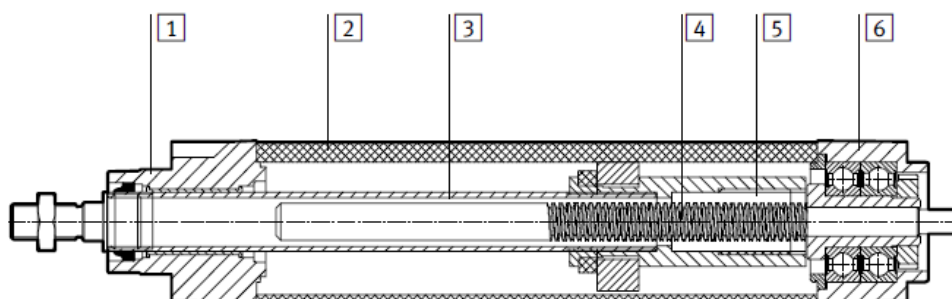
Mezi hlavní požadavky na zástavbu ovládání pedálové skupiny patří zejména možnost zařízení využívat zástavbu v různých typech vozidel, aniž by jej bylo potřeba mechanicky upravovat. Zařízení by tedy mělo být postavené co nejvariabilněji. Dále bylo hlavním požadavkem využití lineárního aktuátoru FESTO, který má již zadavatel k dispozici.

Zařízení je možno využít pro ovládání pohonu vozidla, pro udržení přesné rychlosti při nárazových zkouškách, ale také při měření emisí motorů, jak na válcové zkušebně, tak i v prostoru uzavřených polygonů. Také ho lze použít v kombinaci s ovládáním řízení vozidla, pro testování jízdních asistentů a stability vozidla. Hlavní výhodou oproti testovacímu jezdcí je pak přesná reprodukovatelnost testů.

### 8.2 Použitá sestava aktuátoru FESTO

#### 8.2.1 Aktuátor FESTO

Použitý lineární aktuátor FESTO je model DNCE-32-100-BS-"10"P-Q. Tento lineární aktuátor využívá k posunu vřeteno, které má kuličkové pouzdro. Vřeteno dále převádí otáčivý pohyb na pohyb přímočarý. Aktuátor je tvořen trubkou válce, která je vyrobena z tvárného legovaného hliníku, který je dále hladce eloxován. Trubka je z obou stran zakončena víky, které jsou vyrobeny pomocí metody tlakového lití hliníku. Jako povrchová úprava je zvoleno lakování. Vnitřní část aktuátoru je vytvořena pomocí pístnice, která je vyrobena ze silně legované nerezové oceli, vřetena a matice vřetena. Dva poslední jmenované prvky jsou vyrobeny z oceli.



(1) - přední víko, (2) - trubka válce, (3) - pístnice, (4) - vřeteno, (5) - matice vřetena, (6) - víko pohonu

Obrázek 8.1: Aktuátor FESTO v řezu (zdroj:[15])

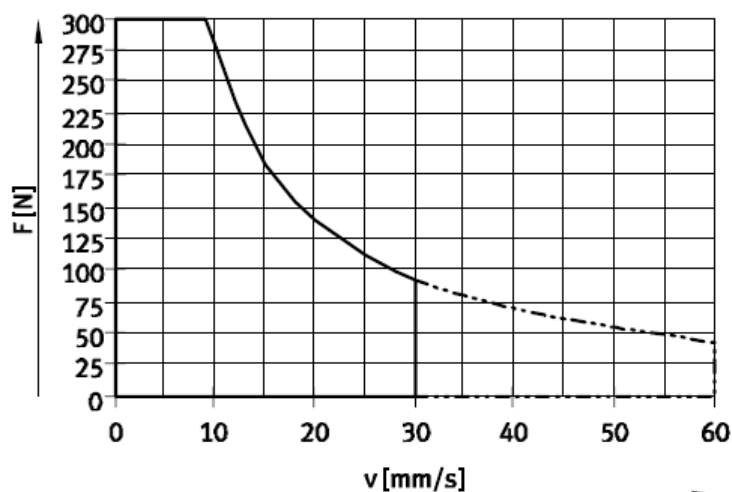


Technické informace k lineárnímu aktuátoru jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12: Technické parametry aktuátoru FESTO

parametr	hodnota
stoupání vřetena [mm/ot.]	10
průměr vřetena [mm]	10
max. statická axiální síla [N]	600
max. posuvová síla [N]	350
trvalá posuvová síla [N]	280
max. hnací moment [Nm]	0,8
moment pohonu při chodu naprázdno s axiální sadou [Nm]	0,08
trvalý hnací moment [Nm]	0,6
max. přípustná radiální síla [N]	120
max. rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]	0,5
max. otáčky [min <sup>-1</sup> ]	3000
max. zrychlení [m.s <sup>-2</sup> ]	6
vůle při změně směru [mm]	0,05
opakovatelná přesnost [mm]	±0,02

V následující tabulce je vyjádřena posuvová síla  $F$  na rychlosti posuvu  $v$ .



Obrázek 8.2: Závislost posuvové síly na rychlosti posuvu (zdroj:[15])

Použitý aktuátor nedokáže vyvinout maximální dovolenou sílu na pedál brzdy dle předpisů EH-K/OSN č.13 a 13-H, které jsou uvedeny v kapitole 5, avšak dle hodnot naměřených na pedálu

brzdy v autobuse Karosa LC 735<sup>10</sup> dostačuje pro stlačení pedálu. Pro plánované využití zástavby je však maximální síla dostatečná, protože jako primárním využitím zástavby je ovládání pedálové skupiny při měření spotřeb a dále při ovládání vozidel při testech svodidel, protože při těchto testech není nutné na pedál brzdy působit velkou silou.

Přesné specifikace použitého aktuátoru je k dispozici na [15].

## 8.2.2 Motor FESTO

Typové označení motoru je EMMS-ST-57-M-SEB-G2. Jedná se krokový motor druhé generace, který má přírubu o rozměru 57 mm a jeho konstrukční délka má označení *M*. Dále je tento motor vybavený přímým připojením k řízení, enkodérem a brzdou. Podrobné informace k dostupné na [16].

Tabulka 13: Technické parametry motoru FESTO

parametr	hodnota
napájecí napětí [V DC]	48
jmenovitý proud [A]	5
max. otáčky [min <sup>-1</sup> ]	2720
přídržný moment [Nm]	0,8
úhel pro jeden krok [°]	1,8±5%
odpor vinutí [Ω]	0,15±10%
induktivita vinutí [nH]	0,5
moment setrvačnosti pohonu [kg.cm <sup>2</sup> ]	0,29/0,3 <sup>1)</sup>
zatížení hřídele, radiální [N]	52
zatížení hřídele, axiální [N]	10
moment setrvačnosti rotoru [kg.cm <sup>2</sup> ]	0,29

1) při použití s brzdou

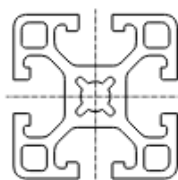
<sup>10</sup>V autobuse Karosa LC 735 bylo naměřena síla potřebná pro stlačení pedálu brzdy o hodnotě 250 N.

Tabulka 14: Technické parametry brzdy FESTO

parametr	hodnota
napájecí napětí [V DC]	24±10%
příkon [W]	8
přidržený moment [Nm]	0,4
výpočet momentu setrvačnosti [kg.cm <sup>2</sup> ]	0,01
doba odezvy/čas sepnutí [ms]	2/6
doba uvolnění [ms]	10

### 8.3 Stavebnicový systém ALUTEC

System od firmy ALUTEC má jako základní stavební část hliníkový profil. Ten se vyrábí v několika provedeních. Ty se liší podle tloušťky stěn, příčným rozměrem hrany a šířkou drážky. Jako další součást systému je rozsáhlé příslušenství (různé úhelníky, patky a panty), díky kterému lze operativně opravovat konstrukci na míru daným podmínkám. Výhodou toho systému je sestavování bez speciálních nástrojů, jako jsou například svářečské přístroje apod.. Díky tomu lze rychle a operativně měnit rozměry v konstrukcích, které jsou pomocí něj vytvořeny. Více informací o systému ALUTEC je v [17].

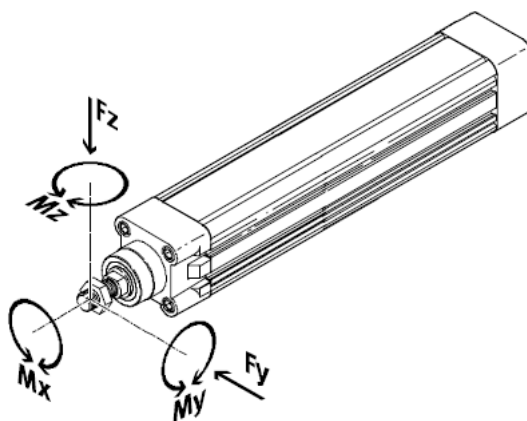


Obrázek 8.3: Schéma profilu ALUTEC (zdroj:[17])

### 8.4 Uložení aktuátoru FESTO

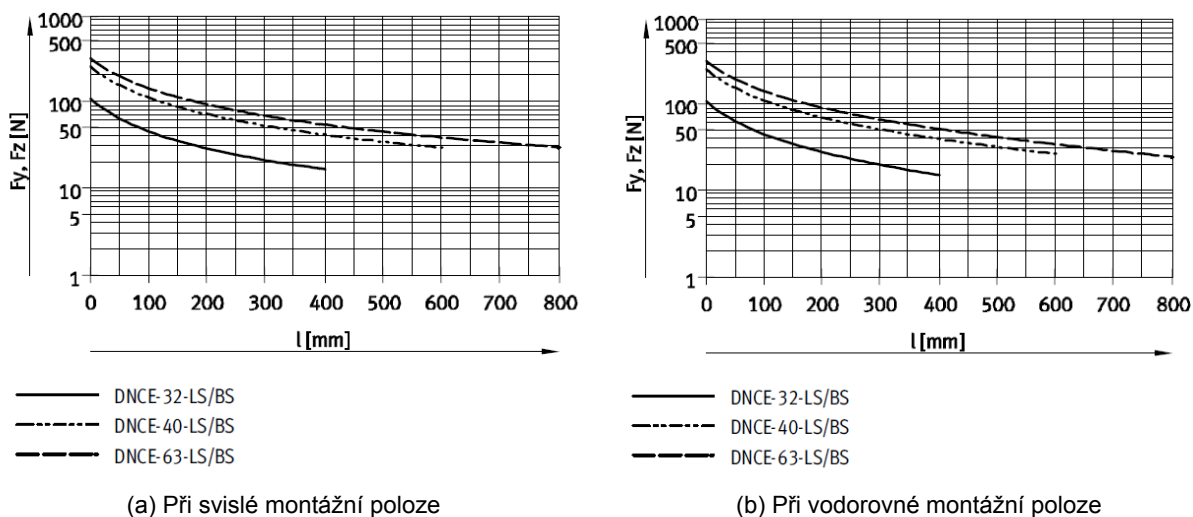
#### 8.4.1 Omezující podmínky

Při modelování uchycení aktuátoru bylo nutno počítat s omezujícími podmínkami, které vycházejí z konstrukce aktuátoru. Jednou z hlavních omezujících podmínek, je omezení síly působící na konec pístnice aktuátoru. Na následujícím obrázku jsou znázorněny síly a momenty, které mohou působit na konec pístnice aktuátoru.



Obrázek 8.4: Zatížení pístnice aktuátoru (zdroj:[15])

Toto omezení je v příslušné technické dokumentaci charakterizováno grafem, který je na obrázku 8.5. Na základě křivky pro DNCE-32-LS/BS z grafu vyplývá, že maximální zatížení plně vysunutě pístnice (100 mm) leží po odečtení z grafu nad 50 N. Toto omezení platí pro obě montážní polohy, jak svislou, tak i vodorovnou.



Obrázek 8.5: Maximální přípustné zatížení pístnice [15]

Pokud by na konec pístnice působilo více sil, musí být dodrženy následující podmínky. Hodnoty pro následující rovnice jsou v tabulce 15.

$$\frac{|Fy|}{Fy_{max}} + \frac{|Fz|}{Fz_{max}} + \frac{|My|}{My_{max}} + \frac{|Mz|}{Mz_{max}} \leq 1 \quad (8.1)$$

$$|Fx| \leq Fx_{max}; |Mx| \leq Mx_{max} \quad (8.2)$$

Tabulka 15: Maximální přípustné síly a momenty pro aktuátor

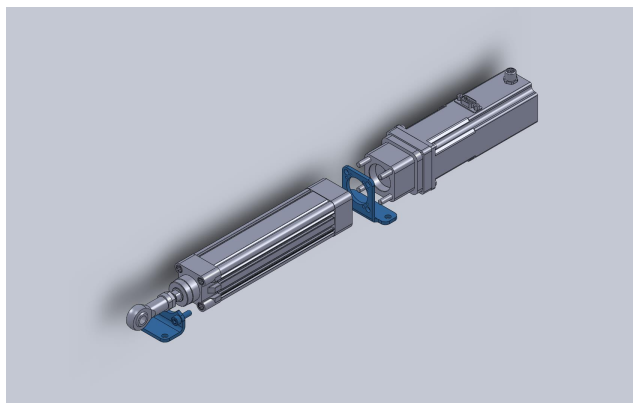
parametr	hodnota
$F_{x_{max}}$ [N]	600
$M_{x_{max}}$ [Nm]	1
$M_{y_{max}}$ , $M_{y_{max}}$ [Nm]	8

#### 8.4.2 Návrh uložení

Při návrhu uložení aktuátoru jsem vycházel z následujících podmínek:

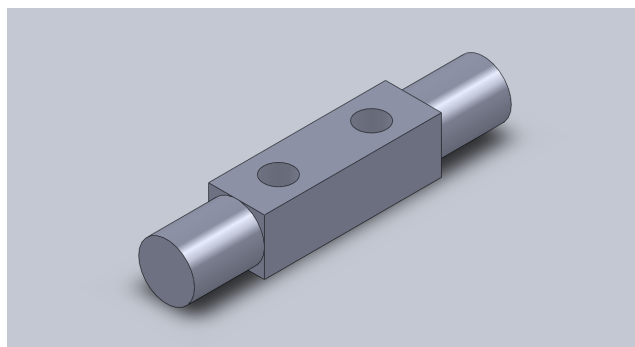
- dráha ovládacího pedálu není přímka. Pedál při svém pohybu opisuje část kružnice. Aktuátor tedy musí být uložen na otočném kloubu
- aktuátor musí být uchycen tak, aby na konci pístnice nevznikaly síly a momenty větší než dovoluje výrobce - kapitola 8.4.1
- nízká finanční náročnost vzhledem k plánovanému využití zástavby (crashtesty)
- využití již zakoupených prvků pro uchycení aktuátoru a následné sestavování návrhu z jednoduše vyrobitelných součástí s minimem obrábění, sváření a ohýbání.

Při návrhu uložení, jsem použil patkové upevnění HNCE pro axiální montáž motoru ze sortimentu FESTO, které má již zadavatel zakoupen. Poloha a uchycení jsou patrné z obrázku 8.6. Prvky uchycení jsou zvýrazněny modře a pro větší názornost jsou okolní části celku aktuátoru od modulů uchycení oddáleny.



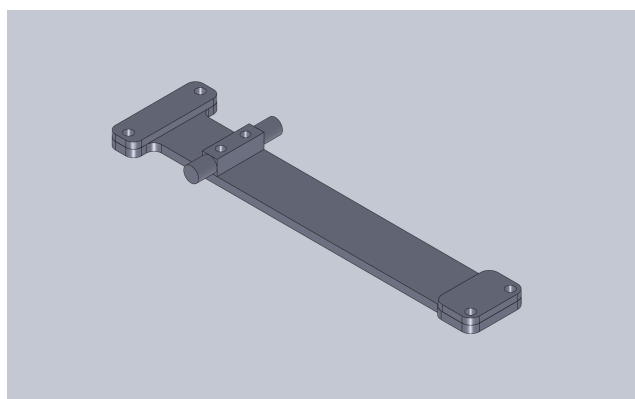
Obrázek 8.6: Patkové upevnění HNCE pro axiální montáž motoru

Uchycení na otočný kloub je vytvořeno přes nosič, který je přes podložky přišroubován k patkovému uchycení. Podložky jsou zde umístěny proto, aby vznikl prostor mezi tělem aktuátoru a jejím nosičem pro umístění osy, která je na obrázku 8.7. Osa má na krajích čepy, na kterých se celá sestava aktuátoru a nosiče otáčí. Na obrázku 8.8 je znázorněna sestava nosiče s podložkami a osou s čepy.



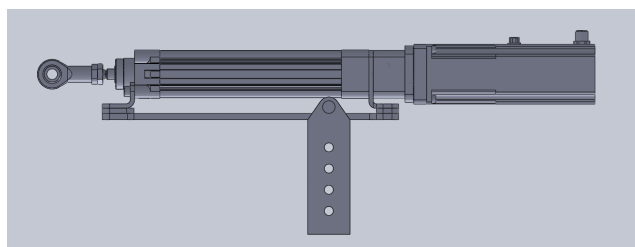
Obrázek 8.7: Detail osy

Rozšíření na okrajích nosiče aktuátoru je zde použito proto, aby svým tvarem kopírovalo dose-  
dací plochy patkového uchycení aktuátoru FESTO. Zúžení ve střední části je zvoleno z důvodu  
použitého systému ALUTEC tak, aby nebylo nutno umísťovat podložky pod úchyt čepů. Díky  
zvolenému profilu ALUTEC s délkou hrany 40 mm a šířce střední části nosiče, vznikne mezi  
nosičem a úchytem na každé straně mezera 1,5 mm.



Obrázek 8.8: Sestava nosiče aktuátoru

Celá sestava aktuátoru je znázorněna na obrázku 8.9. Na obrázku je zachycen také čep a jeho  
úchyt. Uchycení je přišroubováno k profilu ALUTEC s rozměry 40 mm x 40 mm. Proto jsou  
otvory na úchytu o průměru 8 mm a jejich rozteč je 20 mm.



Obrázek 8.9: Sestava aktuátoru s nosičem

Pro omezení momentu na konci pístnice je použita klubová hlavice.

Kompletní výkresová dokumentace sestavy nosiče a úchytu nosiče je uvedena v příloze 2.

## 8.5 Návrh zástavby ovládání pedálové skupiny pro osobní automobil

Zástavbu jsem navrhl pro vozidlo Škoda Rapid r.v. 2012. Dne 23.11.2014 jsem provedl naměření interiéru vozidla, tak abych mohl vytvořit virtuální model, který jsem potřeboval pro další návrh zástavby.

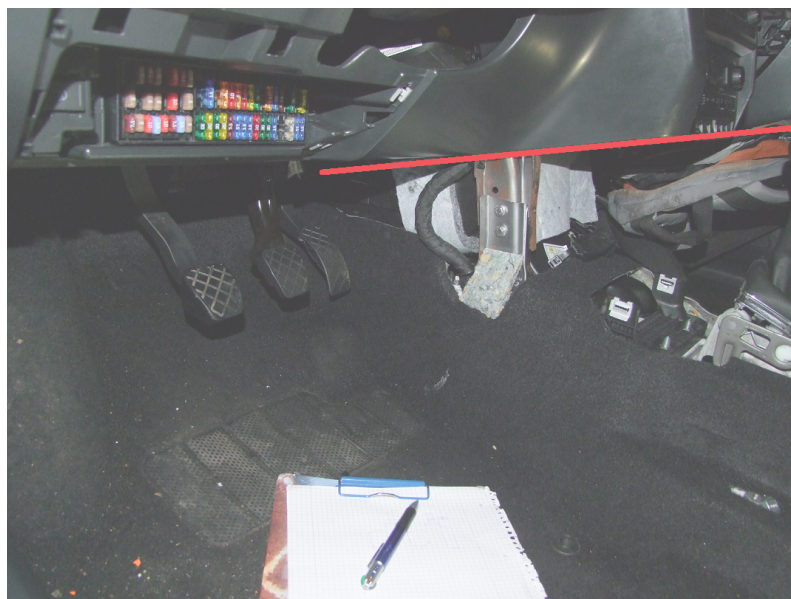


Obrázek 8.10: Škoda Rapid (zdroj:[18])



Obrázek 8.11: Fotografie z měření interiéru Škody Rapid

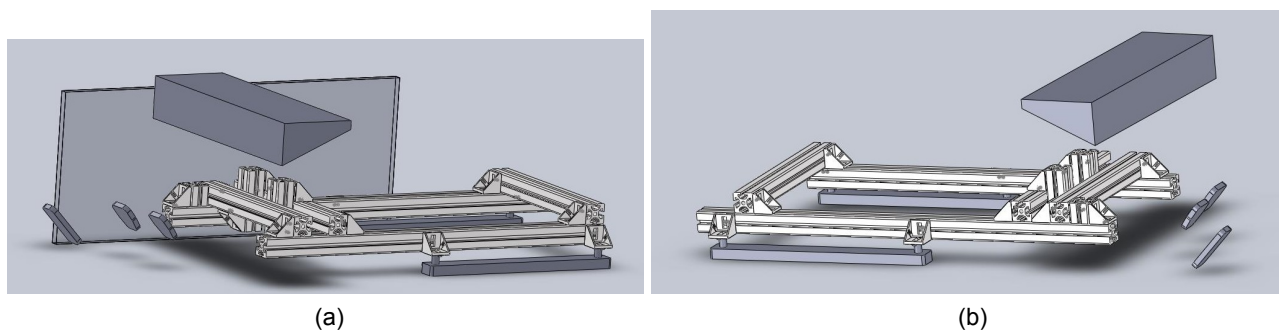
Vzhledem k tomu, že navrhovaný systém má být použit i při nárazových testech, zvolil jsem pevné uchycení zástavby pomocí úchytných míst sedadla řidiče, jelikož tato úchytná místa zajišťují dostatečně pevné uchycení ke karoserii vozu. Dalším důvodem bylo to, že dvojice úchytných míst vždy spojuje pomyslná čára, která je rovnoběžná s podélnou osou vozu. Tato dispozice poskytuje vhodné úchytné místo pro podélníky zástavby. Jako omezující prvky interiéru jsem zvolil středový tunel a spodní hranu přístrojové desky. Ta je zvýrazněna na obrázku 8.12.



Obrázek 8.12: Limitní plocha pro zástavbu

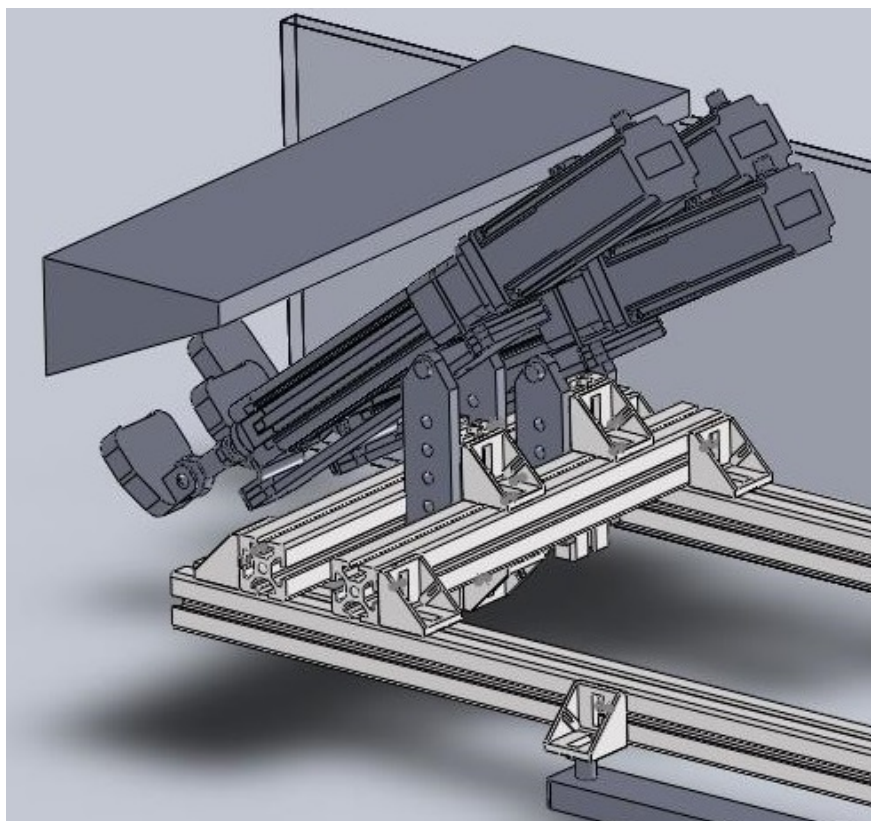
Na úchytná místa originální sedačky jsou přes distanční podložky nainstalovány úhelníky ze systému ALUTEC. Distanční podložky jsou v zástavbě umístěny proto, že úchytná místa jsou pod úrovní koberce vozidla. Na ty jsou následně připevněny dva podélníky, které jsou v přední části spojeny dvěma příčnými. Na nich jsou již svisle namontovány profily ALUTEC, na kterých jsou připevněny úchyty nosiče sestavy aktuátoru. Na obrázku 8.13 je zobrazena konstrukce ze systému ALUTEC a na obrázku 8.14 je kompletní zástavba řízení pohonu vozidla. Celková hmotnost bez sestavy aktuátoru a jeho uložení činí 7,7 kg.

Kompletní výkresová dokumentace je v přílohách 2 a 3.



Obrázek 8.13: Konstrukce se systémem ALUTEC





Obrázek 8.14: Kompletní zástavba pohonu vozidla

## 8.6 Návrh zástavby ovládní pedálové skupiny pro autobus

Naměření pro zástavbu probíhalo na autobuse Karosa LC 735, který se běžně používá k testování záchytných systémů.



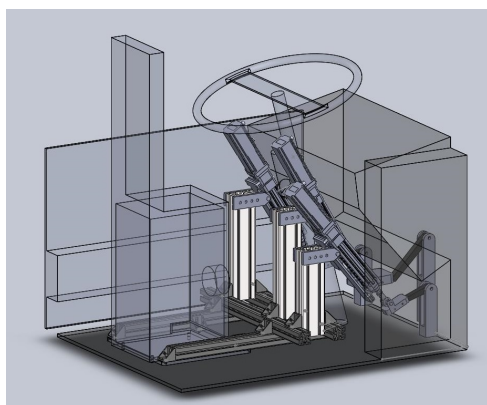
Obrázek 8.15: Karosa LC 735



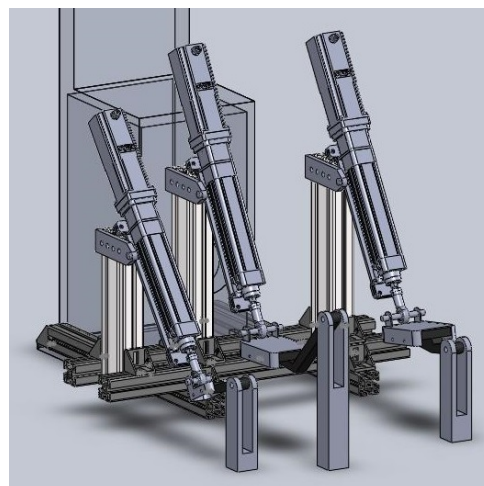
Obrázek 8.16: Fotografie z měření interiéru Karosy LC 735

Obdobně jako na osobním automobilu, jsou jako úchytná místa zvoleny úchyty řidičovy sedačky. Ta však nemůže být z důvodu těsnosti pneumatického okruhu vyjmuta z vozu, takže se pod ní pouze vsune plechová šablona, která vytvoří úchytná místa mimo půdorys sedačky. Následně jsou na úchytná místa připevněny profily ALUTEC v podélném směru. V jejich přední části jsou příčně umístěné profily, které mají za úkol držet dvojité profily rozměru 80 mm x 40 mm, na kterých jsou následně přišroubovány úchyty pro sestavy aktuátoru. Úchyty i sestavy aktuátorů jsou z ekonomických důvodů stejné jako v zástavbě osobního automobilu. Zástavba je zobrazena na obrázku 8.17. Hmotnost zástavy bez aktuátorů a jejich uložení činí 20,3 kg.

Kompletní výkresová dokumentace se nachází v přílohách 2 a 4.



(a)



(b)

Obrázek 8.17: Zástavba ovládání pohonu autobusu

## 9 Návrh zástavby ovládání řízení pro osobní automobil a autobus

### 9.1 Požadavky na systém ovládající řízení automobilu a autobusu

Základní podmínkou, kterou bylo nutné splnit, byl dostatečný točivý moment na výstupu zařízení. Ten se odvíjí jak od naměřených hodnot<sup>11</sup>, tak z kapitoly 5. Další podmínkou byla kompaktní stavba zařízení a snadná montáž na vozidle bez nutnosti trvalých zásahů do konstrukce řízení. V neposlední řadě musel být kladen důraz samozřejmě i na ekonomickou stránku zástavby.

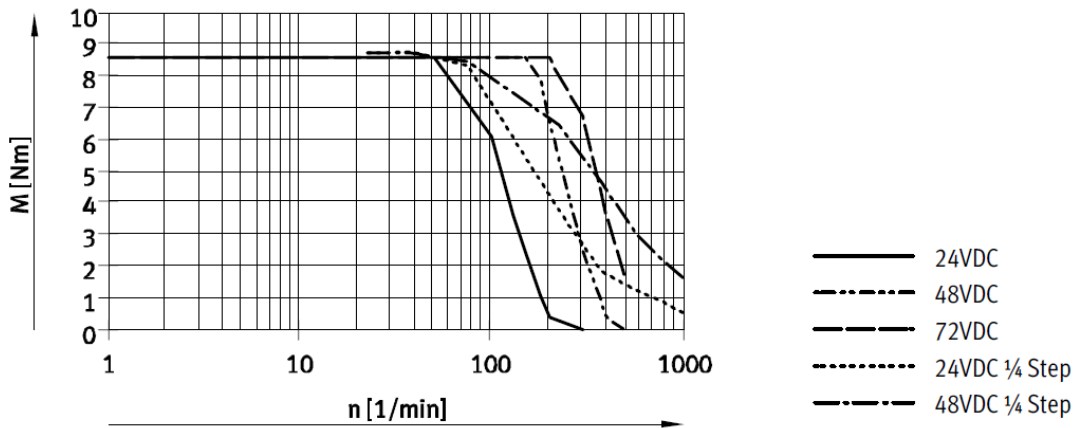
Výsledné zařízení by mělo být používáno primárně pro nárazové zkoušky, kdy je potřeba kupříkladu autobus navést po předem stanovené dráze do překážky. Dále může být použito i pro zkoušky jízdní stability a testování jízdních asistentů. Zařízení by mohlo být využito taktéž při dlouhodobém testování vozidel na polygonech apod.. Výhoda elektronického ovládání řízení spočívá především v tom, že je možné plně nahradit testovacího jezdce a následně tedy je možné testy opakovat vždy za stejných podmínek.

### 9.2 Použitý krokový motor FESTO

Základním požadavkem na krokový motor je hodnota točivého momentu při přijatelných otáčkách. Nedostatečný točivý moment by se sice mohl znásobit dostatečným převodem, avšak následně by vznikl problém s rozměry převodu. Malé ozubené kolo má mít podle doporučení [19] počet zubů mezi 15 až 24. Podle tohoto doporučení je tedy i definována velikost velkého ozubeného kola při požadovaném převodu. Tím pádem je však na krokový motor kladen i požadavek na dostatečnou rychlost otáčení, která se musí i po zpřevodování dostatečně rychle otáčet řídicím prvkem vozidla.

Krokový motor, který jsem vybral splňuje výše uvedené požadavky. Jedná se o model FESTO EMMS-ST-87-L. Jeho maximální točivý moment 8,5 Nm až do 160 otáček za minutu při napájení 48 V DC. Průběh točivého momentu je znázorněn na obrázku 9.1.

<sup>11</sup>Naměřené hodnoty jsou k dispozici pouze pro autobus Karosa.



Obrázek 9.1: Průběh točivého momentu v závislosti na otáčkách (zdroj:[16])

Výhodou tohoto krokového motoru je i to, že ho lze snadno připojit k zařízení NI CompactRio, které je použito pro jeho řízení. Více informací k CompactRio je v podkapitole 10.2. Kompletní dokumentaci ke krokovému motoru FESTO lze nalézt na [16].

### 9.3 Návrh zástavby ovládání řízení pro osobní automobil a autobus

Při řešení zástavby jsem zpracoval dva návrhy. Návrh č.1 jsem však přestal vyvíjet z důvodů, které jsou uvedeny v podkapitole 9.3.1 a začal jsem vytvářet návrh s jiným přístupem.

#### 9.3.1 Návrh č.1

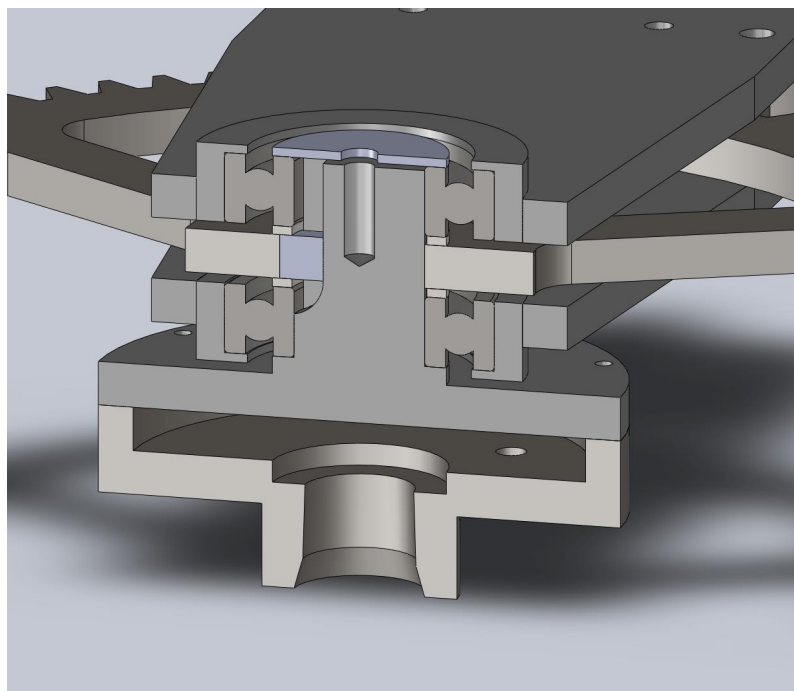
Na volant zkoušeného vozidla by byl připevněn věnec s ozubením, a na tomto věnci by byl pohyblivě připevněn modul s motorem. Nevýhodou tohoto řešení by byla však vysoká hmotnost a složitý systém připevnění i samotné vycentrování věnce s modulem motoru. Naopak výhodou tohoto řešení je velký převodový poměr a tím pádem by se mohl použít motor s nízkým točivým momentem a dále také možnost zachování původního volantu na vozidle. Rozpracovaný návrh je na obrázku 9.2.



Obrázek 9.2: Rozpracovaný návrh ovládání řízení vozidla

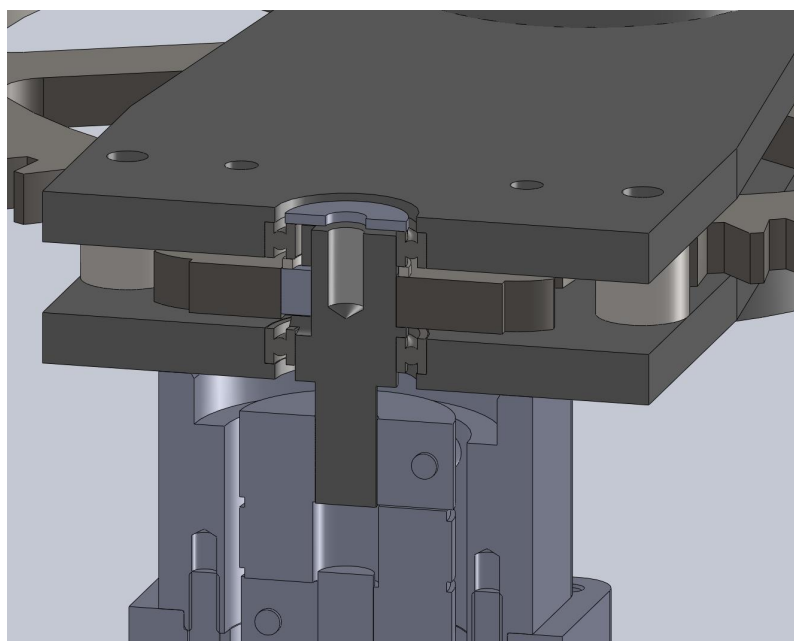
### 9.3.2 Návrh č.2

Zde jsem využil originální příruby volantu, která dosedá na volantovou tyč vozu. Na originální přírubu je připevněna kruhová příruba, která je uložena v ose volantové tyče a následně hřídel, která je uložena v dvojici ložisek. Příruba je rozdělena z důvodu nutnosti upevnění příruby k volantové tyči vozu. Spojení obou částí je provedeno pomocí přírub, které mají tvar odsazení trubky. Odsazení jsou k sobě připevněny pomocí šesti šroubů, které jsou po jeho obvodu. Situace je zobrazena na obrázku 9.3. První ložisko je uloženo ve spodní základní desce, následně je na ose distanční podložka, které vymezuje vůli mezi ložiskem a sekundárním ozubeným kolem. Dále je na hřídeli druhá distanční podložka a ložisko, které je uloženo v horní základní desce. Pro zamezení pohybu ozubeného kola proti ose je v drážkách obou součástí umístěno pero. Pohled na celou situaci je na obrázku 9.3.



Obrázek 9.3: Pohled na uložení sekundárního ozubeného kola v řezu

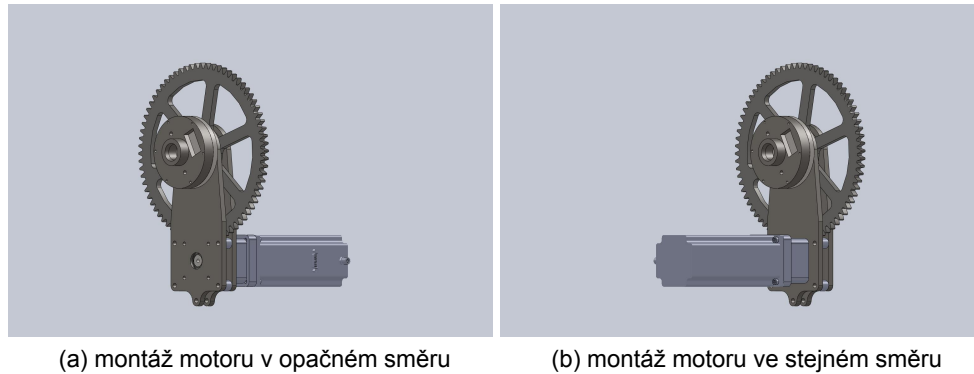
Primární ozubené kolo je uloženo na hřídeli, která je z obou stran uložena v ložiskách, které jsou umístěny v obou základních deskách. Axiální vůle je z jedné strany vymezena pomocí distanční podložky a z druhé pomocí odsazení na hřídeli. Situace je na obrázku 9.4. Na jedné straně je hřídel zúžen na průměr spojky<sup>12</sup>, která je z příslušenství k motoru FESTO. Vzájemná poloha osy a primárního ozubeného kola je stejně jako v případě sekundárního kola, zajištěna perem, které je v drážkách obou součástí.



Obrázek 9.4: Osa sloužící k připojení pohonu

<sup>12</sup>Jedná se o typ EAMM-A-D60-87A.

Výhoda symetricky uložené hřídele, jež drží primární ozubené kolo, spočívá v tom, že v případě potřeby ji lze po rozložení zařízení otočit, a tím lze i motor nasadit z opačné strany. Tato možnost je zobrazena na obrázku 9.5. Pro tento účel jsou na obou základních deskách připravené úchyty pro spojku motoru.



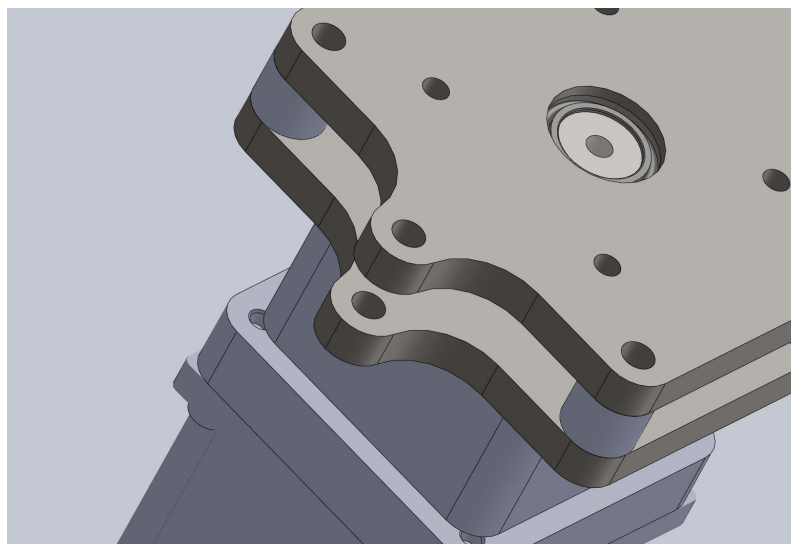
Obrázek 9.5: Možné polohy motoru na zařízení

V sekundárním ozubeném kole jsou otvory nejen z důvodu odlehčení, ale též proto, že zároveň poskytují i prostor pro sešroubování příruby na volantové tyči a hřídele sekundárního ozubeného kola.

Jako modul čelního ozubení jsem zvolil 4 a šířky kola 10 mm<sup>13</sup>. Výhodou tohoto řešení je možnost použití jiného převodu, za současného zachování rozteče mezi osami ozubených kol. Dále lze vyměnit krokový motor za jiný z řady EMMS-ST-87-x z nabídky firmy FESTO. Tato výměna je omezena pouze použitou spojkou, která je určena pro tyto krokové motory.

Pro záchyt reakce točivého momentu jsou obě základní desky vybaveny okem, které jsou umístěny za spojkou pro motor ve směru od sekundárního ozubeného kola.

<sup>13</sup>Modul tvoří poměr počtu zubů a roztečné kružnice. Modul je jedním ze základních údajů o ozubeném kole. Modul by se dále měl ověřovat spolu s šířkou ozubeného kola pomocí výpočtu, který je například uveden [20], avšak tato problematika je mimo rozsah této diplomové práce.



Obrázek 9.6: Pohled na záchyty momentu

Dále je nutno zařízení ukotvit do vozidla, aby nevznikal moment na uchycení volantu. Ukotvení je možné přes záchyty momentu a je možno buď přes ocelová lanka nebo přes závitové tyče k ovládání pohonu vozidla nebo k jinému pevnému bodu v interiéru vozidla.

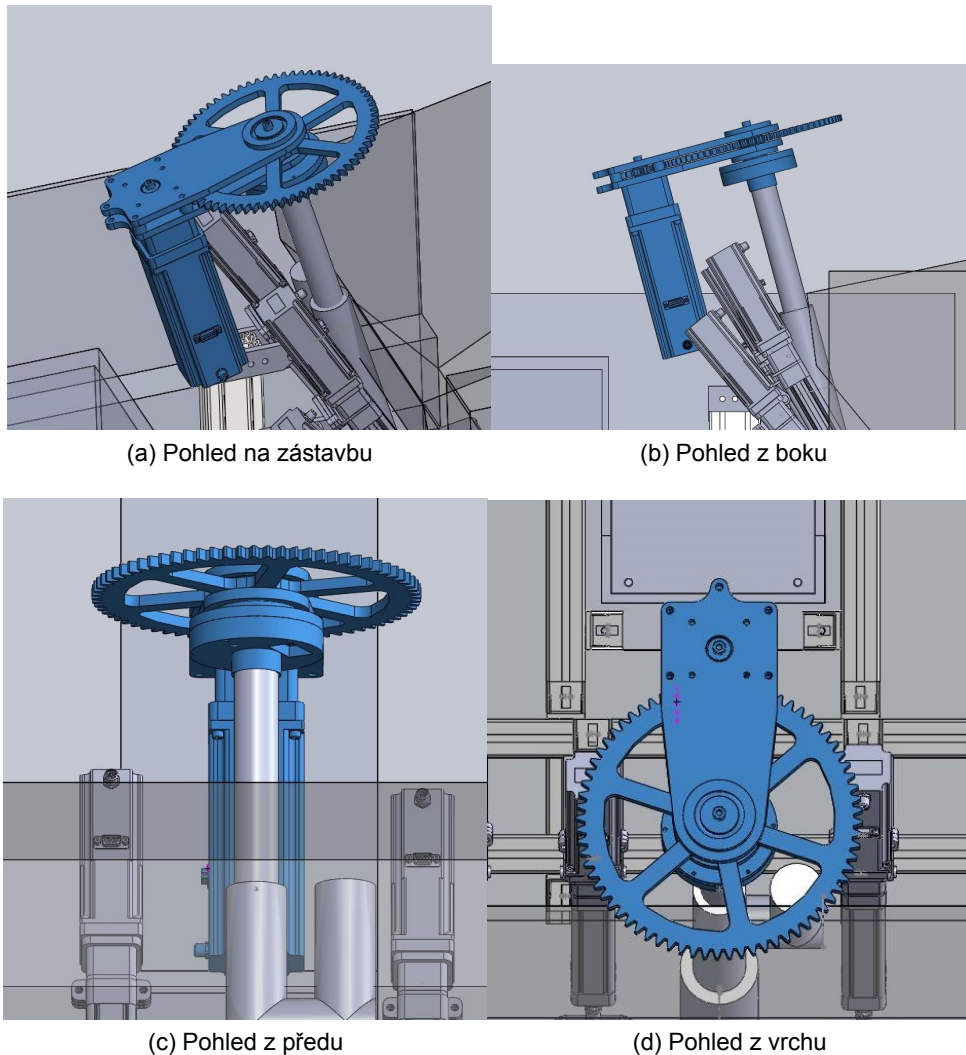
Kompletní výkresová dokumentace je v příloze 1.

Obě zástavby, jak do osobního automobilu, tak do autobusu, jsou totožné z důvodů úspory financí. Liší se pouze v použité přírubě, jež je nasazena na volantové tyči. V obou se využívá krokový motor FESTO model EMMS-ST-87-L. Velkou výhodou tohoto motoru je jeho velký točivý moment při otáčkách, které i po zpřevodování dostačují k otočení volantu alespoň o 200° za sekundu. Krokový motor dokáže vyprodukovat při napájení 48 V točivý moment 8,5 Nm při dosažení 160 otáček za minutu. Z toho po přepočtu vyplývá, že za sekundu se motor otočí 2,67krát, tedy se otočí o 961°. Při použitím převodu 4:1 je na výstupní hřídeli rychlost otáčení cca 240 stupňů za sekundu. Výsledné hodnoty jsou tedy 240°/s při 34 Nm. Výsledné parametry navrženého řešení jsou v tabulce 16.

Tabulka 16: Tabulka technických parametrů zástavby ovládání vozidla

maximální rychlost [°/s]	240
maximální točivý moment [N.m]	34
hmotnost [kg]	16





Obrázek 9.7: Zástavba řízení ovládání do autobusu Karosa

Tyto hodnoty jsou dostatečné pro otočení volantu v autobuse Karosa, kde bylo naměřena potřeba 120 N na rameni 0,26 m. Zjištěné hodnoty byly naměřeny na suché pryžové podložce. Výsledný moment potřebný pro otočení na autobuse Karosa je tedy 31,2Nm.

Točivý moment zařízení je dostatečný pro měřený autobus Karosa LC 735, stejně jako je, podle tabulky z předpisu EHK/OSN č.79, která je uvedena v tabulce 11, dostatečný i pro osobní automobily (s řízením s poruchou, i s řízením bez poruchy).

## 10 Určení parametrů pro uložení zařízení

Při určení parametrů uložení zařízení jsem vycházel z několika podmínek, jež mi zadal zadavatel diplomové práce:

- navržené uložení by mělo být použito při crashtestech, které jsou popsány v podkapitole 10.1
- zařízení, které má být chráněno má hmotnost 5 kg

### 10.1 Popis crashtestů, na které by se dané zařízení mělo použít

Uložení záznamového a ovládacího zařízení by mělo být použito při nárazových testech, které jsou v ČSN EN 1317-2 popsány pod jmény TB 11 a TB 51 [21].

Zkouška TB 11 probíhá tím způsobem, že osobní vozidlo o celkové hmotnosti 900 kg naráží do svodidla pod úhlem 20° při nárazové rychlosti 100 km/h. Při druhé zkoušce TB 51 pak naráží autobus o celkové hmotnosti 13 000 kg do svodidla pod úhlem 20° při rychlosti 70 km/h. Přehled parametrů dalších zkoušek je v tabulce 17 .

Tabulka 17: Nárazové zkoušky svodidel (zdroj:[21])

zkouška	rychlost při nárazu [km/h]	úhel nárazu [°]	celková hmotnost vozidla [kg]	kinetická energie $E_k$ [kJ]	typ vozidla
TB 11	100	20	900	40,6	osobní
TB 21	80	8	1300	6,2	osobní
TB 22	80	15	1300	21,5	osobní
TB 31	80	20	1500	43,3	osobní
TB 32	110	20	1500	81,9	osobní
TB 41	70	8	10000	36,6	nákladní
TB 42	70	15	10000	126,6	nákladní
TB 51	70	20	13000	287,5	autobus
TB 61	80	20	16000	462,1	nákladní
TB 71	65	20	30000	572,0	nákladní
TB 81	65	20	38000	724,6	nákladní s přívěsem

### 10.2 Popis řídicích jednotek a záznamového zařízení ovládacího systému

Záznamové a řídicí zařízení je typu CompactRIO-9074 od výrobce National Instruments. Jedná se konfigurovatelný ovládací a záznamový systém, kterým lze doplňovat moduly, díky kterým

lze zpracovávat data v různých formátech a komunikovat nebo řídit ostatní příslušenství. Přídavné moduly například zajišťují vstup a výstup napětí a proudu, měření teploty, digitální vstup a počítadlo, digitální výstup a pulsní generátor, spínání pomocí relé, zpracování dat z akcelerometrů a mikrofonů, časování a synchronizaci, pohyb, komunikaci pomocí různých protokolů (LIN, DeviceNet, PROFINET, PROFIBUS, CANopen, CAN a sériový), řízení motorů a připojení datových úložišť apod..



Obrázek 10.1: Zařízení National Instrument cCompactRio-9074 (zdroj:[22])

Použitý model cRIO-9074 je vybaven 8-mi sloty pro přídavné moduly, procesorem o pracovní frekvenci 400 MHz, FPGA<sup>14</sup> typu Spartan-32M a vnitřní paměť o velikosti 256MB. Dále je CompactRio vybaveno dvěma porty 10/100BASE-TX Ethernet port a jedním sériovým portem RS232. Napájecí napětí přístroje se může pohybovat mezi 19-30 V stejnosměrného napětí. Kompletní dokumentace je k dispozici na [22].

Důležitými údaji, z technických specifikací, jsou údaje o rázech a vibracích. Ty uvádějí, že zařízení vydrží přetížení 30 g po dobu 11 ms pulsínu a 50 g, po dobu až 3 ms pulsínu, podle normy IEC 60068-2-27.

---

<sup>14</sup>Programovatelné hradlové pole.

## 11 Návrh uložení záznamových a řídicích jednotek

Vzhledem k tomu, že na chráněné zařízení působí v okamžiku nárazu zrychlení, která jsou mimo limity dovolené výrobcem, uvedené v kapitole 10.2), musel jsem navrhnout zařízení, které má za úkol snížit hodnotu zrychlení, které působí na chráněné zařízení.

Při řešení problému jsem nejdříve zamýšlel využít vhodnou tlumící hmotu (pryže, pěnový polyuretan atd.), avšak následně jsem v důsledku nedostatku informací musel zvolit jiný postup, který mohu ověřit pomocí počítačové simulace. Rozhodl jsem se tedy využít teleskopické tlumiče, u kterých se dá nastavit hodnota útlumu a následně s nimi pracovat v programu Adams/view.

V návrh jsem uvedl dvě možnosti tlumení v podélném směru. Důvodem k vytvoření dvou variant zařízení je i to, že mám k dispozici záznam přetížení pouze z jednoho crashtestu. Hodnoty přetížení v tomto konkrétním crashtestu mohou být výjimečně nízké. Také se mohou měnit vstupní veličiny jako například typ crashtestu nebo hmotnost chráněného zařízení.

Pro utlumení nárazu jsem navrhl dva typy zařízení, které se liší tlumením podélného směru. První varianta je určena pro zadaný náraz, a druhá je pro případy kdy by se například zvětšila hmotnost chráněného zařízení nebo bylo očekávané větší zrychlení při nárazu.

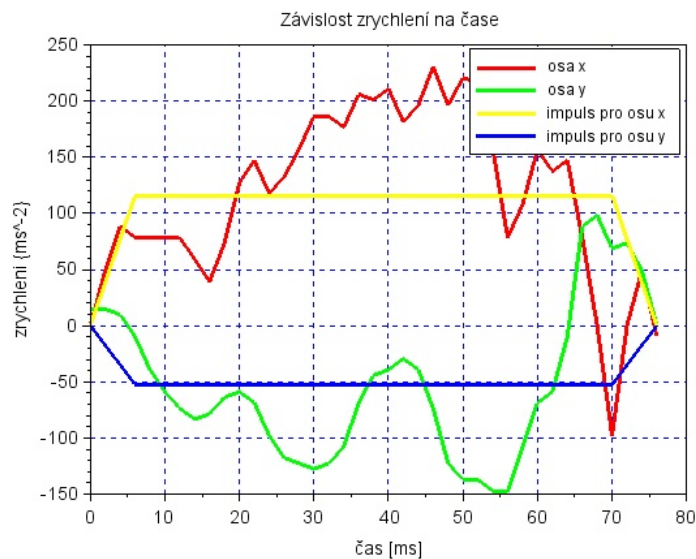
### 11.1 Podmínka správné funkčnosti

Závěr, jestli na zařízení nevznikne větší zrychlení než dovoluje výrobce, budu ověřovat podle podmínky, jež říká že zařízení vydrží 30 g po dobu 11 ms pulsínu. Tato podmínka bude dodržena, pokud pod výslednou křivkou zrychlení nebude v žádném jejím místě v intervalu 11 ms plocha větší, než je pod křivkou pulsínu s amplitudou 30 g s trváním 11 ms.

### 11.2 Model v programu MSC Adams/view

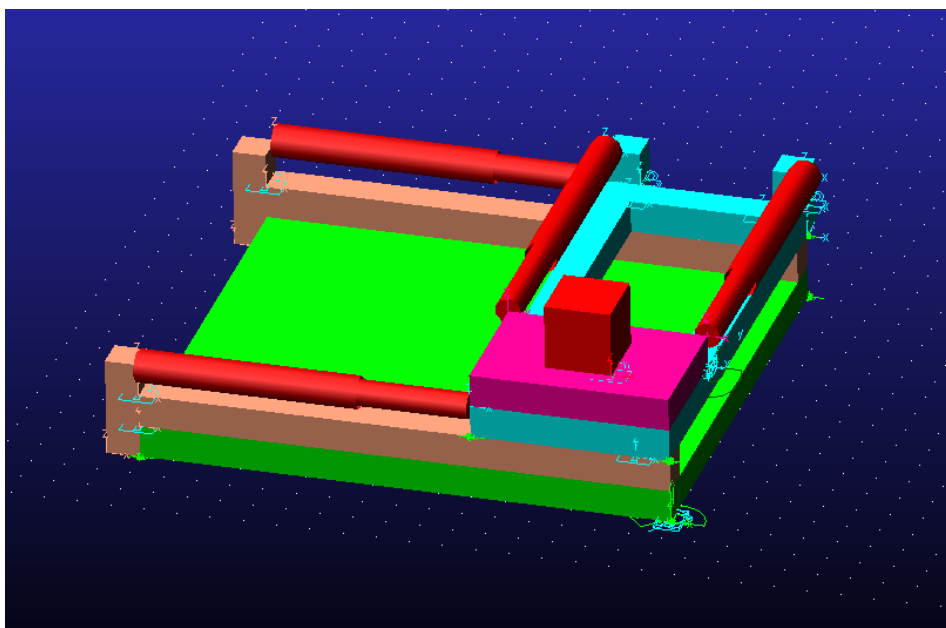
Model při svém návrhu procházel vývojem. K tomuto docházelo z toho důvodu, že se v průběhu modelace v softwaru SolidWorks určovaly hmotnosti jednotlivých dílů a při tom se v softwaru MSC Adams/view zjišťovala potřebná dráha pro utlumení nárazu. Na základě těchto dat se dále upravoval model v SolidWorks a následně opět testoval v MSC Adams/view.

Pro testování modelů jsem určil průběhy zpomalení, které jsem vytvořil podle podkladů, které mi byly poskytnuty zadavatelem diplomové práce. Průběhy přetížení jsem získal ve formě obrázku a po přenesení dat do pc jsem určil oblast, kde proběhl náraz. Z přeneseného průběhu jsem vytvořil impuls, podle kterého následně zpomaloval rozšířený model v jednotlivých osách. Impuls jsem vytvořil tak, že jsem z průběhů pro jednotlivé osy vypočítal průměr a následně jsem tuto hodnotu přiřadil velikosti impulsu. Náběh a doběh jsem následně určil tak, aby kopíroval náběh v ose  $y$ . Osou  $x$  je osa procházející podélnou osou vozidla a osa  $y$  příčnou. Výsledné impulsy jsou spolu s původními průběhy zřetelně vidět na obrázku 11.1



Obrázek 11.1: Průběh zrychlení ve vozidle s impulsy

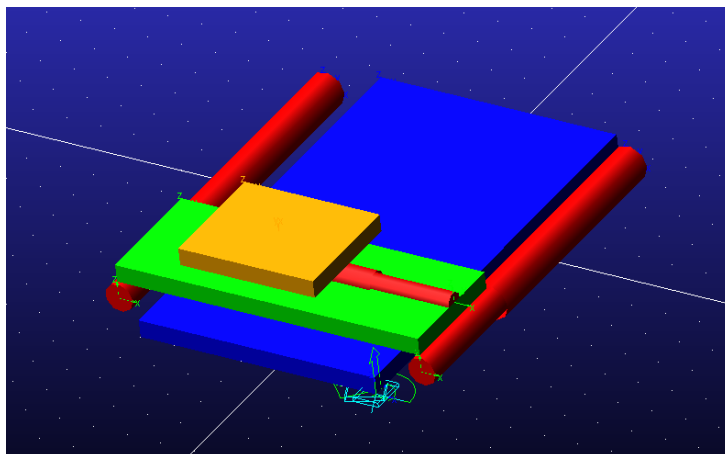
První model vznikl pro ověření správnosti způsobu tlumení a je vyobrazen na obrázku 11.2. V modelu se počítá s využitím dvou tlumičů pro podélný i příčný směr tlumení. Jelikož tento model byl spíše pracovní, nebudu se o něm dále zmiňovat a rovnou přikročím k modelu, který popisuje navržené řešení.



Obrázek 11.2: Rozšířený model v softwaru MSC Adams/view

Finální model v programu Adams/view vznikl již podle konkrétních dat, zjištěných z modelu, který jsem vytvořil v SolidWorks. V modelu jsou tedy správně nastaveny rozměry a hmotnosti všech součástí. V Adams/view bohužel nebylo možné vytvořit kladku, kterou jsem použil ve druhé variantě tlumení, jelikož studentská verze softwaru, který mám k dispozici k realizaci své

diplomové práce, nedovoluje provádět simulace s takto velkými modely (lano je tvořeno velkým počtem malých těles a studentská verze podporuje pouze sestavy do 20 těles). Pro obě varianty jsem vzhledem k jejich malým rozdílům využíval stejný model. Model je zobrazen na obrázku 11.3.



Obrázek 11.3: Přesný model zařízení

V modelu jsou reprezentovány tři hlavní části návrhu, spodní, střední a vrchní část. Spodní část je spojena se střední částí pomocí dvou tlumičů. Mezi spodní částí a prostředím se nachází planární vazba. Ta má nastavenou nulovou rotaci a zpomalení v jednotlivých osách v souladu s daty, které jsem získal z průběhů zpomalení od zadavatele.

Střední část je spojena se spodní i s vrchní částí, pomocí posuvných vazeb. Každá z těchto vazeb nicméně dovoluje pohyb v jiném směru. Vazba, jenž spojuje střední část se spodní, dovoluje pohyb ve směru podélném a vazba jenž spojuje střední část s vrchní zas dovoluje pohyb ve směru příčném. V tomto směru je zde i umístěn tlumič, který zde má za úkol tlumit příčnou složku nárazu.

Vrchní část pak reprezentuje chráněné zařízení a vrchní část tlumícího systému.

Všechny tři části mají rozměry a hmotnosti částí, které mají reprezentovat. Hodnoty jsou použity z návrhu v softwaru SolidWorks, který je popsán v kapitole 11.3. Vstupní hodnoty jsou tedy následující:

Tabulka 18: Vstupní hodnoty do modelu

hmotnost spodní části [kg]	21
hmotnost střední části [kg]	8,5
hmotnost horní části vč. chráněného zařízení [kg]	9,6

Pomocí modelů jsem určoval potřebný útlum tlumičů v obou směrech tlumení při zadaném zpomalení. Dále jsem sledoval dráhu, kterou těleso při tlumení nárazu urazí.

### 11.3 Návrh uložení

Jedním z hlavních parametrů uložení jsou rozměry prostoru, ve kterém bude zařízení umístěno. Jelikož jsou pro testy používány osobní automobily ze segmentu B, provedl jsem pro zjištění rozměrů prostoru pro zástavbu přeměření několika vozů. Při měření jsem měl posunutá přední sedadla do přední polohy a zadní opěradla byla složena. Podélný rozměr byl měřen od hrany zavazadlového prostoru až k opěradlu přední sedačky. Příčný rozměr byl měřen v nejužším místě mezi zadními blatníky. Měřené rozměry jsou zobrazeny na obrázku 11.4. Zelená čára na obrázku znázorňuje podélný rozměr a oranžová příčný. Naměřené údaje jsou uvedeny v tabulce 19.



Obrázek 11.4: Měřené rozměry zavazadlového prostoru se sklopenými zadními sedadly

Tabulka 19: Tabulka rozměrů zavazadlového prostoru měřených vozů

výrobce	model	rok	podélný rozměr [cm]	příčný rozměr [cm]
Fiat	Punto	2003	140	110
Daewoo	Matiz	2002	120	110
Volkswagen	Lupo	2004	110	95
Škoda	Felicia	1999	140	90

Podle uvedených rozměrů jsem se rozhodl zvolit rozměry pro uložení zařízení 120 cm pro podélný směr a 90 cm pro směr příčný. Jako hlavní prvek uložení jsem se rozhodl použít kalibrované hliníkové desky o tloušťce 10 mm. Ty poskytují dostatečnou pevnost a zároveň jsou i lehké oproti deskám z ocele. Jelikož to jsou desky, lze z nich i snadno vytvořit požadovaný tvar pomocí frézy s vodním paprskem.

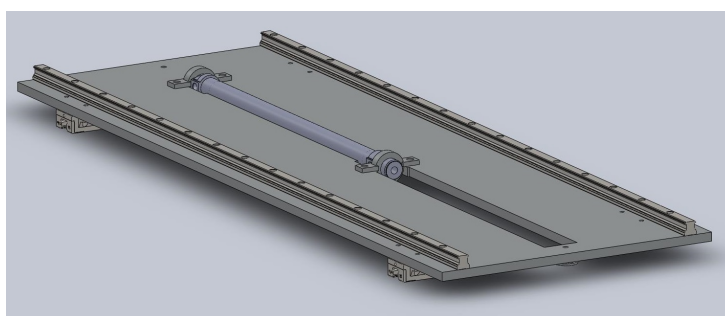
### 11.3.1 Popis řešení uložení

Jak již jsem zmínil v úvodu této kapitoly, rozhodl jsem se vytvořit dva typy tlumícího zařízení, které se od sebe liší pouze tlumením v podélném směru. Nejdříve popíši společné části a následně se zaměřím na rozdíly obou řešení.

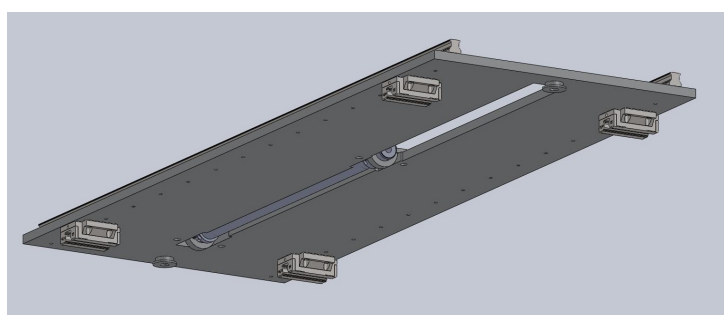
#### Celkový popis

Navržené uložení se skládá z tří částí, přičemž spodní část obsahuje kolejnice systému lineárního vedení. Dále obsahuje sestavu tlumení podélného směru, které se však liší podle varianty a jsou blíže popsány v podkapitolách 11.3.3 a 11.3.4. Ve spodní části zařízení jsou otvory, které jsou z důvodu odlehčení.

Střední část obsahuje ze spodní strany vozíky lineárního vedení. Z vrchní strany obsahuje kolejnice pro horní část systému tlumení a ve svém výřezu obsahuje kruhový válec FESTO, který má za úkol tlumit pohyb v příčném směru. Tlumič je umístěn ve výřezu s důvodu snížení výšky celého zařízení. Tlumič se bude při tlumení vysouvat, aby se omezil možný vzpěr.



(a) Vrchní pohled

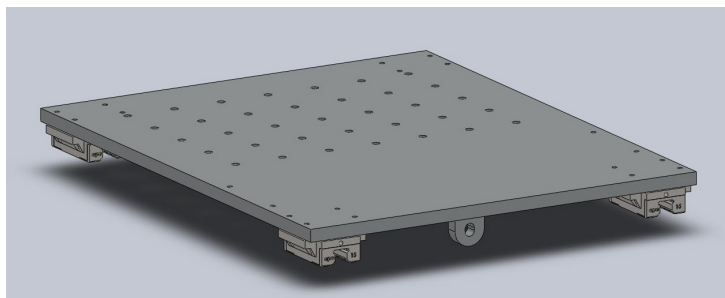


(b) Spodní pohled

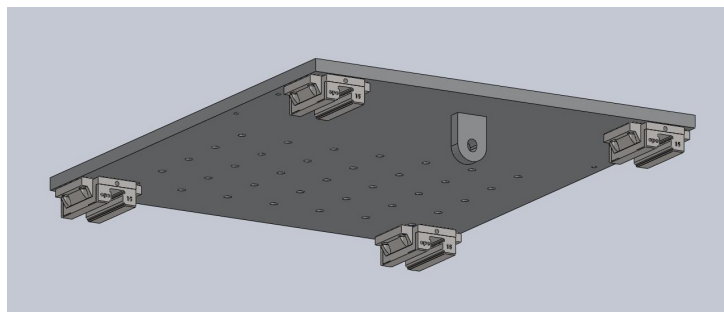
Obrázek 11.5: Střední část systému

Vrchní část obsahuje ze spodní strany pouze vozíky systému lineárního vedení a přírubu pro uchycení pístitnice. Plocha pro tlumivé zařízení má rozměr 330 mm na délku a 400 mm na šířku. Dále jsou v desce připraveny úchyty pro systém CompactRio a další otvory pro uchycení dalších systémů.





(a) Vrchní pohled



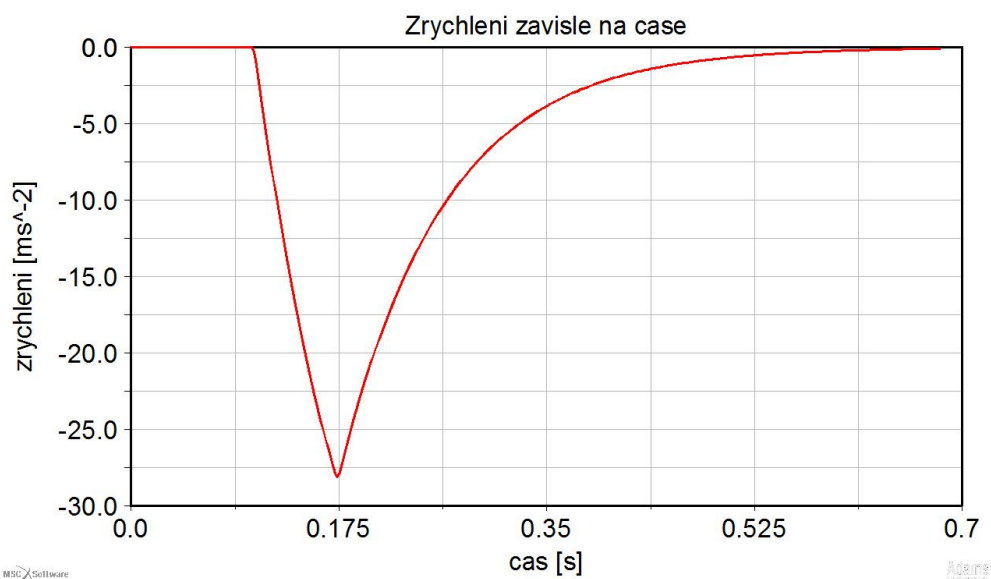
(b) Spodní pohled

Obrázek 11.6: Vrchní část systému

Celková dráha, kterou může tlumené zařízení urazit v příčném směru, je maximálně 320 mm.

### 11.3.2 Tlumení příčného směru

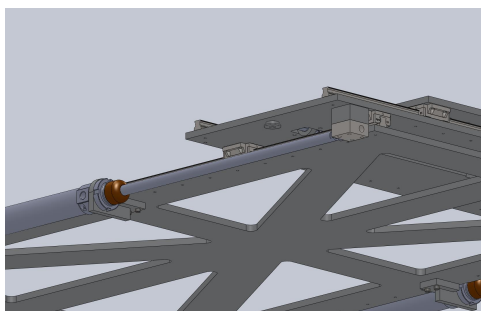
Vzhledem k tomu, že v příčném směru nepůsobí na chráněné zařízení tak velké zrychlení, zvolil jsem jednoduchou montáž tlumiče. Z rozměrových dispozic vozů, kterou jsou zmiňovány v kapitole 11.3, jsem jako maximální prostor pro celou sestavu tlumení příčné složky nárazu určil 900 mm. Při modelování v softwaru Adams/view tlumič nastavil na útlum  $110 \text{ N.s.m}^{-1}$  a výsledné maximální zrychlení je  $-26 \text{ m.s}^{-2}$ . Průběh zrychlení je znázorněn na obrázku 11.7.



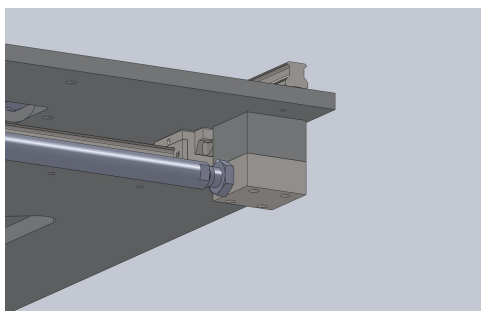
Obrázek 11.7: Průběh zrychlení v příčném směru

### 11.3.3 Tlumení v podélném směru - varianta 1

Varianta 1 je vyznačuje tím, že k tlumení v podélném směru zajišťují dva paralelně umístěné tlumiče se zdvihem 500 mm. Jejich těla jsou uchycena na spodní části tlumícího zařízení a pístnice je uchycena ke střední části. Pro případ neočekávaného průběhu zrychlení při nárazu jsou těsně před koncovou polohou (zasunutá pístnice) tlumičů umístěny na pístnici pryžové dorazy, které mají za úkol zmírnit případný náraz. Díky nim se i sníží použitelná délka pístnice o délku dorazu. V mém případě jsem si délku dorazu zvolil 20 mm. Konec pístnice je uchycen přes spojovací element ke střední části. Celý systém tlumení v podélném směru je zobrazen na obrázku 11.8. Detail uchycení pístnice je zobrazen na obrázku 11.9.

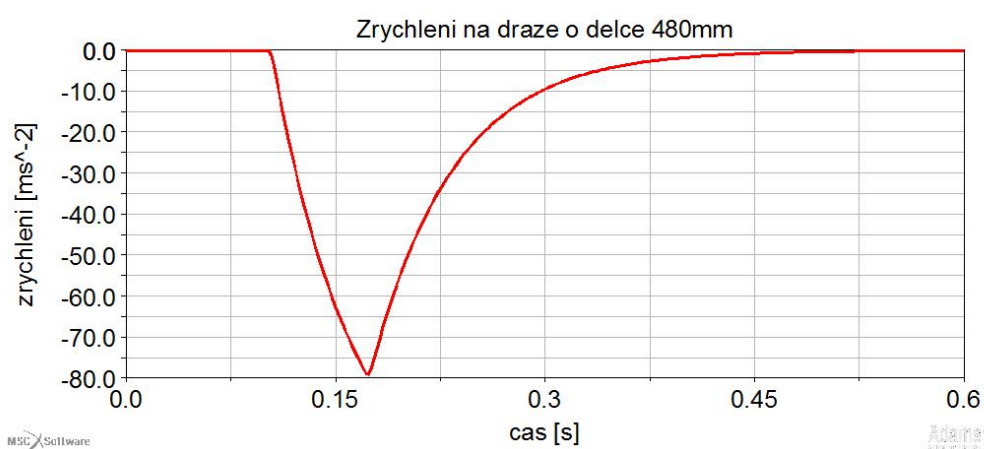


Obrázek 11.8: Systém tlumení v podélném směru - varianta 1



Obrázek 11.9: Detail uchycení pístnice ke střední části

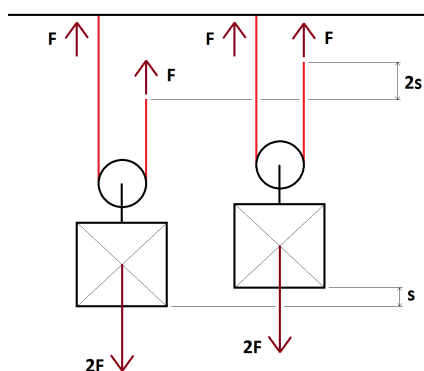
Výsledné utlumení v podélném směru má hodnotu  $-79 \text{ m.s}^{-2}$  při nastaveném útlumu  $155 \text{ N.s.m}^{-1}$  pro každý tlumič zobrazeno na obrázku 11.10



Obrázek 11.10: Zrychlení v podélném směru při celkové dráze tlumení 480mm

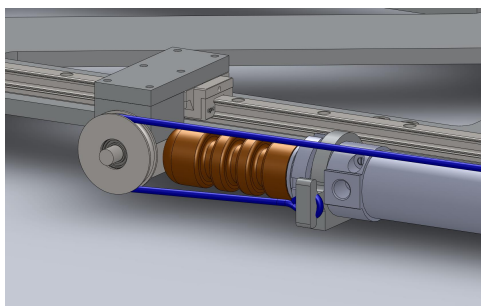
### 11.3.4 Tlumení v podélném směru - varianta 2

Ve druhé variantě jsem se rozhodl využít kladky. Při využití volné kladky je možno využít delší dráhy pro utlumení, avšak za cenu použití tlumičů jiným útlumem oproti variantě 1. Na obrázku 11.11 je vysvětlen princip volné kladky.



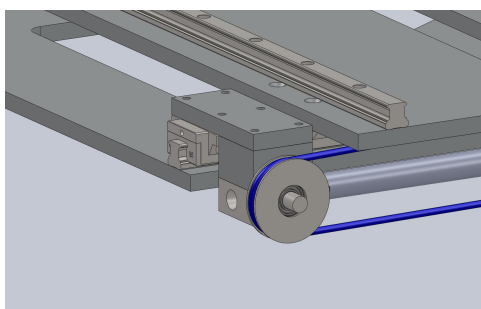
Obrázek 11.11: Princip volné kladky

Jelikož může střední část díky konstrukci tlumení a rozsahu tlumiče urazit delší vzdálenost, než pro kterou jsou připraveny kolejnice, je třeba rozsah tlumiče zkrátit. Pro zmenšení rozsahu jsem se rozhodl využít pryžový doraz, který se používá například na tlumiči automobilu, který nejen že zmenší rozsah, ale zajistí také utlumení případného rázu při neočekávaně velkém zrychlení při nárazu. Na obrázku 11.12 je zobrazena popisovaná situace.

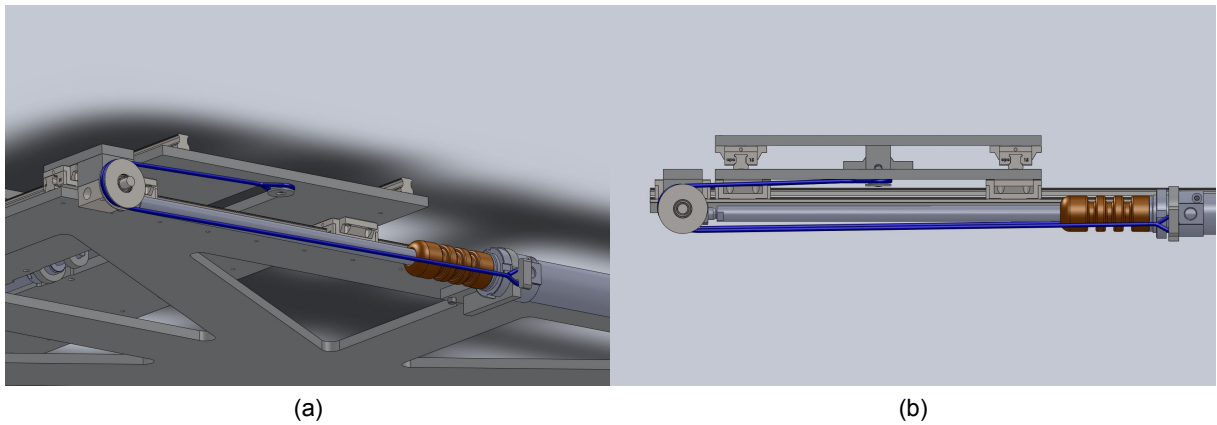


Obrázek 11.12: Aplikace dorazu

Převod kladkou je vytvořen tak, že na konci pístu tlumiče je umístěna kladka, přes kterou je vedeno lanko. Jeden konec lanka je uchycen na stejné konstrukci jako tělo tlumiče, následně je lanko vedeno přes kladku a nakonec je uchyceno na střeni části. Tímto jsem dosáhl toho, že se dráha tlumeného tělesa prodlouží. Dále musí být konec pístnice fixován tak, aby při nárazu vozidla do překážky nevznikla na její konci taková radiální síla, která by poškodila pístnici. Tato fixace je provedena tím způsobem, že na kolejnici k lineárnímu vedení je umístěn vozík, na kterém je uchycen přes spojovací element konec pístnice k kladkou. Situace je zachycena na obrázku 11.13. Jelikož tlumený vozík nevyužije celou délku kolejnice z důvodu konstrukce tlumení, tak lze vozík, jež fixuje konec pístnice, umístit před tlumený vozík. Při následném pohybu je dráha tlumeného vozíku dvakrát větší než dráha konce pístnice, takže ho nijak neomezuje v pohybu. Celá situace je uvedena na obrázku 11.14.

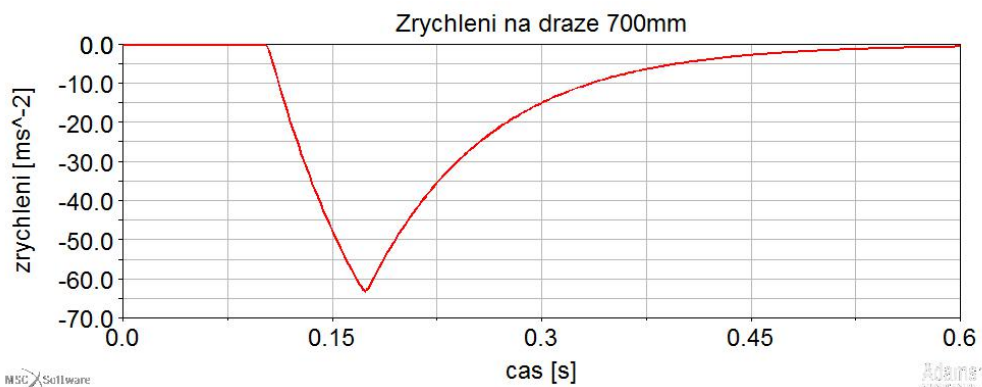


Obrázek 11.13: Detail fixace pístnice ke kolejnici



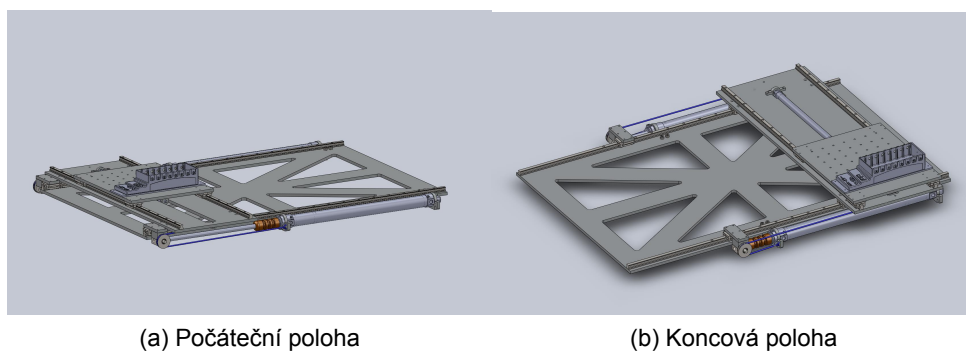
Obrázek 11.14: Detail na přepákování

Z modelu, jenž jsem vytvořil v programu SolidWorks, jsem určil, že při daných rozměrech sestavy, je maximální dráha tlumení 728 mm, což odpovídá dráze o 51% delší, než bez použití kladky. Při nastavení útlumu tlumičů na útlum  $210 \text{ N.s.m}^{-1}$  má těleso zrychlení  $-63 \text{ m.s}^{-2}$ . Průběh zrychlení je zobrazen na obrázku 11.15.



Obrázek 11.15: Zrychlení v podélném směru při celkové dráze tlumení 720mm

Na obrázku 11.16 jsou obě možné mezní polohy tlumícího zařízení.

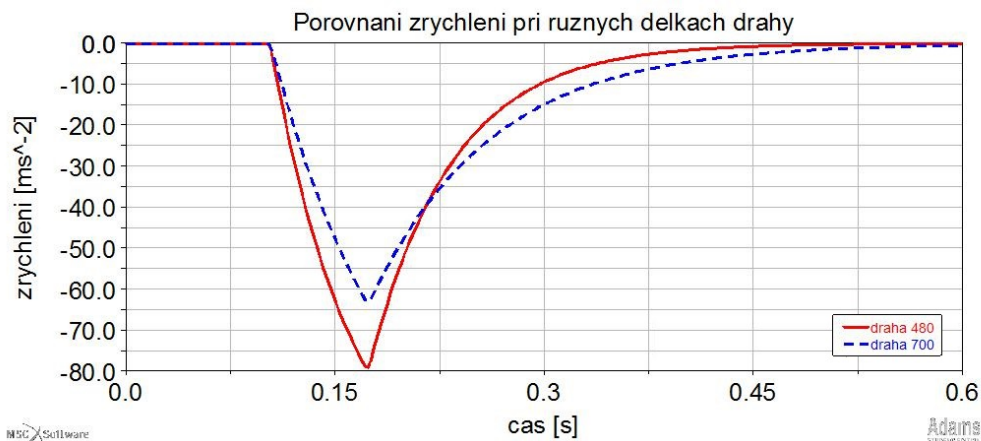


(a) Počáteční poloha

(b) Koncová poloha

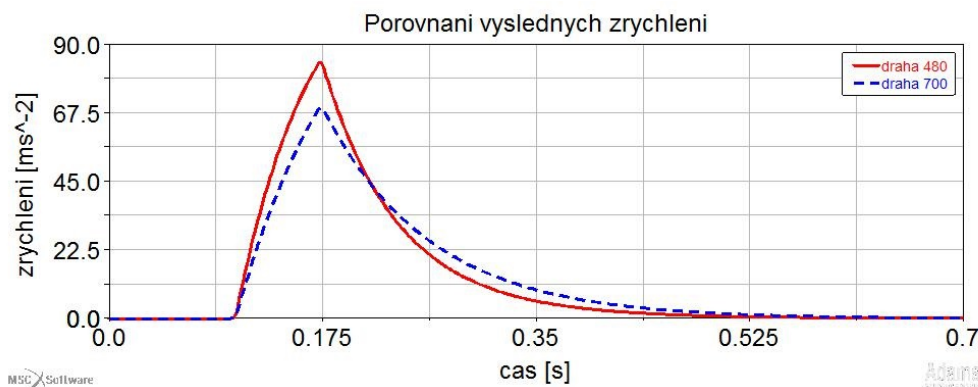
Obrázek 11.16: Limitní polohy

Z porovnání je tedy patrné, že při prodloužení dráhy tlumení a změnou jejich nastavení se maximální zrychlení zmenší o cca 20%. Porovnání obou průběhů zrychlení je na obrázku 11.17.



Obrázek 11.17: Porovnání zrychlení při různých drahách tlumení

Výsledná zrychlení jsou zobrazena na obrázku 11.18. Hodnoty výsledných zrychlení jsou kladné z toho důvodu, že v programu Adams/view se výsledné zrychlení vypisuje v absolutních hodnotách.



Obrázek 11.18: Porovnání výsledných zrychlení

### 11.3.5 Použité lineární vedení

Použité lineární vedení je z katalogu firmy CPC. Vozíky jsou typu AR 15 FN. Ty se vyznačují tím, že jsou nejmenší z nabídky výrobce CPC pro použití v automatizaci. Dle specifikací výrobce snesou statické zatížení 17,5 kN a dynamické 9 kN. Použitý systém lineárního vedení je na obrázku 11.19. Přesné specifikace jsou dostupné na [23].



Obrázek 11.19: Použité lineární vedení CPC (zdroj:[23])

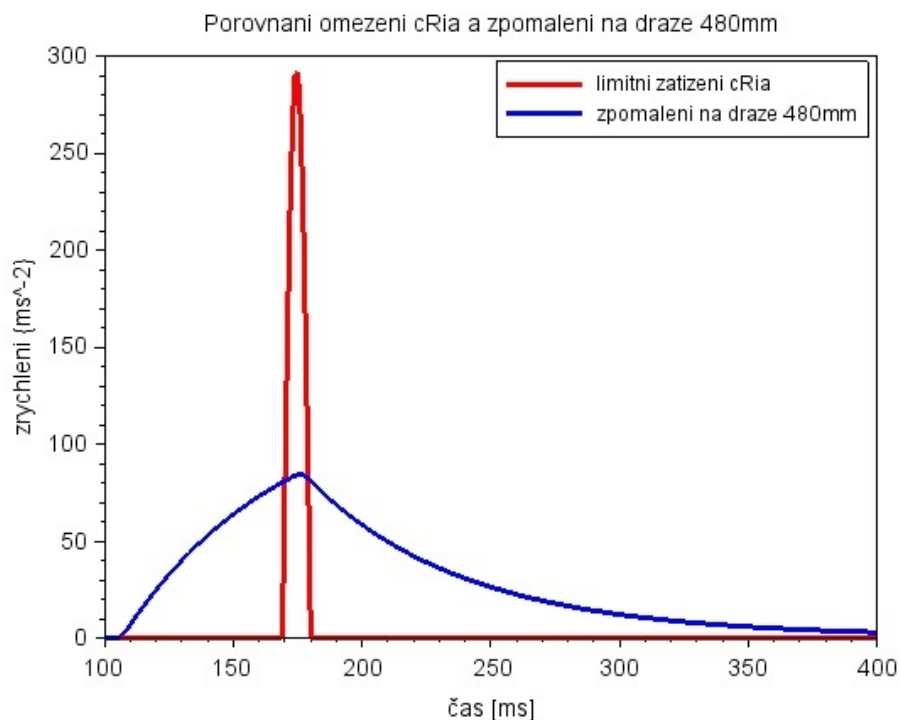
### 11.3.6 Použité tlumiče

Jako modely tlumičů jsem se rozhodl využít vzduchové kruhové válce DSNU od výrobce FESTO. Při následné výrobě zařízení by se měly použít tlumiče s charakteristikami, které jsem zjistil v softwaru Adams/view.

## 11.4 Ověření uložení

Ověření jsem provedl v souladu s podmínkou, zmíněnou v podkapitole 11.1.

Pro provedení důkazu jsem použil variantu 1 s kratší dráhou tlumení a pouze v místě maxima zrychlení. Tento úsek jsem vybral proto, protože se jedná o nejméně příznivou variantu a zbylé varianty budou tedy pouze příznivější. Pro lepší názornost jsem se rozhodl udělat důkaz graficky na obrázku 11.20 a také matematický výpočet.



Obrázek 11.20: Porovnání limitního zatížení CompactRia a zpomalení na dráze 480 mm

Z obrázku<sup>15</sup> je zřejmé, že plocha pod křivkou tlumení v daném intervalu 11ms, nemá v žádném případě větší plochu, než je plocha pod zmiňovaným pulsním. Toto je i dokázáno pomocí následujících výpočtů níže:

- popis limitní podmínky CompactRia

$$y = A * \sin(\omega * t) \tag{11.1}$$

kde:  
 $A$  = maximální zrychlení  
 $\omega$  = úhlová rychlost  
 $t$  = čas  
 $y$  = výsledné zpomalení

$$A = 30 * g = 30 * 9,81 = 294,3 m \cdot s^{-2} \tag{11.2}$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0,022} = 285,6 s^{-1} \tag{11.3}$$

<sup>15</sup>Obrázek 11.20 je pouze k optickému porovnání.



a výsledný integrál limitní podmínky je:

$$S_L = \int_0^{0,011} A * \sin(\omega * t) dt = A \left[ \frac{1}{\omega} (-\cos(\omega t)) \right]_0^{0,011} =$$
$$= 294,3 \left[ \frac{1}{285,6} (-\cos(285,6 * 0,011)) - \left( \frac{1}{285,6} (-\cos(285,6 * 0)) \right) \right] = 2,06 m \cdot s^{-1}$$

(11.4)

Plochu pod křivkou zpomalení ve variantě 1 jsem počítal pomocí numerické integrace. Výpočet jsem prováděl v programu Scilab pomocí kódu, který je uveden níže:

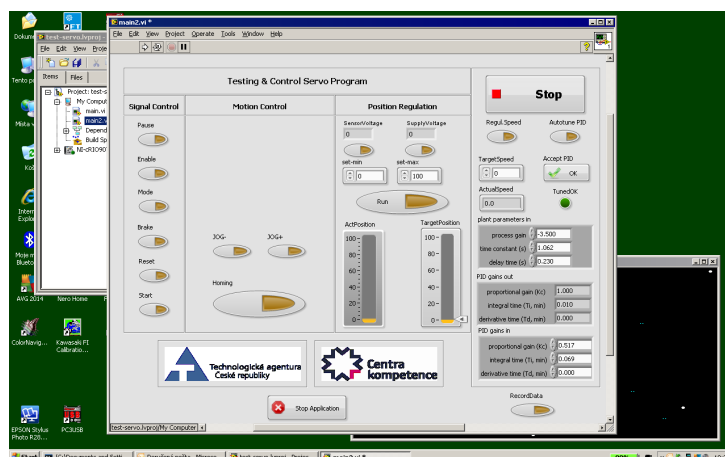
```
clear
prubeh = read_csv('C:\msc\dukaz');
d = strtod(prubeh)
delka = length(d);
for i = 1 : delka-13
S(i) = 0;
for ii = 1:12
iii = ii + i;
S(i)=S(i)+(d(iii)+0.5*(d(iii+1)-d(iii)))/1000;
end
end
```

Tento skript vypočítá plochy pod křivkou, které jsou omezeny okénkem, které má šíři 11ms a posouvá se přes celý průběh. Z výsledného vektoru S je patrné, že největší plocha při daných podmínkách je 0,991 m.s<sup>-1</sup>.

Z toho je zřejmé, že plocha pod limitní křivkou je přibližně dvakrát větší, než pod křivkou, která je výsledkem testování v Adams/view z nejméně příznivé varianty.

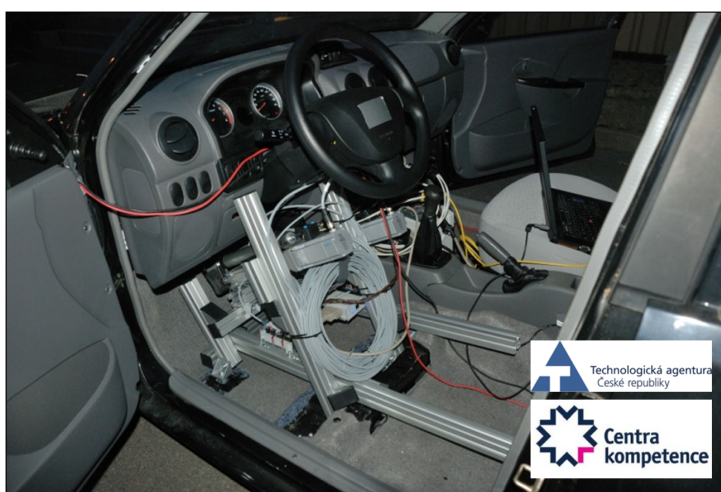
## 12 Jízdní zkouška

V současné době se realizují zkoušky pro zjištění správného naladění regulátorů pro práci s pedálem plynu. Hledají se tedy koeficienty pro naladění PID regulátoru. Rozhraní pro nastavení PID regulátoru je zobrazeno na obrázku 12.1.



Obrázek 12.1: Rozhraní pro nastavení PID regulátoru (zdroj: TÜV SÜD)

Zástavba, která je zatím realizována na vozidle segmentu A je na obrázku 12.2.



Obrázek 12.2: Realizovaná zástavba pro zkoušku regulace (zdroj: TÜV SÜD)

Zástavba je provedena pomocí systému ALUTEC a při její instalaci došlo k modifikaci původního prostoru pro řidiče. Byla vyjmuta přední sedačka a v prostoru před pedály byly vytvořeny úchytné body pomocí dodatečných otvorů v podlaze vozu. V prostoru před sedačkou spolujezdce je umístěn zdroj pro napájení systému. Situace je na obrázku 12.3.



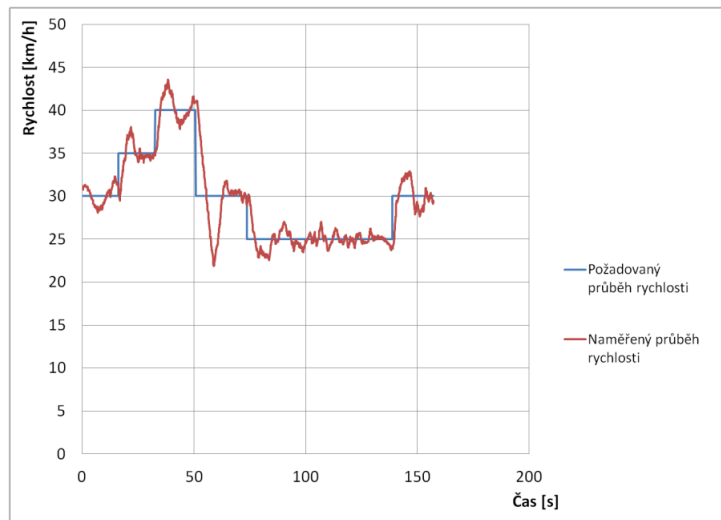
Obrázek 12.3: Situace ze strany spolujezdce (zdroj: TÜV SÜD)

Na sedačce spolujezdce sedí operátor, který ladí regulátory pro ovládání jednotlivých ovládacích prvků vozidla. Z bezpečnostních důvodů je ve vozidle i druhý operátor, jež má za úkol ovládat volant vozidla, sledovat chování systému a v případě nenadálých situací zasáhnout. Zpětná vazba pro regulátor je zajištěna pomocí externího radaru, který snímá aktuální rychlost vozidla a je umístěn na pravém boku. Umístění radaru je zobrazeno na obrázku 12.4.



Obrázek 12.4: Umístění radaru (zdroj: TÜV SÜD)

Dosažené výsledky regulace jsou zobrazeny na obrázku 12.5. Rád bych však zmínil, že testování stále probíhá a výsledky tedy nejsou konečné.



Obrázek 12.5: Grafické znázornění požadované a aktuální rychlosti (zdroj: TÜV SÜD)

## 13 Závěr

Jedním z mých úkolů v této diplomové práci bylo popsat vyráběné systémy ovládání řízení a pohonu vozidla. V rešeršní části jsem tedy popsal nabídky dvou výrobců. Prvním z nich byl britský Anthony Best Dynamics Ltd. a druhým německý Stähle GmbH. V poslední části tohoto dílčího úkolu jsem měl vyhodnotit nákladovost jednotlivých řešení.

Další částí tohoto úkolu byla rešerše norem, které se zabývají rozmístěním a ovládacími silami na nožní a ruční ovládací prvky vozidla. Z tohoto důvodu jsem provedl rešerši tří předpisů, které se zabývají rozmístěním a ovládacími silami na nožní ovládací orgány a jedné, která se zabývá ovládacími silami na volant vozidla.

V následující části jsem popisoval teorii kmitavého netlumeného pohybu, z něhož jsem následně přešel k teorii tlumeného pohybu. Tento teoretický základ je využit především v poslední kapitole praktické části - bezpečném uložení záznamového a řídicího zařízení.

Hlavní část diplomové práce je věnována návrhu ovládání pedálové skupiny a ovládání řízení vozidla v osobním automobilu a autobuse. Základním akčním prvkem obou zástaveb byly lineární aktuátory, jež měl zadavatel k dispozici. K němu jsem dále vytvořil systém uchycení s otočným kloubem, který je přizpůsoben k uchycení k systému ALUTEC. Hlavní části pro obě zástavby jsou tedy stejné a liší se pouze v systému ALUTEC, pomocí kterého jsou připevněny ke karoserii. Tuto variantu jsem zvolil z důvodu úspory financí.

V následující kapitole jsem se zaměřil na ovládání řízení vozidla. Navrhl jsem systém, který se nasazuje místo původního volantu. Tuto zástavbu jsem opět z finančních důvodů vytvářel stejnou pro oba typy vozidel. Jediný rozdíl spočívá v tom, že se liší v prvku, který dosedá na volantovou tyč vozidla. Točivý moment z krokového motoru je zesílen pomocí převodu a následně přenesen do volantové tyče. Výsledný točivý moment dovoluje ovládat řízení měřeného autobusu Karosa LC 735, ale i na osobních automobilech i s poruchou mechanismu řízení.

V předposlední části diplomové práce jsem se zabýval návrhem bezpečného uložení ovládacího a záznamového zařízení. Vstupní impulsy zrychlení v jednotlivých osách při nárazu vozidla do svodidel jsem získal od zadavatele a následně přepracoval pro použití v softwaru MSC Adams/view. V něm jsem testoval různé nastavení tlumících prvků a sledoval zrychlení za chráněným zařízením. Dále jsem navrhl tlumící zařízení, které má v jednotlivých osách lineární vedení a k nim paralelně připojené tlumiče. Pro tlumení podélné složky nárazu jsem vytvořil dva systémy, které se liší způsobem uchycení pístnice tlumiče. První varianta je vhodná pro tlumení zadaného nárazu a druhá je vhodná díky delší dráze tlumené části zařízení k tlumení nárazů s vyšší hodnotou přetížení nebo v případech, kdy je těžší chráněné zařízení než v případě zadání. Z uvedených výsledků je patrné, že se mi podařilo navrhnout uložení, které dostatečně ochrání použité zařízení.

V poslední části práce je popsána jízdní zkouška s realizovaným systémem. V době odevzdání této diplomové práce probíhá testování a ladění systému. Jedna z jízdních zkoušek je popsána

v kapitole 12. Pro regulaci rychlosti vozidla se využívá PID regulátor a v příslušné kapitole jsou zobrazeny výsledky regulace.

Závěrem bych rád řekl, že při zpracování této diplomové práce jsem měl možnost nahlédnout do velice zajímavé problematiky testování vozidel a seznámit se s výbornými softwarovými nástroji. Dále jsem měl možnost poznat prostředí velké firmy TÜV SÜD, což považuji za neocenitelnou zkušenost do mého dalšího profesního života.

## Reference

- [1] Anthony Best Dynamics [online]. Bradford on Avon: AB Dynamics, 2015 [cit. 2015-11-09]. Dostupné z: <http://www.abd.uk.com/>
- [2] Stähle GmbH [online]. Wimsheim: Stähle GmbH, 2015 [cit. 2015-11-09]. Dostupné z: <http://www.stahle.com/>
- [3] Euro NCAP [online]. Brusel [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/en>
- [4] LICHOROBIEC, Vojtěch. Vliv tlaku huštění pneumatik na bezpečnost silničního vozidla. Pardubice, 2012. Diplomová práce. Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Ing. Tomáš Zikmund, Ph.D.
- [5] Gear-change robot: Outline specification [online]. In: . Bradford on Avon: Anthony Best Dynamics Ltd, 2011, s. 2 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: [http://www.abd.uk.com/upload/files/2014-08-01\\_12-32-20\\_SP6211%20-%20Gear-change%20robot%20outline%20-%20issue%206.pdf](http://www.abd.uk.com/upload/files/2014-08-01_12-32-20_SP6211%20-%20Gear-change%20robot%20outline%20-%20issue%206.pdf)
- [6] EHK/OSN Č.35. Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska uspořádání nožních ovládacích orgánů. 1. Ženeva: Organizace spojených národů, 1958.
- [7] FIRST, Jiří. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Vyd. 1. Praha: S, 2008, 348 s. ISBN 978-80-254-1850-5.
- [8] EHK/OSN Č. 13. Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel kategorií M, N a O z hlediska brzdění. Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů, 2010.
- [9] EHK/OSN Č. 13-H. Jednotná ustanovení pro schvalování osobních automobilů z hlediska brzdění. Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů, 2010.
- [10] EHK/OSN Č. 79. Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska mechanismu řízení. Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů, 2008.
- [11] RUSŇÁK, Karel. Kmity hmotného bodu. Západočeská univerzita [online]. Plzeň: Západočeská univerzita, 2006 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: <http://www.kfy.zcu.cz/dokumenty/-FY11/netlum.kmity.pdf>
- [12] RUSŇÁK, Karel. Tlumené kmity. ZČU Katedra fyziky [online]. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: <http://www.kfy.zcu.cz/dokumenty/-FY11/tlum.kmity.pdf>
- [13] 3D CAD desing software SOLIDWORKS [online]. Dassault Systèmes, 2015 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.solidworks.com/>
- [14] Adams: The Multibody Dynamics Simulation Solution [online]. MSC Software Corporation, 2015 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.mscsoftware.com/product/adams>
- [15] Elektrické válce s pístnicí DNCE. FESTO [online]. Praha: Festo, 2008 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_CS/PDF/CZ/DNCE\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_CS/PDF/CZ/DNCE_CZ.PDF)

- [16] Krokové motory EMMS-ST. FESTO [online]. Praha: FESTO, 2013 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_CS/PDF/CZ/EMMS-ST\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_CS/PDF/CZ/EMMS-ST_CZ.PDF)
- [17] Alutec K&K [online]. Čelákovice: Alutec K&K, a.s., 2015 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://aluteckk.cz/>
- [18] Škoda Rapid 1.2 MPI: Není se čemu smát. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2013 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/test-skoda-rapid-1-2-mpi-neni-se-cemu-smat-74527>
- [19] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999, xiv, 985 s. ISBN 80-718-3164-6.
- [20] BUREŠ, Miroslav. Návrh a pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol. Liberec, 2006. Vyukový text. Technická univerzita v Liberci.
- [21] TP 114. Svodidla na pozemních komunikacích: Zatížení stanovení úrovně zadržení na pk navrhování !jiných! svodidel zkoušení a uvádění svodidel na trh. Praha: Ministerstvo dopravy, 2010.
- [22] CompactRIO cRIO-9072/3/4: OPERATING INSTRUCTIONS AND SPECIFICATIONS [online]. In: . National Instruments, 2010, s. 28 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: [www.ni.com/pdf/manuals/374639e.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/374639e.pdf)
- [23] ARC/HRC/ERC series: Linear motion technology [online]. CPC EUROPA GMBH. [cit. 2015-10-28]. Dostupné z: [http://www.raveo.cz/sites/default/files/download/2014/12/ARCHCERC%20\\_catalog.pdf](http://www.raveo.cz/sites/default/files/download/2014/12/ARCHCERC%20_catalog.pdf)
- [24] Adams/View help: Adams 2014 [online]. MSC SOFTWARE. 2014 [cit. 2015-10-28]. Dostupné z: [https://simcompanion.mscsoftware.com/resources/sites/MSC/content/meta/DOCUMENTATION/10000/DOC10647/~secure/view\\_2014.pdf?token=oi92dp-moFHgezyYSwbaP0gJcVMqFvsa5tsrnNJ5KPDt2!TGD8bqYrFGJ4ohKh8Wahb-NrMI5c3qSLN4VDVka14Bfel85iL1TReOtnrEfbPVXoqQH!isBjhWpDIE25QUKLqggL0wy-dWWdNJzXnJSVAajRvocUISxilFXeJoD1GiBtl8K4uNGUwWyl5idPHan1PhvLNNH-gCBB498dLrzHeKHZidPDFexDru9Wq7GZ-5u8ke!u9YXw!gRrv0Zzllxq](https://simcompanion.mscsoftware.com/resources/sites/MSC/content/meta/DOCUMENTATION/10000/DOC10647/~secure/view_2014.pdf?token=oi92dp-moFHgezyYSwbaP0gJcVMqFvsa5tsrnNJ5KPDt2!TGD8bqYrFGJ4ohKh8Wahb-NrMI5c3qSLN4VDVka14Bfel85iL1TReOtnrEfbPVXoqQH!isBjhWpDIE25QUKLqggL0wy-dWWdNJzXnJSVAajRvocUISxilFXeJoD1GiBtl8K4uNGUwWyl5idPHan1PhvLNNH-gCBB498dLrzHeKHZidPDFexDru9Wq7GZ-5u8ke!u9YXw!gRrv0Zzllxq)



## Seznam obrázků

3.1	SR15 (zdroj:[1]) . . . . .	13
3.2	SR30 (zdroj:[1]) . . . . .	14
3.3	SR60 (zdroj:[1]) . . . . .	15
3.4	SR60 - TORUS (zdroj:[1]) . . . . .	15
3.5	SR60 - Orbit (zdroj:[1]) . . . . .	16
3.6	SR150 (zdroj:[1]) . . . . .	16
3.7	BR1000 Brake robot (zdroj:[1]) . . . . .	18
3.8	BR1000HS Brake robot (zdroj:[1]) . . . . .	19
3.9	brzdové roboty RBR (zdroj:[1]) . . . . .	19
3.10	AR1 Accelerator robot (zdroj:[1]) . . . . .	20
3.11	CBAR Combined Brake and Accelerator robot (zdroj:[1]) . . . . .	20
3.12	SSP-FrontFree (zdroj:[2]) . . . . .	21
3.13	SSP3000 (zdroj:[2]) . . . . .	22
3.14	SSP-FF (zdroj:[2]) . . . . .	23
3.15	SSP3000-85/2k-HS (zdroj:[2]) . . . . .	24
3.16	SSP2000 (zdroj:[2]) . . . . .	24
3.17	verze robotu SAP2000 (zdroj:[2]) . . . . .	25
3.18	SAP-RAPID (zdroj:[2]) . . . . .	27
3.19	SAP-RAPID-HE-TRUCK (zdroj:[2]) . . . . .	27
4.1	Uspořádání nožních ovladačů - bokorys (zdroj:[7]) . . . . .	29
4.2	Geometrické uspořádání dvou pedálů (zdroj:[7]) . . . . .	29
4.3	Geometrické uspořádání tří pedálů (zdroj:[7]) . . . . .	30
6.1	Model zavěšeného závaží na pružině . . . . .	34
6.2	Závislost polohy tělesa na čase . . . . .	35

6.3	Závislost polohy tělesa a času - tlumený pohyb . . . . .	36
8.1	Aktuátor FESTO v řezu (zdroj:[15]) . . . . .	38
8.2	Závislost posuvové síly na rychlosti posuvu (zdroj:[15]) . . . . .	39
8.3	Schéma profilu ALUTEC (zdroj:[17]) . . . . .	41
8.4	Zatížení pístnice aktuátoru (zdroj:[15]) . . . . .	42
8.5	Maximální přípustné zatížení pístnice [15] . . . . .	42
8.6	Patkové upevnění HNCE pro axiální montáž motoru . . . . .	43
8.7	Detail osy . . . . .	44
8.8	Sestava nosiče aktuátoru . . . . .	44
8.9	Sestava aktuátoru s nosičem . . . . .	44
8.10	Škoda Rapid (zdroj:[18]) . . . . .	45
8.11	Fotografie z měření interiéru Škody Rapid . . . . .	45
8.12	Limitní plocha pro zástavbu . . . . .	46
8.13	Konstrukce se systému ALUTEC . . . . .	46
8.14	Kompletní zástavba pohonu vozidla . . . . .	47
8.15	Karosa LC 735 . . . . .	47
8.16	Fotografie z měření interiéru Karosy LC 735 . . . . .	48
8.17	Zástavba ovládání pohonu autobusu . . . . .	48
9.1	Průběh točivého momentu v závislosti na otáčkách (zdroj:[16]) . . . . .	50
9.2	Rozpracovaný návrh ovládání řízení vozidla . . . . .	51
9.3	Pohled na uložení sekundárního ozubeného kola v řezu . . . . .	52
9.4	Osa sloužící k připojení pohonu . . . . .	52
9.5	Možné polohy motoru na zařízení . . . . .	53
9.6	Pohled na záchyť momentu . . . . .	54
9.7	Zástavba řízení ovládání do autobusu Karosa . . . . .	55

10.1 Zařízení National Instrument cCompactRio-9074 (zdroj:[22]) . . . . .	57
11.1 Průběh zrychlení ve vozidle s impulsy . . . . .	59
11.2 Rozšířený model v softwaru MSC Adams/view . . . . .	59
11.3 Přesný model zařízení . . . . .	60
11.4 Měřené rozměry zavazadlového prostoru se sklopenými zadními sedadly . . . . .	61
11.5 Střední část systému . . . . .	62
11.6 Vrchní část systému . . . . .	63
11.7 Průběh zrychlení v příčném směru . . . . .	64
11.8 Systém tlumení v podélném směru - varianta 1 . . . . .	64
11.9 Detail uchycení pístnice ke střední části . . . . .	65
11.10 Zrychlení v podélném směru při celkové dráze tlumení 480mm . . . . .	65
11.11 Princip volné kladky . . . . .	65
11.12 Aplikace dorazu . . . . .	66
11.13 Detail fixace pístnice ke kolejnici . . . . .	66
11.14 Detail na přepákování . . . . .	67
11.15 Zrychlení v podélném směru při celkové dráze tlumení 720mm . . . . .	67
11.16 Limitní polohy . . . . .	67
11.17 Porovnání zrychlení při různých drahách tlumení . . . . .	68
11.18 Porovnání výsledných zrychlení . . . . .	68
11.19 Použité lineární vedení CPC (zdroj:[23]) . . . . .	69
11.20 Porovnání limitního zatížení CompactRia a zpomalení na dráze 480 mm . . . . .	70
12.1 Rozhraní pro nastavení PID regulátoru (zdroj: TÜV SÜD) . . . . .	72
12.2 Realizovaná zástavba pro zkoušku regulace (zdroj: TÜV SÜD) . . . . .	72
12.3 Situace ze strany spolujezdce (zdroj: TÜV SÜD) . . . . .	73
12.4 Umístění radaru (zdroj: TÜV SÜD) . . . . .	73
12.5 Grafické znázornění požadované a aktuální rychlosti (zdroj: TÜV SÜD) . . . . .	74

## Seznam tabulek

1	Parametry robotů ovládání řízení vozidla od výrobce AB Dynamics . . . . .	17
2	Parametry robotu SSP3000 . . . . .	22
3	Parametry robotu SSP3000-85/2k-HS . . . . .	23
4	Parametry k robotům SAP2000, SAP2000T a SAP2000LC . . . . .	26
5	Parametry robotu SAP-RAPID . . . . .	27
6	Varianty a ceny řízení robotu SAP2000 Autopilot . . . . .	28
7	Tabulka rozměrů pro uspořádání dvou pedálů . . . . .	29
8	Tabulka rozměrů pro uspořádání tří pedálů . . . . .	30
9	Podmínky zkoušení provozní brzdy dle předpisu EHK/OSN č.13 (zdroj:[8]) . . . . .	31
10	Podmínky zkoušení provozní brzdy dle předpisu EHK/OSN č.13-H (zdroj:[9]) . . . . .	32
11	Podmínky předpisu EHK/OSN č.79 (zdroj:[10]) . . . . .	33
12	Technické parametry aktuátoru FESTO . . . . .	39
13	Technické parametry motoru FESTO . . . . .	40
14	Technické parametry brzdy FESTO . . . . .	41
15	Maximální přípustné síly a momenty pro aktuátor . . . . .	43
16	Tabulka technických parametrů zástavby ovládání vozidla . . . . .	54
17	Nárazové zkoušky svodidel (zdroj:[21]) . . . . .	56
18	Vstupní hodnoty do modelu . . . . .	60
19	Tabulka rozměrů zavazadlového prostoru měřených vozů . . . . .	61

## **Přílohy**

1. ovládání řízení (15 listů)
2. ovládání pohonu (7 listů)
3. ovládání pohonu Rapid (2 listy)
4. ovládání pohonu Karosa (3 listy)