



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A**  
**BIOMECHANIKY**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND  
BIOMECHANICS

## **ÚPRAVA POHONŮ NATÁČENÍ KOL** **EXPERIMENTÁLNÍHO ROBOTU CAR4**

RE-DESIGN OF STEERING SERVO-ACTUATORS FOR CAR4 EXPERIMENTAL ROBOT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**TOMÁŠ VESPALEC**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. JOSEF VEJLUPEK**

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Vespalec

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: **Mechatronika (3906R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Úprava pohonů natáčení kol experimentálního robotu Car4**

v anglickém jazyce:

#### **Re-design of steering servo-actuators for Car4 experimental robot**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vyřešení problematického řízení natočení kol: na původní servopohony nebylo možné zabudovat ochranné prvky, na novějších ochrana je, nicméně servopohony nestačí výkonově. Bude zřejmě potřeba vymyslet jiný mechanismus pohonu, který odstraní současné nedostatky / problémy.

Cíle bakalářské práce:

náhrada stávajících servopohonů novým řešením

- návrh několika alternativních řešení
- výpočet nového řešení tak aby vyhovovalo danému namáhání
- konstrukce a zapojení nového řešení

Seznam odborné literatury:

Patočka M., Vorel P.: Řídicí elektronika - pasivní obvody  
Patočka M., Vorel P.: Řídicí elektronika - aktivní obvody  
Patočka M., Vorel P., Kerlin T.: Řídicí elektronika - laboratorní cvičení  
Kule L. a kolektiv: Technika elektrických pohonů.  
Patočka M.: Vybrané statě z výkonové elektroniky, sv.I.  
Patočka M.: Vybrané statě z výkonové elektroniky, sv.II.  
Kraysa K.: Výkonová elektronika  
Caha Z., Černý M.: Elektrické pohony  
Mráz Z.: Řídicí členy elektrických pohonů.  
Patočka M., Burian F.: Sbirka řešených příkladů z řídicí elektroniky.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Vejlupek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 5.11.2012

L.S.

---

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

# Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem a konstrukcí mechanismu natáčení kol u experimentálního vozidla Car4. Během této práce se seznámíme s výpočtem zatížení nápravy vozidla, se součástmi a systémy umožňující realizovat translační a rotační pohyb a s různými konstrukčními návrhy aplikování těchto systémů ve vozidle. Výsledkem této práce bude nový mechanismus natáčení kol experimentálního vozidla Car4.

# Abstract

This thesis deals with the development and design of the wheels mechanism in an experimental vehicle Car4. During this work, we introduce the vehicle axle load calculation, with components and systems, allowing linear and rotational motion, and different design proposals for the application of these systems in the vehicle. The result of this work will be a new mechanism for the wheels of the experimental vehicle Car4.

## Klíčová slova:

Car4, Vozidlo, Natáčení kol, Valení, Aktuátory, servo, RC vozidla

## Key words:

Car4, Vehicle, Wheel mechanism, Rolling, Actuators, serv, RC vehicle

### **Bibliografická citace mé práce:**

VESPALEC, T. *Úprava pohonů natáčení kol experimentálního robotu Car4*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Vejlupek.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Úprava pohonů natáčení kol experimentálního robotu Car4“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24. května 2013

.....  
Tomáš Vespalec

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat panu ing. Josefu Vejlupkovi za pomoc při návrhu a konstrukci mechanismu pro natáčení kol. Dále bych chtěl poděkovat všem členům naší rodiny za podporu v těžkých dobách studia. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat panu Řediteli ing. Ladislavu Brázdilovi a firmě ZLKL Loštice za velkou pomoc s výrobou jednotlivých dílů na nový mechanismus.

# Obsah

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 Úvod .....</b>                                        | <b>9</b>  |
| <b>2 Rozbor zadání a cíl práce.....</b>                    | <b>10</b> |
| 2.1. Zhodnocení současného stavu a úprava modelu .....     | 10        |
| 2.2. Důvody návrhu nového mechanismu .....                 | 10        |
| <b>3 Zjištění silových a momentových účinků.....</b>       | <b>11</b> |
| 3.1. Stanovení neznámých a princip výpočtu.....            | 11        |
| 3.2. Výpočet .....                                         | 12        |
| 3.3. Úprava výpočtu-valení .....                           | 13        |
| 3.4. Určení momentu setrvačnosti a hmotnosti vozidla ..... | 14        |
| 3.5. Sestavení rovnic valení.....                          | 15        |
| <b>4 Průzkum trhu.....</b>                                 | <b>18</b> |
| 4.1. Mechanismy konající pohyb .....                       | 18        |
| 4.2. Výběr mechanismu pro problematiku natáčení kol.....   | 21        |
| <b>5 Konstrukce .....</b>                                  | <b>22</b> |
| 5.1. Omezení.....                                          | 22        |
| 5.2. Poloměry natáčení kol .....                           | 24        |
| 5.3. Varianta 1 .....                                      | 25        |
| 5.4. Varianta 2 .....                                      | 26        |
| 5.5. Varianta 3 .....                                      | 27        |
| 5.6. Volba nové varianty mechanismu .....                  | 28        |
| 5.7. Výpočet délky vysunutí aktuatoru.....                 | 29        |
| <b>6 Montáž .....</b>                                      | <b>31</b> |
| 6.1. Montáž mechanismu varianty 3.....                     | 31        |
| <b>7 Závěr .....</b>                                       | <b>32</b> |
| <b>8 Seznam použitých zdrojů .....</b>                     | <b>33</b> |
| <b>9 Seznam obrázků.....</b>                               | <b>35</b> |
| <b>10 Seznam příloh .....</b>                              | <b>36</b> |

# 1 ÚVOD

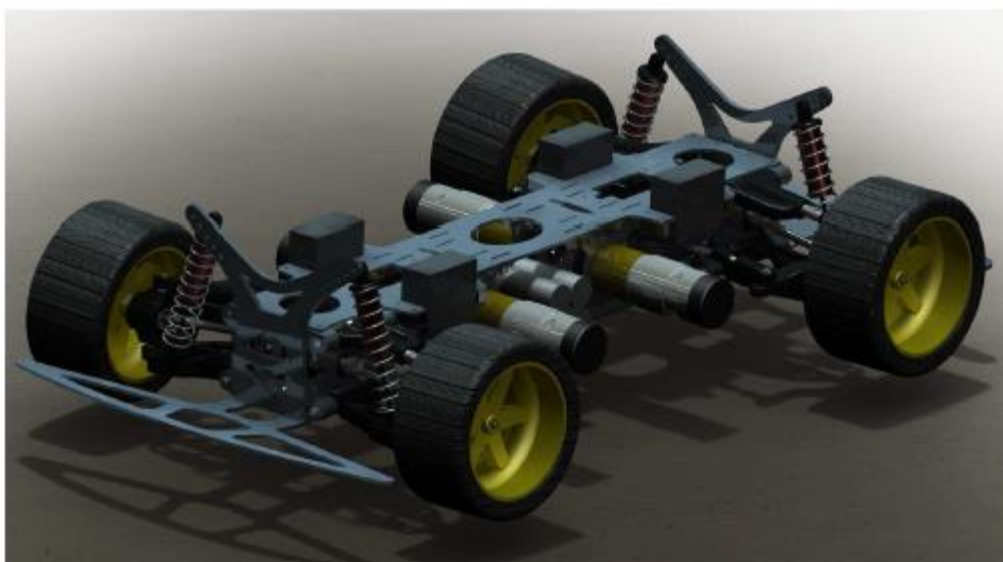
Pokrok je nezastavitelný. Pokud se na chvíli zamyslíme, jak daleko se posunula technologie za padesát let, zjistíme, že věci, které dříve byly nepředstavitelné, některé zcela nemožné, jsou dnes již každodenní součástí našeho života. Především je tento pokrok vidět v technických oborech. Většina mechanismů, nacházejících se v době před padesáti lety, byla řízena a poháněna převážně mechanickými silami. Řízení a pohánění strojů za pomoci složitých elektrických a elektronických obvodů bylo v této době ještě v oblasti ideálů a nápadů. Postupem času se ale technologie posunula a začaly vznikat první myšlenky a nápady, umožňující jednotlivým strojům vykonávat jednotlivé operace za výhodnějších a efektivnějších podmínek. Postupně se stroje rozrůstaly a vylepšovaly díky znalostem z leteckého, automobilového a lodního průmyslu. Jejich řízení a ovládání se neustále zlepšovalo. Příkladem takového mechanismu jsou RC modely (Radio Control - rádiové ovládání [22]).

Naučit se ovládat a následně s RC modely jezdit, létat,... je velmi složité a zabere to obvykle mnoho času a peněz. Existují ale i tací, kterým nestačí pouze vzít nějaký RC model, jezdit s ním venku nebo létat ve vzduchu, ale chtějí pochopit jeho vnitřní skladbu, pochopit, jak jednotlivé komponenty fungují, jak svůj model vylepšit a upravit, aby vyhovoval nejen výkonově, ale i jízdně, případně letecky. Mezi jednu z hlavních oblastí této disciplíny patří RC vozidla. Tato oblast vychází z principu vozidel dopravních, která vidáme denně na silnici. Dopravní vozidlo používá k realizaci jednotlivých úkonů a pohybů velmi složité elektronické systémy a mechanismy. RC vozidla, na rozdíl od dopravních vozidel, používají hlavně elektromotory, řídicí jednotky a RC serva. Drtivá část komponent RC vozidel je vyrobena z plastu, některé důležitější díly jsou vyrobené z oceli a gumy. Jako u všech jiných vozidel se i zde řeší problematika vlastností celého vozidla, konstrukce jednotlivých komponent, řízení a další. Tato bakalářská práce pojednává o řešení jednoho z těchto problémů a to o problému návrhu mechanismu umožňující natáčení kol experimentálního robota (vozidla) Car4.

## 2 ROZBOR ZADÁNÍ A CÍL PRÁCE

### 2.1. Zhodnocení současného stavu a úprava modelu

Výchozím bodem této práce je reálné vozidlo Car4, které navrhoval a následně i zkonstruoval a zrealizoval pan bc. Filip Vladejch v bakalářské práci **Konstrukce podvozku experimentálního vozidla se čtyřmi řízenými koly** viz [1]. Po zhodnocení stavu vozidla a porovnáním reálného kusu s 3D modely, které byly získány z výše zmíněné bakalářské práce, se provedla úprava 3D modelu tak, aby bylo možné testování dynamických pohybů a statických zatížení modelu. Současně byla nutná konverze do novějšího softwaru a upravení 3D dat pro rychlejší výpočet v počítači, jelikož kompletní sestava obsahovala více jak 50 komponent, které při jakékoliv sebemenší manipulaci značně zatěžovaly procesor počítače. Na rozdíl od 3D modelu se na reálném kusu nacházela také elektronika, která zabírala určitý prostor a je potřeba s ní počítat při budoucím návrhu nového mechanismu. Také musíme počítat s napětím zdroje napájení nového mechanismu, který je 12 V.



Obrázek 2.1 3D model vozidla Car4 (převzato z [1])

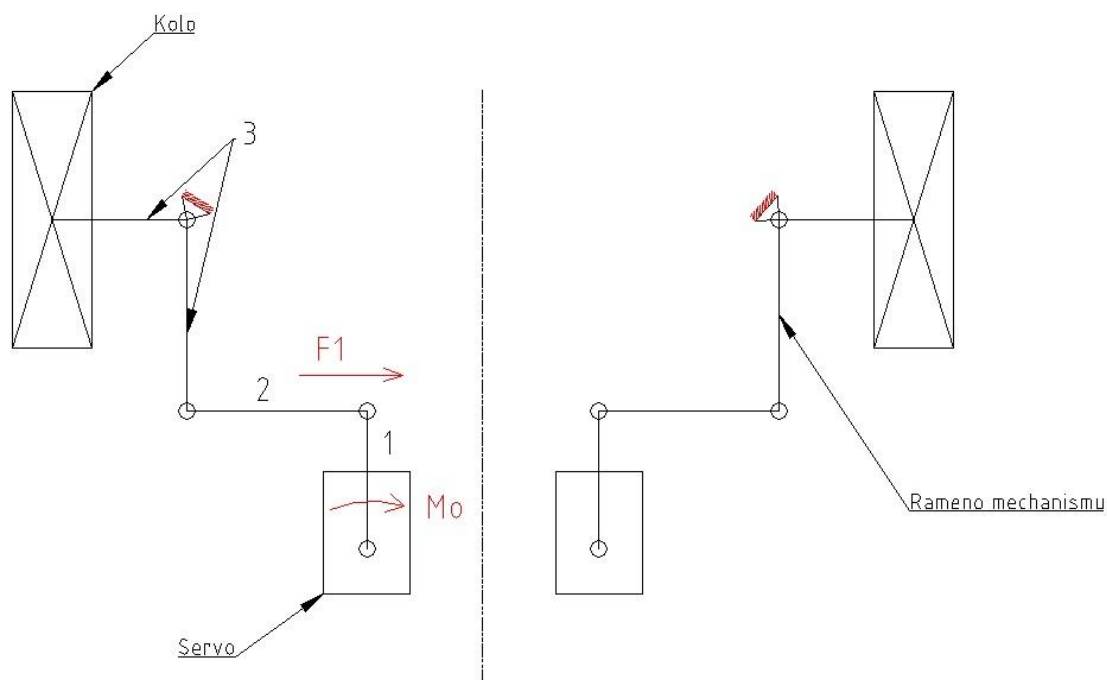
### 2.2. Důvody návrhu nového mechanismu

Starší varianta mechanismu umožňující natáčení kol, fungovala na principu čtyřech RC serv (dvě vpředu a dvě vzadu), která přes kloubový mechanismus natáčela jednotlivá kola tak, jak bylo potřeba. Tento mechanismus se ale při testování ukázal jako nedostačující z výkonnostního hlediska a z důvodu omezení nabídky výrobce kvalitnějších servosaverů. RC serva, která byla namontována na toto vozidlo, měla k dostání kvalitní servosaver, avšak nestačila již výkonově. Přesně naopak fungovala další varianta, kde byla připojena silnější RC serva, ke kterým již nebylo možné dokoupit dostatečně kvalitní servosaver. Díky těmto problémům vznikl podnět na tuto bakalářskou práci.

### 3 ZJIŠTĚNÍ SILOVÝCH A MOMENTOVÝCH ÚČINKŮ

#### 3.1.Stanovení neznámých a princip výpočtu

K určení, jak bude nový mechanismus vypadat a jak bude fungovat, je potřeba nejprve zjistit, které fyzikální veličiny způsobují natáčení kol a jaká je jejich velikost. Proto bylo potřeba nakreslit si schéma soustavy vozidla, viz obrázek 3.1. Po jeho analýze jsme došli k tomu, že naše neznámá veličina je síla  $F_1$ , nacházející se na tělese dva, případně moment  $M_0$ , který vyvolává RC servo na těleso jedna.

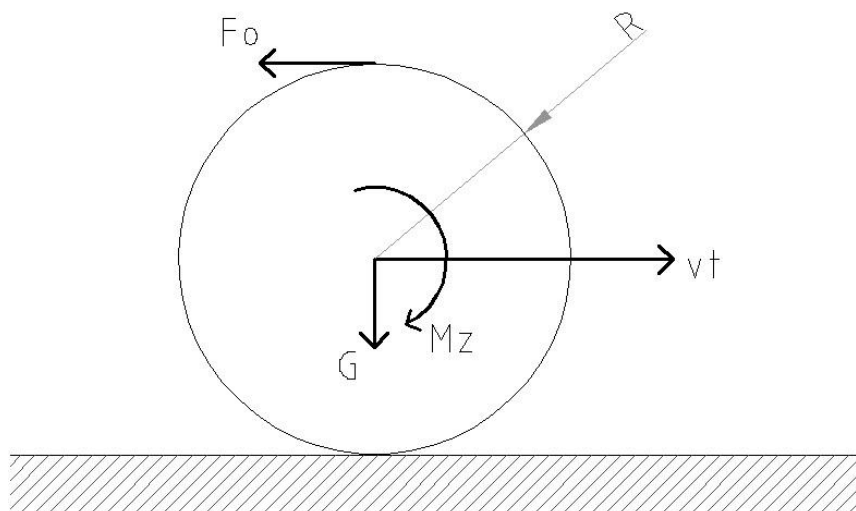


Obrázek 3.1 Schéma soustavy vozidla

### 3.2. Výpočet

Po stanovení neznámých parametrů jsme začali řešit samotný výpočet. Jako první myšlenka bylo vycházet z obvodové síly kola, přepočtenou na těleso jedna. Tomuto výpočtu odpovídá rovnice 3.1 a obrázek 3.2, kde  $M_z$  je moment od motoru na kolo,  $F_o$  je obvodová síla a  $R$  je poloměr kola.

$$M_z = F_o * R \quad (3.1.)$$



Obrázek 3.2 Výpočet obvodové síly kola

Z tohoto výpočtu po upravení rovnice dostaneme sílu  $F_o$  ve tvaru:

$$F_o = \frac{M_z}{R} \quad (3.2.)$$

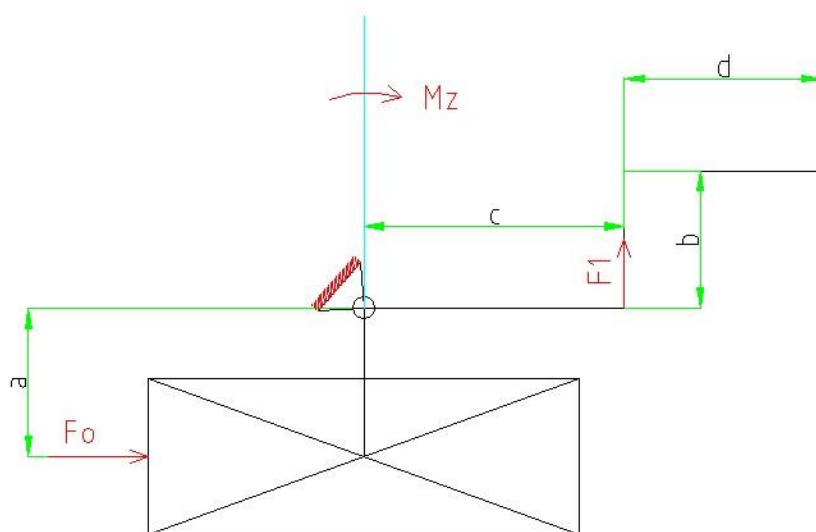
Následně pak tuto sílu pomocí rovnice rovnováhy momentů přepočítáme na sílu působící na těleso jedna:

$$F_o * a = F_1 * c \quad (3.3.)$$

Kde veličiny  $a$  a  $c$  jsou vzdálenosti ramen vozidla, viz obrázek 3.3.

K určení velikosti zatížení na RC servo, je potřeba spočítat ještě odpovídající moment vzniklý od síly  $F_1$  na rameně  $d$  pomocí základní rovnice pro výpočet momentu:

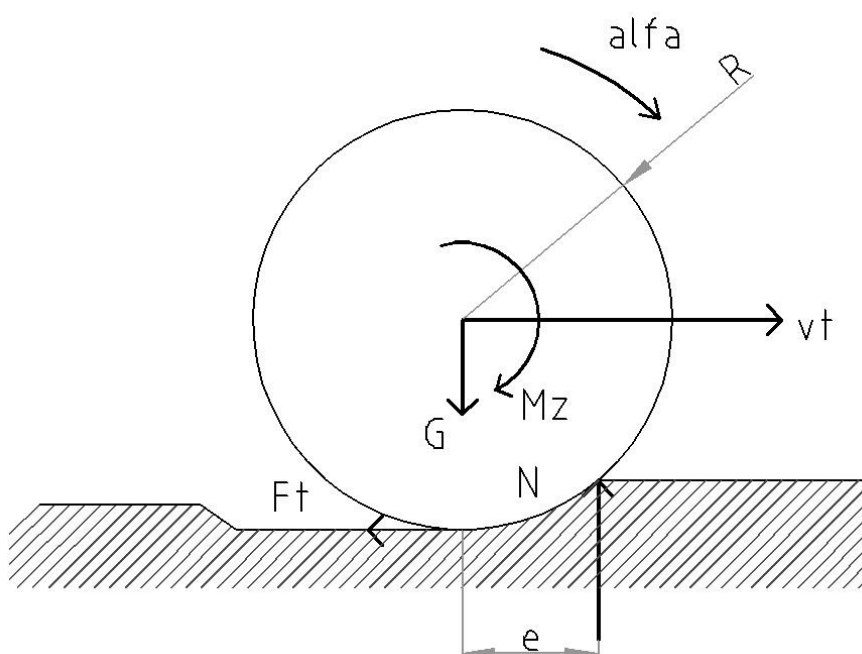
$$M_o = F_1 * d \quad (3.4.)$$



Obrázek 3.3 Vzdálenosti ramen vozidla

### 3.3.Úprava výpočtu-valení

Předchozí výpočet je ale značně zjednodušený, proto tento výpočet rozšíříme o problematiku valení. Podrobnější informace je možné dohledat, viz [23]. Abychom mohli řešit problematiku valení, musíme si nakreslit schéma kola a všechny síly a momenty působící na toto kolo. Toto schéma můžeme vidět na obrázku 3.4.



V tomto schématu je obvodová síla  $F_1$  nahrazena tečnou silou  $F_t$ , která již nezávisí pouze na momentu  $M_z$  a poloměru kola  $R$ , ale i na momentu setrvačnosti  $I_k$  a hmotnosti vozidla  $m$ . Ve skutečnosti se kolo nepohybuje po dokonalé rovině, ale nachází se v menším propadu a

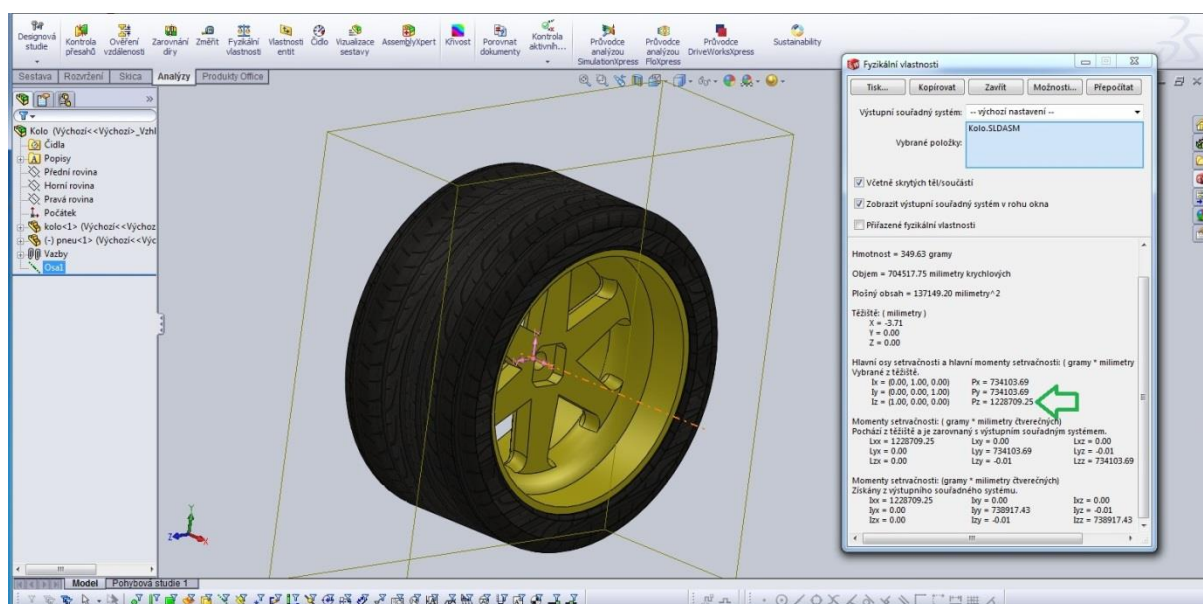
dochází k deformaci kola. Tato deformace je reprezentována svislou silou  $N$  a ramenem valivého odporu  $e$ . Velikost ramene valivého odporu je v našem případě přibližně 0,0016 m (Pryžové kolo-asfalt [5]). Při dosazení do momentové rovnice 3.6, je-li velikost  $N$  stejná jako velikost tíhové síly  $G$ , která se spočte z rovnice 3.5, zjistíme, že je součin  $N * e$  je velmi malý oproti ostatním veličinám ve výpočtu, a proto tento valivý odpor můžeme zanedbat.

$$G = m * g \quad (3.5.)$$

$$I_k * \alpha = M_z + F_t * R - N * e \quad (3.6.)$$

### 3.4. Určení momentu setrvačnosti a hmotnosti vozidla

Jak bylo řečeno v kapitole výše, k výpočtu valení je potřeba určit moment setrvačnosti vozidla. U jednoduchých těles, můžeme tento moment najít ve strojírenských tabulkách. V našem případě budeme muset určit moment setrvačnosti z 3D modelu kola. Při určení momentu setrvačnosti se počítalo i s gumou nasazenou na kole vozidla. Určení momentu setrvačnosti popisuje obrázek 3.5.



Obrázek 3.5 Určení momentu setrvačnosti

Na tomto obrázku je vidět, že při otevření vlastností kola v systému SolidWorks 2010 se nám zobrazí více momentů setrvačnosti. Do výpočtu valení potřebujeme určit moment setrvačnosti okolo osy  $z$ , který představuje oranžová osa na obrázku a jeho velikost ukazuje zelená šipka na obrázku 3.5.

Další problém představuje určit, kolik % hmotnosti vozidla připadá na jedno kolo. Jelikož se předpokládá rovnoměrné rozložení hmotnosti na vozidle a naše vozidlo je symetrické ve dvou osách (přední část nápravy odpovídá zadní části nápravy a celá přední náprava je symetrická), můžeme předpokládat, že na jedno kolo odpovídá 25% celkové hmotnosti vozidla, tedy 4 kg.

### 3.5.Sestavení rovnic valení

Rovnice pro valení se stanovují ve dvou osách a to v osách  $x$  a v ose  $z$ . Rovnice v ose  $x$  vychází z druhého Newtonova zákona a vypadá následovně:

$$m * a_t = -F_t \quad (3.6.)$$

Rovnice k ose  $z$  vychází z obecného rovinného pohybu a vypadá při zanedbání valivého odporu takto:

$$I_k * \alpha = M_z + F_t * R \quad (3.7.)$$

Vyřešením těchto rovnic dostaneme neznámou sílu  $F_t$ , kterou stejně jako sílu  $F_o$  z rovnice 3.2 přepočteme pomocí rovnováhy momentu na těleso jedna:

$$F_t * a = F_1 * c \quad (3.8.)$$

A dostaneme, po úpravě rovnice, výslednou velikost síly  $F_1$ .

$$F_1 = \frac{F_t * a}{c} \quad (3.9.)$$

Velikosti momentu působící na servomotor si spočítáme pomocí rovnice 3.4.

Jelikož výrobci RC serv udávají zatížení v jednotkách kg/cm, je nutno tento moment převést z Nm na tuto jednotku. Tato konverze se provede pomocí následující rovnice:

$$M_{kg} = \frac{M_o}{9,81 * 0,01} \quad (3.10.)$$

Aby se skutečně jednalo o výpočet valení a ne smýkání (stav, kdy se kolo „protáčí“ na místě) je potřeba porovnat sílu  $F_t$  s velikostí třecí síly, která je dána součinem hmotnosti vozidla  $m$  připadající na jedno kolo, součinitelem tíhového zrychlení  $g$  a součinitelem tření mezi pneumatikou a vozovkou  $f$ . Součinitel tření  $f$  má v našem případě velikost 0,55 [6].

Toto porovnání vidíme v následující rovnici:

$$F_t < m * g * f \quad (3.11.)$$

Všechny rovnice zadáme do matematického řešiče Matlab 2010a, viz obrázek 3.8.

```

%Vypocet zatizeni kola
clear all
clc
%Definice promennych

Mz=4; %Nm,zadany Moment motoru
R=0.075; %m,polomer kola
Ik=0.1125; %Kg*m,moment setrvacnosti kola v tezisti
m=4; %Kg,prepoctena vaha na jedno kolo
a=0.032; %m,vzdalenost 1 ramene
c=0.0724; %m,vzdalenost 2 ramene
d=0.055; %m,vzdalenost ramene serva
f=0.55; %soucinitel treni mezi kolem a vozovkou
g=9.81; %tirove zrychleni
syms Ft alfa %definice neznamych

%Napsani zakladnich pohybovych rovnic
m*at = -Ft;
Ik*alfa = Mz + Ft*R-N*e;
%at=alfa*R;

%Reseni pomoci matic
A=[m*R 1;Ik -R];
b=[0;-Mz];
x=A\b; %Reseni rovnice

%Prepocet do x-ove slozky

Ft=(x(2,1)) % Velikost tecne sily na kole
F1=(x(2,1)*a)/c %Sila v ose tahel mezi servy

%Vypocet momentu na servopohon
Mo=F1*d

%Prepocet na kg/cm pro serva od 1 kola
Mkg=Mo/(9.81*0.01)

%Potvrzeni vypoctu valeni
FT=m*g*f

```

Obrázek 3.6 Výpočet valení v Matlabu 2010a

```

Ft =
    8.8889

F1 =
    3.9288

Mo =
    0.2161

Mkg =
    2.2027

FT =
    21.5820

```

Obrázek 3.7 Výsledek výpočtu na valení v Matlabu 2010a

Po provedení výpočtu nám vyjde výsledná síla  $F_1=22,35$  N, tečná síla  $F_t=8,89$ N, třecí síla  $F_T=21,58$ N a výsledný moment působící na servomotor  $M_o=1,23$  Nm, respektive 12,53 kg/cm, viz obrázek 3.7. Z výsledku výpočtu je jasně vidět, že se také splnila rovnice 3.11 tedy, že se jedná o **výpočet valení**.

## 4 PRŮZKUM TRHU

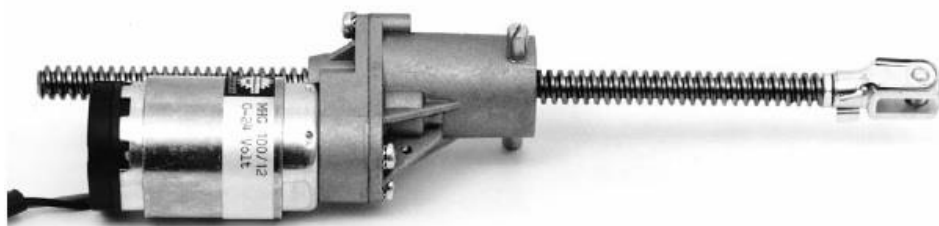
### 4.1. Mechanismy konající pohyb

Obecný pohyb lze rozložit na dva nezávislé pohyby: na translační pohyb určitého bodu tělesa a na rotační pohyb kolem tohoto bodu, přičemž tento rozklad závisí na volbě vztažného bodu, viz [8]. Drtivá většina mechanismů koná rotační pohyb nebo je u nich rotační pohyb převeden na translační (posuvný) pohyb. Příkladem samostatného rotačního pohybu jsou například **elektromotory**. Většina elektromotorů pracuje na elektromagnetickém principu, ale existují i motory založené na jiných elektromechanických jevech jako jsou elektrostatické síly, piezoelektrický efekt či tepelné účinky průchodu elektrického proudu. Základním principem, na němž jsou elektromagnetické motory založeny, je vzájemné silové působení elektromagnetických polí vytvářených elektrickými obvody, kterými protéká elektrický proud. Tuto sílu popisuje Lorentzův zákon síly. V běžném rotačním motoru je umístěn rotor (výstupní hřídel) tak, aby magnetické pole vytvářené ve vodičích rotoru a magnetické pole statoru (vinutí motor,...) vyvíjely krouticí moment přenášený na rotor stroje. Tento krouticí moment pak způsobuje kýženou rotaci otáčivé části stroje - rotoru, motor se točí a vykonává mechanickou práci. [13]

Příkladem mechanismu, kde dochází k převodu posuvného pohybu na rotační pohyb, je **klikový mechanismus v motoru**. Klikovým mechanismem rozumíme sestavu klikového hřídele, ojnice, ojnicního čepu a pístu. Ojnice, ojnicní čep a píst jsou vždy pro jeden válec. Při spalování ve válci působí na píst vysoké teploty a tlaky, které způsobí posuvný pohyb pístu. Píst je pomocí ojnicního čepu spojen s ojnici, na kterou převádí svůj pohyb. Spojení pístu s ojnici je na jedné straně ojnice a na druhé straně je pak spojena s klikovou hřídelí v místech, které se nazývají klikový čep. Ojnice se musí pootáčet jednak vůči ojnicnímu čepu, tak i vůči klikovému čepu. Díky tomu je posuvný pohyb pístu převeden na otáčivý pohyb klikové hřídele. Vlastní kliková hřídel se skládá z hlavních čepů, klikových ramen a klikových čepů. Hlavní čepy slouží pro uložení ojnice, které bývá zpravidla podle namáhání ve třech nebo pěti ložiskách. Při menším namáhání je počet uložení menší, při větších působících silách a tudíž i větším namáhání je počet uložení větší. Klikové čepy pak slouží jako místo spojení klikové hřídele s ojnici. Kliková ramena spojují jednotlivé klikové čepy, ale současně plní i vyvažovací funkci klikové hřídele. [9]

U větších strojů jsou všechny tyto díly zpravidla z kovových materiálů, případně u menších aplikací z plastu, kde je však značně omezená životnost a schopnost přenášet větší zatížení. Kovové mechanismy jsou zase oproti plastovým výrazně těžší a jejich výroba je mnohdy značně složitá. Problém nastává, když potřebujeme mechanismus, který nemá zabírat moc velký prostor a současně má být lehký, aby ho dokázaly unést lehčí konstrukce, například rám našeho vozidla.

Na trhu je mnoho výrobců a firem, které nabízí různé převodové mechanismy a systémy realizující právě tyto pohyby. Mechanismus, který zajišťuje transformaci pohybu a přenos sil mezi vstupním a výstupním členem se říká **Převodový mechanismus** [12]. Mezi převodové mechanismy patří například mechanismus MHG 100 od americké firmy T.E.A., který je zobrazen na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1 Převodovka MHG 100 (převzato z [15])

Existují i mechanismy, umožňující samostatný translační pohyb, které se nazývají **lineární aktuatory**. Aktuator je typ motoru, umožňující pohyb nebo řízení mechanismu nebo nějakého systému. Tento motor pracuje se zdrojem energie, obvykle ve formě elektrického proudu, hydraulického nebo pneumatického tlaku a převádí tuto energii do nějakého typu pohybu. Ve strojírenství aktuatory představují pohyb nebo zabraňují nějakému objektu pohybu. V elektroinženýrství mohou být aktuatory podsystémem snímačů, které převádí vstupní signál na pohyb. [14]

Mezi lineární aktuatory patří například aktuatory od kanadské firmy Firgelli L12 na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2 Aktuatory Firgelli L12 (převzato z [16])

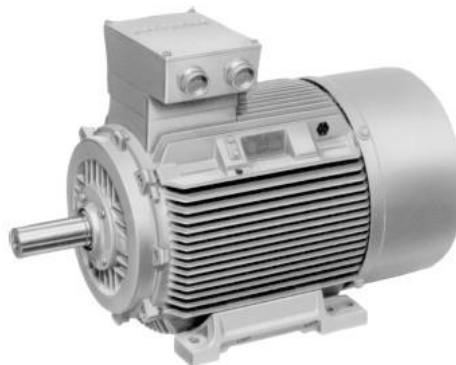
Výše zmíněné mechanismy se užívají zpravidla v průmyslových aplikacích. V oblasti RC modelů se s těmito mechanismy většinou nesetkáme z důvodu jejich rozměrové velikosti a energii nutné k jejich chodu.

RC modely k realizaci rotačního pohybu, tedy například, aby se nám auto rozjelo, využívají podkategorii elektromotorů. Jedná se o speciální motory, které se stejně jako elektromotory dělí na stejnosměrné a střídavé.

Na obrázku 4.4 a 4.3 můžeme vidět srovnání střídavého elektromotoru, který najdeme ve většině průmyslových zařízení a RC motoru, který můžeme nalézt u většiny RC modelů. Je zde jasně vidět např. obrovský rozměrový rozdíl, jenž určuje oblast použití těchto motorů.



Obrázek 4.3 Střídavý RC motor (převzato z [18])



Obrázek 4.4 Střídavý elektromotor (převzato z [17])

Mechanismům převádějící rotační pohyb na translační se v RC oblasti říká **RC serva (servomotory)**. Servomotor je rotační aktuátor umožňující přesné nastavení polohy. Skládá se z motoru připojeného na senzor se zpětnou vazbou přes redukční převodovku. Servomotory vyžadují velmi sofistikované regulátory, často vyhrazené pouze pro ně. Servomotory se používají v aplikacích jako robotika, CNC stroje nebo v automatizované výrobě. [7]

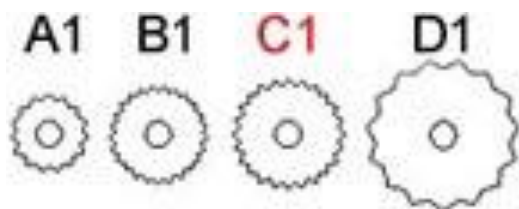
Příkladem RC serva je například servo od firmy Futaba, které je zobrazeno na obrázku 4.5.



Obrázek 4.5 Servo od firmy Futaba (převzato z [19])

U těchto RC serv se kromě momentových, napájecích a rozměrových parametrů určuje ještě další parametr nazývaný **RC servosaver**. Servosaver je vnitřní mechanismus RC serva, obvykle na principu pružiny, který vychytává rázy a snaží se, aby zbylé rázy, které projdou na mechanismus RC serva, byli co nejmenší. Po odchycení rázů se servosaver vrací do původní polohy. Výrobci udávají odchylku od počáteční nulové polohy podle ceny a typu servosaveru. [4]

Určení, jaký servosaver pasuje na naše RC servo udává výrobce. Na obrázku 4.6 můžeme vidět typy „zakončení“ RC serv od firmy Hitec, která se dělí na kategorie A1-D1 podle velikosti servosaveru. Tyto „zakončení“ se dále dělí podle použitého materiálu. Příklad kovového zakončení RC serva můžeme vidět na obrázku 4.7.



Obrázek 4.6 Koncovka servosaveru Hitec  
(převzato z [3])



Obrázek 4.7 Koncovka Hitec kovová  
(převzato z [3])

Samotný servosaver můžeme vidět na obrázku 4.8 v červeném provedení. Podrobnější informace je možné dohledat, viz [2].



Obrázek 4.8 Servosaver Hitec  
(převzato z [20])

## 4.2. Výběr mechanismu pro problematiku natáčení kol

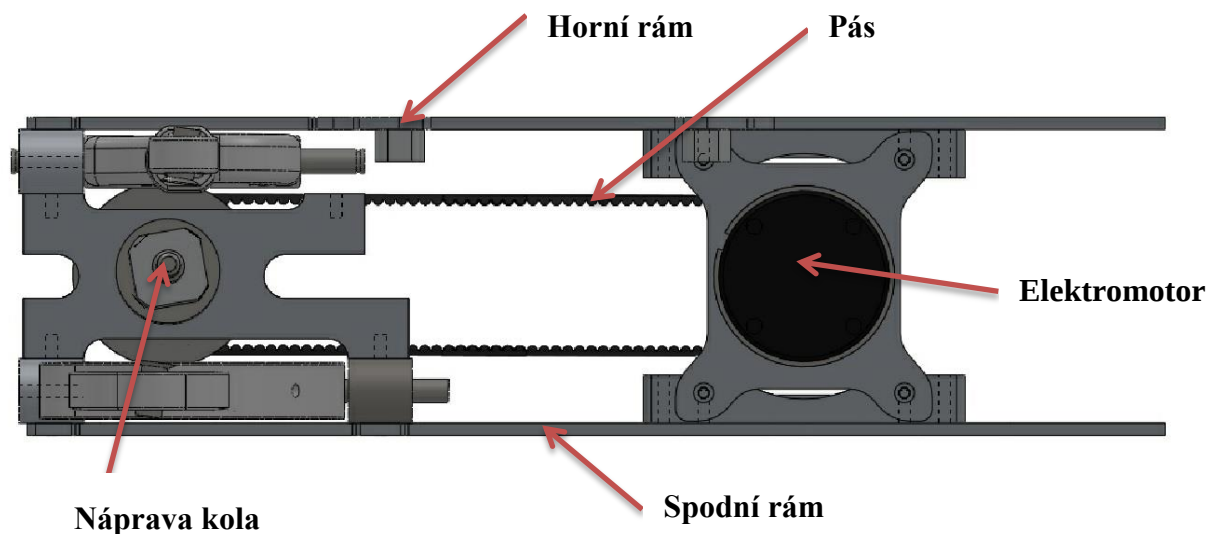
Jak je v rozboru zadání zmiňováno, náš problém je značně limitován zástavbovým prostorem a velikostí napájení nového mechanismu. Z tohoto důvodu jsme zamítli veškeré mechanické převodovky a klasické elektromotory. Nový mechanismus se tedy bude skládat pouze z RC serv, RC motorů, případně lineárních akuatorů.

## 5 KONSTRUKCE

### 5.1. Omezení

Pokud se budeme zabývat samotnou konstrukcí mechanismu, je třeba analyzovat veškerá omezení, se kterými budeme muset při návrhu mechanismu počítat.

Dvě omezení byla zmiňována již v předchozí kapitole **Výběr mechanismu pro problematiku natáčení kol**. Dalším omezením je vnitřní zástavbový prostor vozidla, který můžeme vidět na obrázku 5.1.

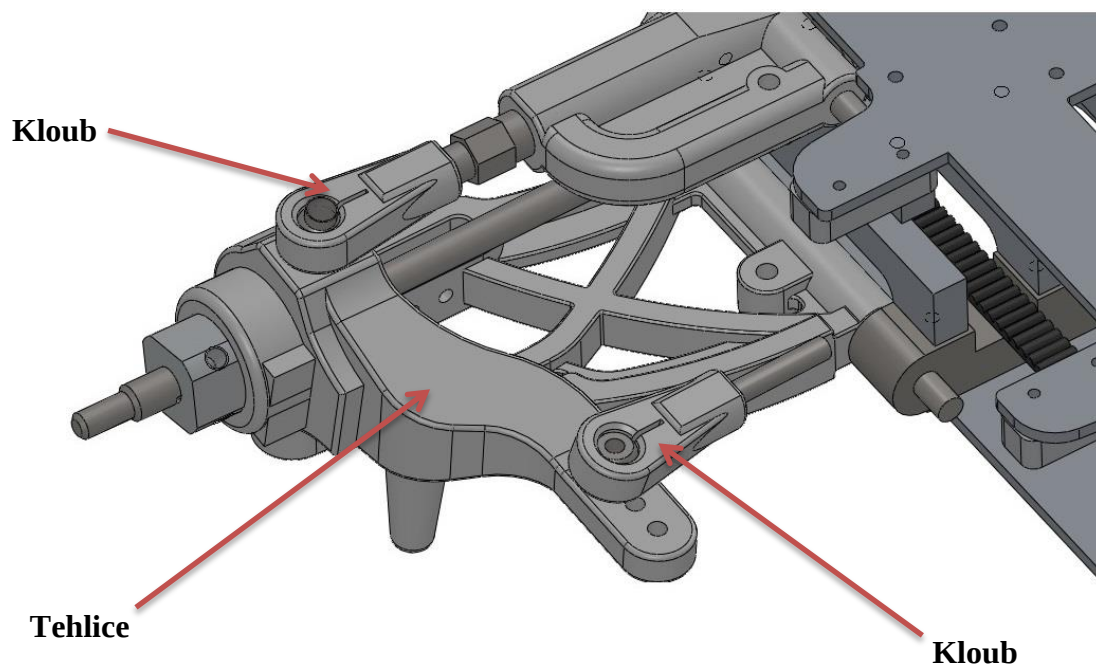


Obrázek 5.1 Vnitřní zástavbový prostor vozidla

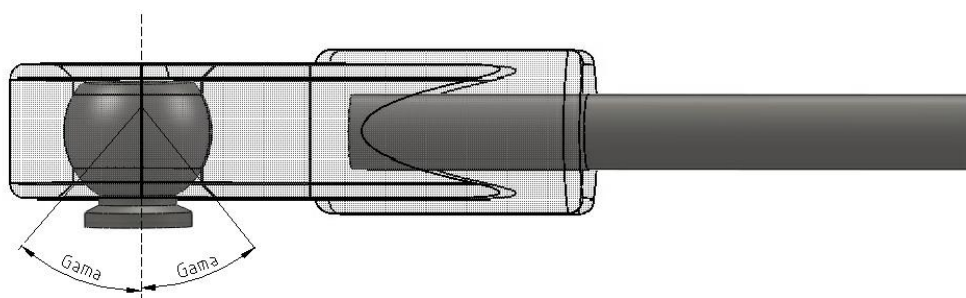
Samotné vozidlo má určitý průhyb vůči zemi v závislosti na tuhosti tlumičů a tedy při návrhu budoucího mechanismu, který se může nacházet mezi pásem vycházejícího z elektromotoru na nápravu kola, musíme zamezit dotyku s pásem vozidla. Zároveň nám toto omezení určuje pracovní prostor pro natáčení kol do stran v případě podélného a svislého posuvu natáčecího zařízení nebo posuvu jejich kombinací.

Dalším omezením jsou maximální dorazové vzdálenosti samotných kloubových spojení tohoto mechanismu.

Na obrázku 5.2 můžeme vidět levou přední nápravu vozidla. Nás především zajímá spojení kloubů a tzv. „tehlice“.



Obrázek 5.2 Levá část nápravy

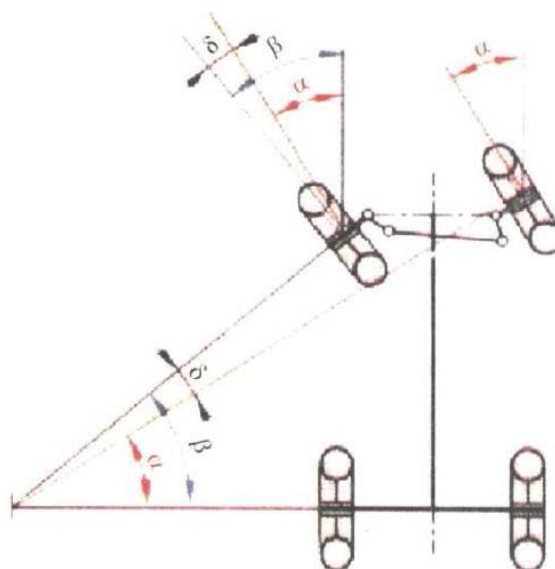


Obrázek 5.3 Kloub

Detail kloubu je zobrazen na obrázku 5.3. Omezujícím parametrem u kloubu je úhel Gama, který nám udává maximální možný úhel, kterým jsme schopni kloub vytočit při svislém, nebo svislém a podélném posuvu mechanismu. V případě samotného podélného posuvu můžeme toto omezení zanedbat.

## 5.2. Poloměry natačení kol

Budeme-li se hlouběji zabývat problémem zatáčení vozidla, zjistíme, že každé kolo při průjezdu zatáčkou opisuje kružnici o jiném poloměru. Výsledkem tohoto jevu je rozdílný úhel natočení jednotlivých kol. Na obrázku 5.4 můžeme vidět schéma vozidla a jednotlivé velikosti úhlů. Úhly  $\alpha$  a  $\beta$  představují úhly, kdy jsou kola natočená doleva a úhel  $\delta$  představuje velikost odchylky od těchto úhlů. Stejná situace nastává, pokud chce vozidlo zatočit na opačnou stranu.



Obrázek 5.4 Úhly při natočení kol  
(převzato z [10],[11])

Nový mechanismus, který se bude starat o natačení kol, musí být schopen nastavit úhly  $\alpha$  a  $\beta$  na jednotlivých kolech a dokázat je měnit, když vozidlo bude projíždět různými zatáčkami nebo pokud se bude vozidlo snažit maximálně vytočit.

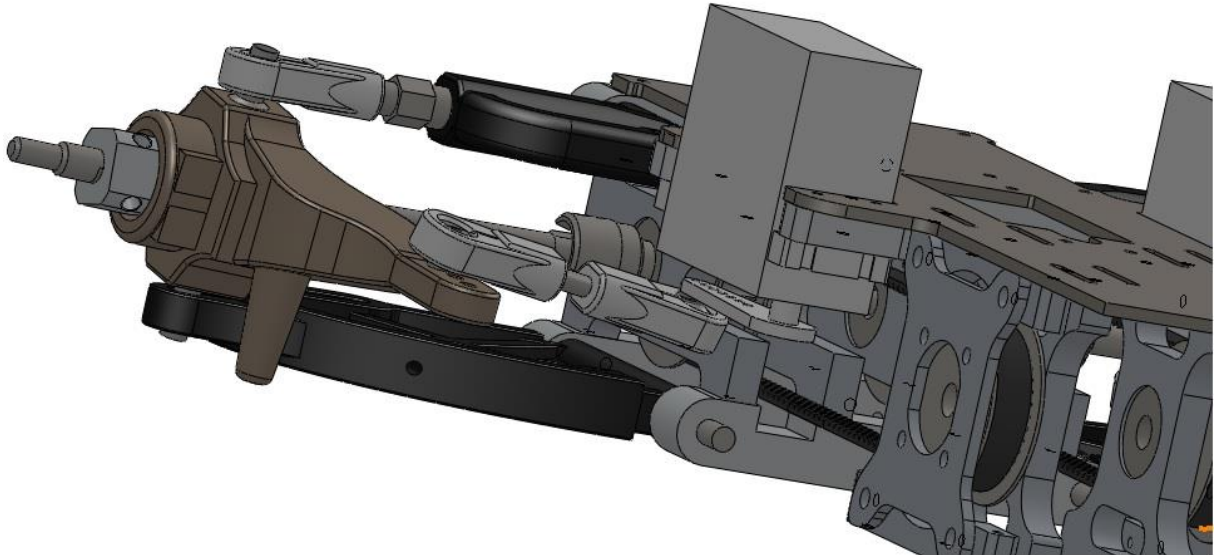
Velikost úhlů  $\alpha$ ,  $\beta$  a  $\delta$  v našem případě můžete vidět v tabulce č.1.

| Směr zatáčení/Úhel | $\alpha[^\circ]$ | $\beta[^\circ]$ | $\delta[^\circ]$ |
|--------------------|------------------|-----------------|------------------|
| Doleva             | 32,5             | 34              | 1,5              |
| Doprava            | -32,5            | -34             | -1,5             |

Tabulka č.1 Velikosti úhlů při zatáčení doprava a doleva

### 5.3. Varianta 1

Jako první návrh nového mechanismu pro natáčení kol je podobné zařízení, jako v původním zadání s tím, že nová RC serva použitá v tomto návrhu by měla vyhovovat výkonovým parametrům a je k nim možnost dokoupení kvalitnějšího servosaveru. Nová RC serva, použitá u této varianty budou RC serva od firmy Hitec s označením HS-5765MH. Tuto variantu můžeme vidět na obrázku 5.5.



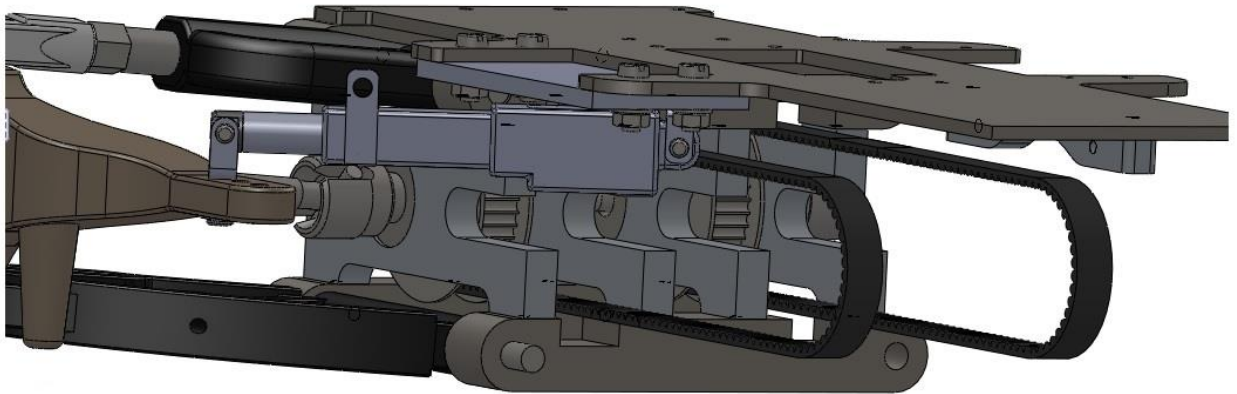
Obrázek 5.5 Varianta číslo jedna

#### Výhody a nevýhody této varianty:

- + Každé kolo je natáčené vlastním RC servem
- + Dostupné servosavery
- + Malá hmotnost mechanismu
- + Odpadá omezení vnitřního zástavbového prostoru vozidla
- Vyšší energetická náročnost
- Horší nastavení úhlu  $\delta$  při zatáčení kol
- Složitější programování řízení vozidla

## 5.4. Varianta 2

Jako druhý návrh nového mechanismu jsme místo čtyřech RC serv namontovali na jejich místa čtyři aktuatory Firgelli L12. Upevnění k rámu vozidla jsme vyřešili pomocí desky s otvory. Aktuátor jsme připojili k tehlici „napřímo“. Tuto variantu můžete vidět na obrázku 5.6.



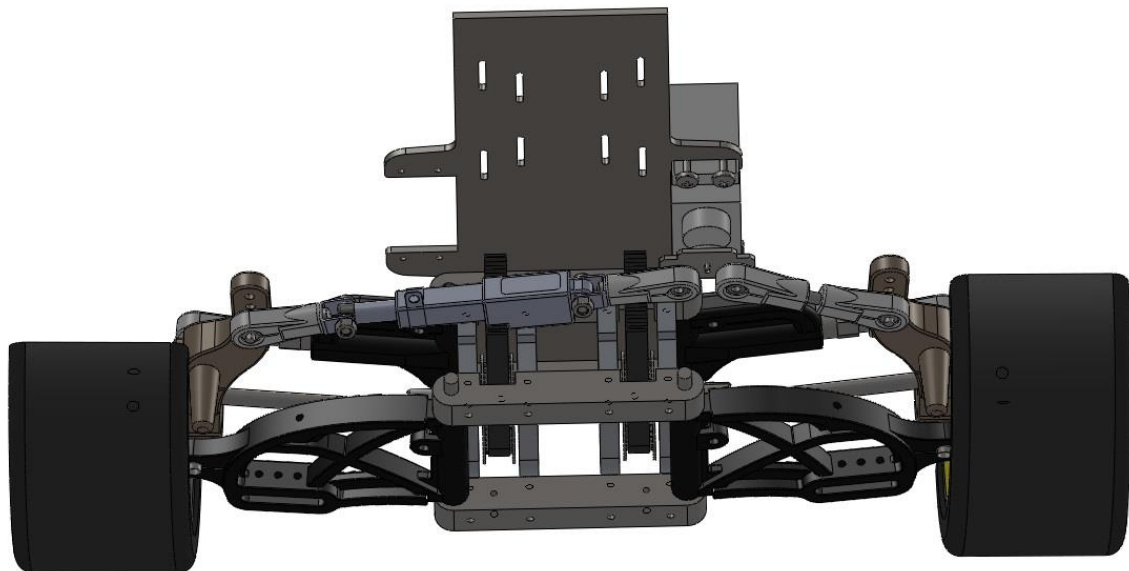
Obrázek 5.6 Varianta číslo dvě

### Výhody a nevýhody této varianty:

- + Jednodušší nastavení úhlu  $\delta$  při zatáčení kol
- + Jednoduché ovládání aktuatorů
- + Více pracovního prostoru pro elektroniku
- + Odpadá omezení vnitřního zástavbového prostoru vozidla
- Výroba a nákup nových dílů
- Omezení vysunutí aktuatorů
- Problém se třením ve spojení aktuatoru s rámem a tehlicí vozidla
- Pomalé vysouvání aktuatorů

### 5.5. Varianta 3

Jako třetí návrh nového mechanismu je kombinace aktuatoru Firgelli L12 a jednoho RC serva HS-5765MH. Aktuátor je k RC servu a k natáčecí tehlici vozidla připojen pomocí dvou kloubových čepů. RC servo skrze přípojný plech natáčí s kloubovými čepy. Přes aktuátor se natáčí levá část nápravy a pomocí spojení dvou kloubových čepů se natáčí pravá část nápravy. Tuto variantu můžete vidět na obrázku 5.7.



Obrázek 5.7 Varianta číslo tři

#### Výhody a nevýhody této varianty:

- + Jednoduché nastavení úhlu  $\delta$  při zatáčení kol
- + Více pracovního prostoru pro elektroniku
- + Energeticky nejméně náročná varianta
- + Dostupné servosavery
- + Pokud vozidlo nezatáčí, tak se síla  $F_1$  vyruší
- Problém s vnitřním zástavbovým prostorem
- Výroba a nákup nových dílů
- Pomalé vysouvání aktuatoru
- Složitější programování řízení vozidla

## 5.6. Volba nové varianty mechanismu

Po zhodnocení všech výhod a nevýhod nám vyšla jako nejlepší možnost **varianta 3**. Důvodem volby je fakt, že pokud vozidlo jede rovně (tedy nezatáčí), tak se u varianty 3 síla  $F_1$  vyruší. Abychom mohli objednat aktuator Firgelli, musíme znát parametry požadované výrobcem. Jeden z parametrů je například maximální výsuvná síla aktuatoru. Dalším parametrem je velikost brzdné síly, je-li aktuator vypnut a posledním parametrem je maximální velikost vysunutí aktuatoru. První dva parametry již známe z výpočtu osově síly v původním mechanismu. Maximální velikost vysunutí aktuatoru si musíme ještě dopočítat. Všechny parametry aktuatoru můžeme vidět na obrázku 5.8.

| L12 Specifications              |                |                                     |                 |        |        |
|---------------------------------|----------------|-------------------------------------|-----------------|--------|--------|
| Gearing Option                  |                | 50                                  | 100             | 210    |        |
| Peak Power Point <sup>1</sup>   | 12 N @ 11 mm/s | 23 N @ 6 mm/s                       | 45 N @ 2.5 mm/s |        |        |
| Peak Efficiency Point           | 6 N @ 16 mm/s  | 12 N @ 8 mm/s                       | 18 N @ 4 mm/s   |        |        |
| Max Speed (no load)             | 23 mm/s        | 12 mm/s                             | 5 mm/s          |        |        |
| Backdrive Force <sup>2</sup>    | 43 N           | 80 N                                | 150 N           |        |        |
| Stroke Option                   |                | 10 mm                               | 30 mm           | 50 mm  | 100 mm |
| Weight                          | 28 g           | 34 g                                | 40 g            | 56 g   |        |
| Positional Accuracy             | 0.1 mm         | 0.2 mm                              | 0.2 mm          | 0.3 mm |        |
| Max Side Force (fully extended) | 50 N           | 40 N                                | 30 N            | 15 N   |        |
| Mechanical Backlash             |                | 0.1 mm                              |                 |        |        |
| Feedback Potentiometer          |                | 2.75 kΩ/mm ± 30%, 1% linearity      |                 |        |        |
| Duty Cycle                      |                | 20 %                                |                 |        |        |
| Lifetime                        |                | 1000 hours at rated duty cycle      |                 |        |        |
| Operating Temperature           |                | -10°C to +50°C                      |                 |        |        |
| Storage Temperature             |                | -30°C to +70°C                      |                 |        |        |
| Ingress Protection Rating       |                | IP-54                               |                 |        |        |
| Audible Noise                   |                | 55 dB at 45 cm                      |                 |        |        |
| Stall Current                   |                | 450 mA at 5 V & 6 V, 200 mA at 12 V |                 |        |        |

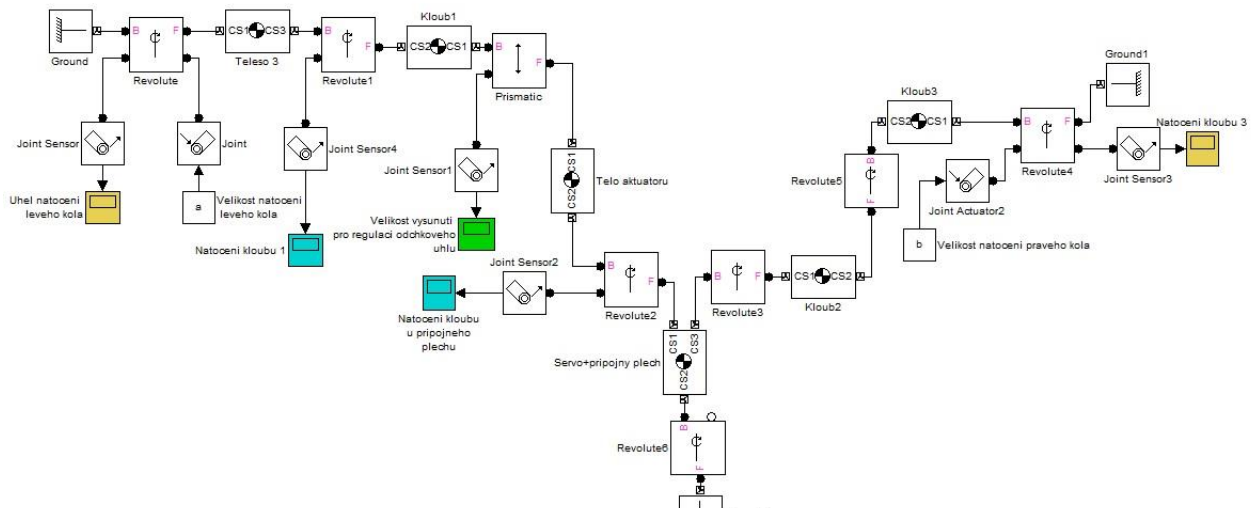
<sup>1</sup> 1 N (Newton) = 0.225 lb<sub>f</sub> (pound-force)

<sup>2</sup> a powered-off actuator will statically hold a force up to the Backdrive Force

Obrázek 5.8 Parametry aktuatoru L12 (převzato z [21])

## 5.7. Výpočet délky vysunutí aktuatoru

Jako první je potřeba si uvědomit, že aktuator ve variantě tři má za úkol natáčet levou část nápravy společně s RC servem a také regulovat velikost odchylkového úhlu  $\delta$ . Proto si jako první spočteme velikost vysunutí a zasunutí aktuatoru kompenzující úhel  $\delta$ . Celý výpočet bude prováděn v systému Matlab 2010a za pomoci toolboxu SimMechanics. Návrh výpočtu je zobrazen na obrázku 5.9. Schéma ve větším rozlišení je součástí příloh této bakalářské práce.



Obrázek 5.9 Schéma výpočtu vysunutí aktuatoru

Zde nás zajímají hodnoty ze scope **Velikost vysunutí pro regulaci odchylkového úhlu** (zelený scope). Abychom, ale mohli tento návrh spustit, musíme zadat počáteční hodnoty natočení obou kol. Tuto inicializační proceduru a výslednou velikost vysunutí/zasunutí  $x$  nám obstará m-file v Matlabu, který je zobrazen na obrázku 5.10.

```
clc
clear a b

% Vstupni parametry pro vypočet delky vysunutí aktuatoru

%Zatoceni doprava
a=[-34,0,0]; %Uhel natočení levého kola
b=[32.5,0,0]; %Uhel natočení pravého kola

%Zatoceni doleva
a=[-34,0,0]; %Uhel natočení levého kola
b=[32.5,0,0]; %Uhel natočení pravého kola

%Vypocet delky firgelli pri obou natocenich

x=ScopeData1.signals.values(1,1) %Vystupni promenna ze Scope
                                %Velikost vysunutí pro regulaci
                                %odchylkového úhlu
```

Obrázek 5.10 Výpočet vysunutí aktuatoru v Matlabu 2010a

V tabulce č.2 se nachází výsledek výpočtu. Počáteční délka celého aktuatoru je 113 mm.

| <b>Směr zatáčení</b> | <b>Velikost hodnoty vysunutí x [mm]</b> | <b>Velikost hodnoty zasunutí x [mm]</b> |
|----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Doprava</b>       | 8,024                                   | X                                       |
| <b>Doleva</b>        | X                                       | 18,1411                                 |

Tabulka č.2 Velikost vysunutí a zasunutí aktuatoru

Z rovnice 5.1 si spočítáme výslednou minimální pracovní délku vysunutí aktuatoru.

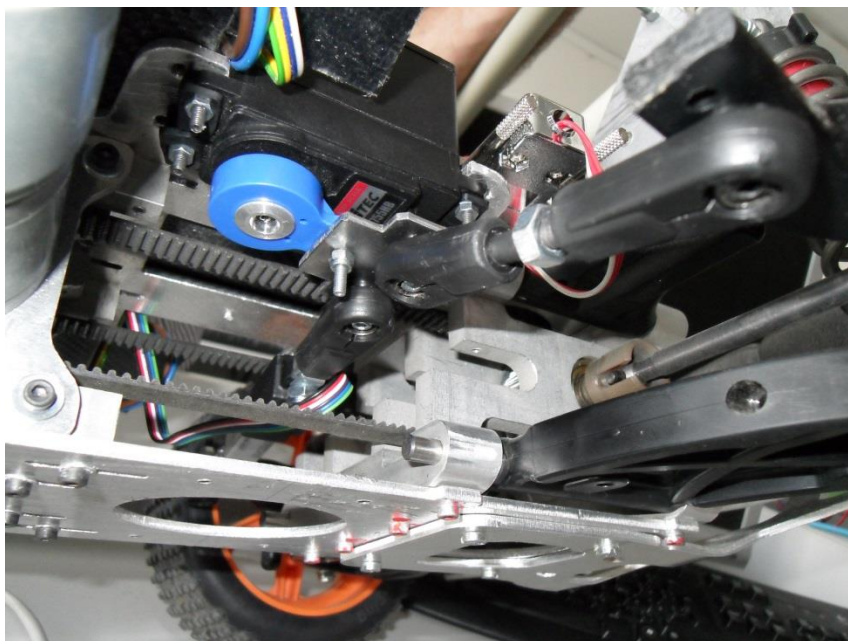
$$l_p = l_z + l_v = 8,02 + 18,14 = 26,16mm \quad (5.1)$$

Nyní již známe všechny potřebné parametry k objednání aktuatoru Firgelli.

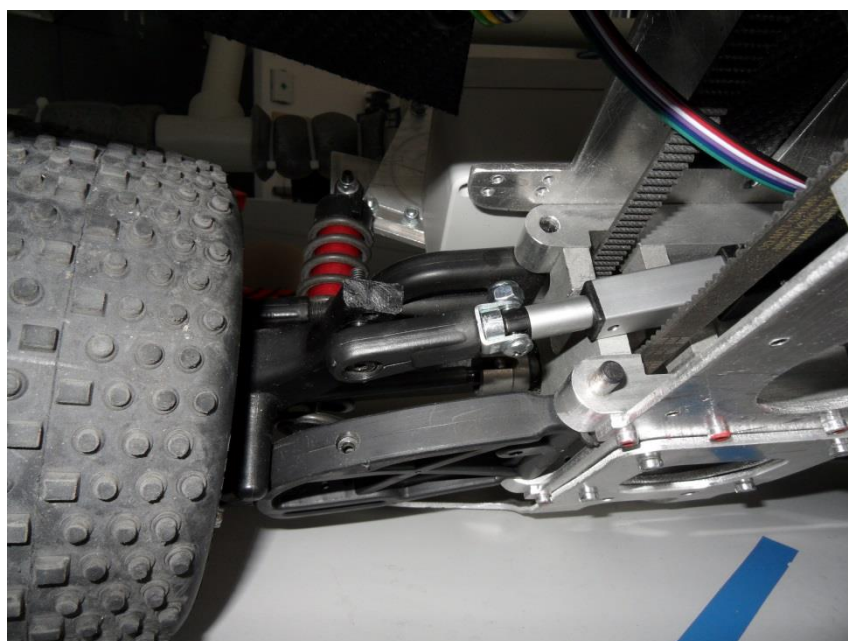
## 6 MONTÁŽ

### 6.1. Montáž mechanismu varianty 3

Po nákupu, případně zadání výroby, jednotlivých komponent varianty 3, se celý mechanismus namontuje na původní rám vozidla Car4. Namontované zařízení můžeme vidět na obrázku 6.1 a 6.2. Mechanismus je shodný na přední a zadní nápravě vozidla.



Obrázek 6.1 Namontovaný mechanismus varianty 3



Obrázek 6.2 Namontovaný mechanismus varianty 3

## 7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit čtenáře s návrhem nového mechanismu umožňujícího natáčení kol u vozidla Car4 a se všemi problémy tohoto návrhu.

Na začátku této práce byla provedena analýza původního stavu vozidla, byly zde vysvětleny problémy, proč původní mechanismus nevyhovoval a proč ho bylo potřeba vyměnit za jiný. Po provedení analýzy následoval výpočet osově síly  $F_1$  v původním návrhu, který nám dal první potřebný parametr. Abychom mohli spočítat další parametry, bylo potřeba si udělat rozbor samotného kola na valení.

Po získání této síly následoval rozbor mechanismů umožňující vykonávat translační a rotační pohyb, které byly v současnosti dostupné na trhu. Z tohoto rozboru nám vyšli systémy, které bychom mohli uplatnit při budoucím návrhu, a současně by splňovaly podmínky připojení na naše vozidlo.

Dalším bodem práce byla samotná konstrukce. Byla zde objasněna úskalí, se kterými je potřeba při návrhu počítat, byly zde ukázány tři návrhy, jak by mohl nový mechanismus vypadat, jaké jsou jejich výhody a nevýhody a na závěr byla vybrána varianta, která nejlépe vyhovovala našemu zadání.

Jelikož se v této variantě nacházel aktuátor Firgelli, bylo potřeba ještě určit jeho délku vysunutí.

Poslední kapitolou této práce byla montáž mechanismu.

Výsledkem této bakalářské práce je namontovaný a plně funkční mechanismus umožňující natáčení kol u vozidla Car4 navržený podle konstrukční varianty číslo tři.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Konstrukce podvozku experimentálního vozidla se čtyřmi řízenými koly* [online]. Brno, 2010 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=26364](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26364). Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce ing. Robert Grepl, Ph.D.
- [2] KOLÁČNÝ, Josef. *Elektrické mikropohony* [online]. Brno, 2013 [cit. 2013-05-14]. 171 s. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/priloha.php?dpid=27950](https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=27950). Scripta. VUT Brno.
- [3] Servocity: hitec servo splines. *Servocity: hitec servo splines* [online]. 1999-2003 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: [http://www.servocity.com/html/hitec\\_servo\\_splines.html](http://www.servocity.com/html/hitec_servo_splines.html)
- [4] RC modely aut: jak funguje servo saver. *RC modely aut: jak funguje servo saver* [online]. 2005-2007 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.rcauta.net/forum/topic5959-jak-funguje-servo-saver.html>
- [5] Converter: valivý odpor. *Converter: valivý odpor* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/valive-treni.htm>
- [6] Wikipedie: tření. *Wikipedie: tření* [online]. 2013, 7.3.2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Valiv%C3%BD\\_odpor#Valiv.C3.BD\\_odpor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Valiv%C3%BD_odpor#Valiv.C3.BD_odpor)
- [7] Servomotor. *Servomotor* [online]. 2013, 8.4.2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Servomotor>
- [8] Fyzikální olympiády: kinematika a dynamika tuhého tělesa. In: *Fyzikální olympiády: kinematika a dynamika tuhého tělesa* [online]. 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/dynamika.pdf>
- [9] Klikový mechanismus. *Klikový mechanismus* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://udmt.kvalitne.cz/08meckli.html>
- [10] ŠKODA Forum [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://forum.skodahome.cz/>
- [11] Řízení automobilů. In: *Řízení automobilů: základní pojmy* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: [https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fforum.skodahome.cz%2Findex.php%3Fapp%3Dcore%26module%3Dattach%26section%3Dattach%26attach\\_id%3D229714&ei=2rZNUaWkGlfMswbYk4HwDg&usg=AFQjCNEhiWoUbA5v39\\_Txm5xq0z2ro-Ygg&sig2=xkzY5Oz8BjVJmnQmLTWh7g&bvm=bv.44158598,d.Yms](https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fforum.skodahome.cz%2Findex.php%3Fapp%3Dcore%26module%3Dattach%26section%3Dattach%26attach_id%3D229714&ei=2rZNUaWkGlfMswbYk4HwDg&usg=AFQjCNEhiWoUbA5v39_Txm5xq0z2ro-Ygg&sig2=xkzY5Oz8BjVJmnQmLTWh7g&bvm=bv.44158598,d.Yms)
- [12] Konstruování strojů: strojních součástí: přednáška jedna. In: *Konstruování strojů: strojních součástí: přednáška jedna* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=210040>
- [13] Elektromotory. *Elektromotory* [online]. 2007 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.bezvapraha.cz/clanek-princip-elektromotoru-7-153>
- [14] Wikipedia: actuator [online]. 2013, 4.5.2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Actuator>

- [15] T.E.A. Technik: zdvižné převodovky. *T.E.A. Technik: zdvižné převodovky* [online]. 2009 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: [http://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc/katalogy/Zdvizne\\_prevodovky.pdf](http://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc/katalogy/Zdvizne_prevodovky.pdf)
- [16] Evolution Toys: actuators Firgelli L12. *Evolution Toys: actuators Firgelli L12* [online]. 2012 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://evolutiontoys.com/l12-actuators-p-200.html>
- [17] Firma EPB s.r.o.: elektromotor. *Firma EPB s.r.o.: elektromotor* [online]. 2008 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.epb.cz/sluzby/prodej-elektromotoru/>
- [18] Yeah Racing 540 Brush Motor. *Yeah Racing 540 Brush Motor* [online]. 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.yeahracing.com/catalog/mt0001-hackmoto-motor-p-2179.html>
- [19] Modelarina.cz: standardní servo Futaba S3003. *Modelarina.cz: standardní servo Futaba S3003* [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.modelarina.cz/standardni-servo-futaba-s3003-p-107.html>
- [20] ServoCity: servo Hitec Standart. *ServoCity: servo Hitec Standart* [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: [http://www.servocity.com/html/131ss\\_hitec\\_standard.html](http://www.servocity.com/html/131ss_hitec_standard.html)
- [21] Miniature Linear Motor Series L12 Firgelli: Datasheet. In: *Miniature Linear Motor Series L12 Firgelli* [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: [http://www.firgelli.com/Uploads/L12\\_datasheet.pdf](http://www.firgelli.com/Uploads/L12_datasheet.pdf)
- [22] RC NOVINY: RC souprava. *RC NOVINY: RC souprava* [online]. 2013 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: [http://www.rcnoviny.cz/slovnicek/#term\\_R\\_RC\\_souprava](http://www.rcnoviny.cz/slovnicek/#term_R_RC_souprava)
- [23] FLORIAN, Zdeněk, Karel PELLANT a Miroslav SUCHÁNEK. *Technická mechanika I: statika* [online]. Brno, 2004 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: [https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fwww.umt.fme.vutbr.cz%2Fimg%2Ffckeditor%2Ffile%2Fopory%2FTech\\_mech\\_I.pdf](https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fwww.umt.fme.vutbr.cz%2Fimg%2Ffckeditor%2Ffile%2Fopory%2FTech_mech_I.pdf). Scripta. VUT Brno.

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 2.1 3D model vozidla Car4.....                       | 10 |
| 3.1 Schéma soustavy vozidla.....                     | 11 |
| 3.2 Výpočet obvodové síly kola .....                 | 12 |
| 3.3 Vzdálenosti ramen vozidla .....                  | 13 |
| 3.4 Výpočet valení kola .....                        | 13 |
| 3.5 Určení momentu setrvačnosti .....                | 14 |
| 3.6 Výpočet valení v Matlabu 2010a.....              | 16 |
| 3.7 Výsledek výpočtu na valení v Matlabu 2010a.....  | 17 |
| 3.8 Výpočet rovnic valení Matlab 2010a.....          | 17 |
| 4.1 Převodovka MHG 100.....                          | 19 |
| 4.2 Aktuatory Firgelli L12.....                      | 19 |
| 4.3 Střídavý RC motor.....                           | 20 |
| 4.4 Střídavý elektromotor .....                      | 20 |
| 4.5 Servo od firmy Futaba .....                      | 20 |
| 4.6 Koncovka servosaveru Hitec .....                 | 21 |
| 4.7 Koncovka Hitec kovová .....                      | 21 |
| 4.8 Servosaver Hitec.....                            | 21 |
| 5.1 Vnitřní zástavbový prostor vozidla.....          | 22 |
| 5.2 Levá část nápravy .....                          | 23 |
| 5.3 Kloub .....                                      | 23 |
| 5.4 Úhly při natočení kol .....                      | 24 |
| 5.5 Varianta číslo jedna .....                       | 25 |
| 5.6 Varianta číslo dvě .....                         | 26 |
| 5.7 Varianta číslo tři .....                         | 27 |
| 5.8 Parametry aktuatoru L12 .....                    | 28 |
| 5.9 Schéma výpočtu vysunutí aktuatoru.....           | 29 |
| 5.10 Výpočet vysunutí aktuatoru v Matlabu 2010a..... | 29 |
| 6.1 Namontovaný mechanismus varianty 3.....          | 31 |
| 6.2 Namontovaný mechanismus varianty 3.....          | 31 |

## **10 SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 - Schéma soustavy pro výpočet délky vysunutí aktuatoru

Příloha 2 - 3D data varianty 3 v systému SolidWorks 2010