

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra aplikované mechaniky



Simulace dynamického chování vozidla SCX  
The Simulation of the Dynamic Behaviour of the SCX Car

Student:

Bc. Miroslav Suchánek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Ferfecki, PhD.

Ostrava 2016

# Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Miroslav Suchánek**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3901T003 Aplikovaná mechanika  
Téma: **Simulace dynamického chování vozidla SCX**  
**The Simulation of the Dynamic Behaviour of the SCX Car**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rozeberte problematiku náprav vozidel.
2. Proved'te návrh náprav pro vozidlo SCX.
3. Udělejte dynamickou simulaci vozidla SCX s navrženou nápravou.
4. Diskutujte dosažené výsledky simulací s cílem optimalizace dynamického chování vozidla.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Vlk, F. Podvozky motorových vozidel. Brno, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-x  
[2] Vlk, F. Dynamika motorových vozidel. Brno, 2003, 432 s. ISBN 80-239-0024-2  
[3] Vlk, F. Alternativní pohony motorových vozidel. Brno, 2004, 234 s. ISBN 80-239-1602-5  
[4] Dokumentace k produktu MSCSoftware ADAMS, <http://www.mscsoftware.com/product/adams>

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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Ferfecki, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Radim Halama, Ph.D.  
vedoucí katedry

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

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

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

V Ostravě 10. 5. 2016

A handwritten signature in blue ink, written over a horizontal dotted line. The signature is cursive and appears to read 'Miroslav Jek'.

podpis studenta

Prohlašuji, že

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

V Ostravě 10. 5. 2016



Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Miroslav Suchánek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Opavská 68

Dolní Benešov, Zábřeh

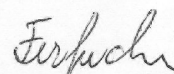
747 22

## **Prohlášení vedoucího diplomové práce o duševním vlastnictví výsledků diplomové práce**

Vzhledem k výlučnému duševnímu vlastnictví výsledků diplomové práce a s ohledem na článek 1 Zásad pro vypracování diplomové (bakalářské) práce, dokumentu FS\_SME\_05\_003, je komplexní vyřešení zadání diplomové práce zařazeno jako technická zpráva. Cituji z dokumentu FS\_SME\_05\_003 „... Tato technická zpráva bude k dispozici pouze oponentům a členům komise pro obhajobu, kteří tímto budou vázáni mlčenlivostí o jejím obsahu“.

**Z pozice vedoucího diplomové práce uznávám ve 100% rozsahu obsah technické zprávy jako úspěšné vyřešení diplomové práce.**

V Ostravě 10. 5. 2016



.....  
Ing. Petr Ferfecki, Ph.D.

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

SUCHÁNEK, M. Simulace dynamického chování vozidla SCX : diplomová práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Aplikované mechaniky, 2016, 73 s. Vedoucí práce Ferfecki, P.

Cílem této diplomové práce je výpočtová analýza geometrie náprav a dynamických parametrů vozidla SCX. V první části práce obsahuje možnosti využití programu MSC Adams/Car. V další části je práce zaměřena na návrh a zkoumání geometrie náprav automobilu SCX. Poté jsou provedeny dynamické simulace vybraných jízdních manévřů a jsou zhodnocena získaná data.

Výsledkem diplomové práce je návrh přední, zadní nápravy a dynamická simulace jízdních manévřů automobilu SCX 4.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

SUCHÁNEK, M. The Simulation of the Dynamic Behaviour of the SCX Car Mater Thesis. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Applied Mechanics, 2016, 73 p. Thesis head: Ferfecki, P.

The aim of this master thesis is the computational analysis of the wheel alignment and dynamic parameters of the vehicle SCX. The first part of thesis includes options used MSC Adams/Car. Another part of the work is focused on the design and investigation of the wheel alignment of the SCX car suspensions. Then the dynamic simulations of selected driving manoeuvres and evaluation of values are obtained.

The result of this thesis is the design front, rear suspension and dynamical simulation of the driving manoeuvres for the SCX car.

## **Poděkování**

Děkuji své rodině a přátelům, kteří mě podporovali v mém úsilí při studiu na vysoké škole. Děkuji mému vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Ferfeckému, Ph.D. za odborné vedení při vypracování této práce. Dále děkuji Ing. Martinu Fuskovi, Ph.D. za odborné rady, které jsem využil při vypracování této práce a doc. Ing. Petru Tomčíkovi, Ph.D. vedoucímu projektu StudentCar za poskytnuté zázemí. V neposlední řadě děkuji za podporu grantu SGS SP2016/176, ve kterém byla představená práce vypracována.

# Obsah

1. Úvod .....	- 8 -
1.1. Simulace dynamiky více těles .....	- 9 -
2. Hlavní části podvozku motorového vozidla .....	- 12 -
2.1. Geometrie řízených kol .....	- 16 -
2.2. Zásady pro průběhy kinematických parametrů .....	- 20 -
3. Parametry modelu StudentCar SCX .....	- 22 -
3.1. Simulace pohybů kol .....	- 28 -
4. Simulace dynamiky základních jízdních manévrů .....	- 51 -
4.1. Optimalizace tlumičů .....	- 53 -
4.2. Fishhook manévr .....	- 57 -
4.3. Zrychlení .....	- 62 -
4.4. Zatáčení při konstantním poloměru zatáčky .....	- 64 -
5. Zhodnocení .....	- 66 -
6. Závěr .....	- 67 -
7. Seznam použité literatury .....	- 69 -
8. Seznam obrázků .....	- 71 -



## 7. Seznam použité literatury

- [1] SudentCar [online]. [cit. 2016-04-03]. Dostupné z WWW:  
<http://www.studentcar.cz/wp-content/gallery/2015SCXWeb/122.png>
- [2] Dokumentace k produktu MSCSoftware ADAMS,  
<http://www.mscsoftware.com/product/adams>
- [3] Vlk, František. Podvozky motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-X. [cit 2015-11-15].
- [4] Vlk, František. Dynamika motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2001. ISBN 80-238-5273-6. [cit. 2016-03-10]
- [5] Autíčkář.cz [online]. [cit. 2016-04-03]. Dostupné z WWW:  
<http://www.autickar.cz/files/clanky/clanek-4747-1389451143.jpg>
- [6] Youwheel.com [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z WWW:  
[http://blogs.youwheel.com/wp-content/uploads/2014/06/Double\\_Wishbone\\_Suspension.jpg](http://blogs.youwheel.com/wp-content/uploads/2014/06/Double_Wishbone_Suspension.jpg)
- [7] Caricos.com [online]. [cit. 2016-03-05] Dostupné z WWW:  
[http://images.caricos.com/a/audi/2014\\_audi\\_s3\\_sportback/images/1920x1080/2014\\_audi\\_s3\\_sportback\\_48\\_1920x1080.jpg](http://images.caricos.com/a/audi/2014_audi_s3_sportback/images/1920x1080/2014_audi_s3_sportback_48_1920x1080.jpg)
- [8] Auta 5P - týdně aktualizovaná encyklopedie osobních automobilů [online]. © Auta5P 2000-2016 [cit. 2016-02-05] Dostupné z WWW:  
[http://auta5p.eu/informace/podvozek/podvoz\\_06.gif](http://auta5p.eu/informace/podvozek/podvoz_06.gif)
- [9] Autolexicon.net [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z WWW:  
<https://www.google.cz/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uac=8&ved=0ahUKEwj3qLTN4v7KAhWhBZoKHZmKCNkQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.autolexicon.net%2Fcs%2Farticles%2F>
- [10] Auta 5P - týdně aktualizovaná encyklopedie osobních automobilů [online]. © Auta5P 2000-2016 [cit. 2016-02-05] Dostupné z WWW:  
<http://auta5p.eu/informace/podvozek/podvozek1.php>

- [11] Caricos.com [online]. [cit. 2016-03-05] Dostupné z WWW:  
[http://images.caricos.com/a/audi/2013\\_audi\\_a3\\_sportback/images/1920x1080/2013\\_audi\\_a3\\_sportback\\_137\\_1920x1080.jpg](http://images.caricos.com/a/audi/2013_audi_a3_sportback/images/1920x1080/2013_audi_a3_sportback_137_1920x1080.jpg)
- [12] SudentCar [online]. [cit. 2016-04-03]. Dostupné z WWW:  
[https://www.google.cz/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uac=8&ved=0ahUKEwiz47r4gd\\_MAhUSahoKHWp1DikQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.denik.cz%2Fgalerie%2F univerzitni-elektroportak-scx20141008.html%3Fmm%3D5587217&psig=AFQjCNGYBJR5GllH6z9keWlmqnl6jeUaeg&ust=1463502534127126](https://www.google.cz/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uac=8&ved=0ahUKEwiz47r4gd_MAhUSahoKHWp1DikQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.denik.cz%2Fgalerie%2F univerzitni-elektroportak-scx20141008.html%3Fmm%3D5587217&psig=AFQjCNGYBJR5GllH6z9keWlmqnl6jeUaeg&ust=1463502534127126)
- [13] Highway safety research & communications [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z WWW:  
<http://www.iihs.org/media/c748ed74-b589-4a46-8a47-5e9ff8022d66/-1973886736/Status%20Report/39-03/fishook.png>

## 8. Seznam obrázků

Obrázek 1 elektromobil StudentCar SCX 3 [1] .....	- 8 -
Obrázek 2 podsystém pohonné jednotky .....	- 10 -
Obrázek 3 podsystém lichoběžníkového zavěšení kol .....	- 11 -
Obrázek 4 podsystém pneumatik .....	- 11 -
Obrázek 5 podsystém hřebenového řízení .....	- 12 -
Obrázek 6 tuhá náprava [5] .....	- 13 -
Obrázek 7 lichoběžníková náprava [6] .....	- 14 -
Obrázek 8 náprava McPherson [7] .....	- 14 -
Obrázek 9 kyvadlová úhlová náprava [8] .....	- 15 -
Obrázek 10 kliková náprava [9] .....	- 15 -
Obrázek 11 víceprvková náprava [11] .....	- 16 -
Obrázek 12 úhel odklonu kola [3] .....	- 17 -
Obrázek 13 příklon rejdové osy [3] .....	- 18 -
Obrázek 14 poloměr rejdu [3] .....	- 18 -
Obrázek 15 záklon rejdové osy [3] .....	- 19 -
Obrázek 16 závlek kola [3] .....	- 19 -
Obrázek 17 sbíhavost kol [3] .....	- 20 -
Obrázek 18 přijatelný průběh geometrického parametru .....	- 21 -
Obrázek 19 nepřijatelný průběh geometrického parametru .....	- 21 -
Obrázek 20 lichoběžníkové zavěšení kol .....	- 23 -
Obrázek 21 tuhost pružin .....	- 24 -
Obrázek 22 tlumení tlumiče .....	- 24 -
Obrázek 23 použité typy vazeb u přední nápravy .....	- 25 -
Obrázek 24 schéma podsestavy řízení .....	- 26 -
Obrázek 25 přední náprava s řízením .....	- 26 -
Obrázek 26 schéma zadního zavěšení kol .....	- 27 -
Obrázek 27 nastavení vazeb na zadní nápravě .....	- 27 -
Obrázek 28 odklon levého a pravého kola při paralelním zdvihu kol .....	- 29 -
Obrázek 29 příklon levého a pravého kola při paralelním zdvihu kol .....	- 29 -
Obrázek 30 poloměr rejdu levého a pravého kola při paralelním zdvihu kol .....	- 30 -
Obrázek 31 záklon rejdové osy levého a pravého kola při paralelním zdvihu kol .....	- 30 -
Obrázek 32 závlek levého a pravého kola při paralelním zdvihu kol .....	- 31 -
Obrázek 33 sbíhavost levého a pravého kola při paralelním zdvihu kol .....	- 31 -
Obrázek 34 změna rozchodu levého a pravého kola při paralelním zdvihu kol .....	- 32 -
Obrázek 35 výška centra klopení při paralelním zdvihu kol .....	- 32 -
Obrázek 36 odklon levého a pravého kola při protichůdném zdvihu kol .....	- 33 -
Obrázek 37 příklon levého a pravého kola při protichůdném zdvihu kol .....	- 33 -
Obrázek 38 poloměr rejdu levého a pravého kola při protichůdném zdvihu kol .....	- 34 -
Obrázek 39 záklon rejdové osy levého a pravého kola při protichůdném zdvihu kol .....	- 34 -
Obrázek 40 závlek levého a pravého kola při protichůdném zdvihu kol .....	- 35 -
Obrázek 41 sbíhavost levého a pravého kola při protichůdném zdvihu kol .....	- 35 -
Obrázek 42 změna rozchodu levého a pravého kola při protichůdném zdvihu kol .....	- 36 -
Obrázek 43 výška klopení při protichůdném zdvihu kol .....	- 36 -
Obrázek 44 odklon levého a pravého kola při zdvihu pouze levého kola .....	- 37 -

Obrázek 45 příklon levého a pravého kola při zdvihu pouze levého kola.....	- 37 -
Obrázek 46 poloměr rejdu levého a pravého kola při zdvihu pouze levého kola.....	- 38 -
Obrázek 47 záklon rejdové osy levého a pravého kola při zdvihu pouze levého kola..	- 38 -
Obrázek 48 závlek levého a pravého kola při zdvihu pouze levého kola.....	- 39 -
Obrázek 49 sbíhavost levého a pravého kola při zdvihu pouze levého kola.....	- 39 -
Obrázek 50 změna rozchodu levého a pravého kola při zdvihu pouze levého kola.....	- 40 -
Obrázek 51 výška klopení při zdvihu pouze levého kola.....	- 40 -
Obrázek 52 odklon levého a pravého kola při klopení vozidla.....	- 41 -
Obrázek 53 příklon rejdové osy levého a pravého kola při klopení vozidla.....	- 41 -
Obrázek 54 poloměr rejdu levého a pravého kola při klopení vozidla.....	- 42 -
Obrázek 55 záklon rejdové osy levého a pravého kola při klopení vozidla.....	- 42 -
Obrázek 56 závlek levého a pravého kola při klopení vozidla.....	- 43 -
Obrázek 57 sbíhavost levého a pravého kola při klopení vozidla.....	- 43 -
Obrázek 58 změna rozchodu levého a pravého kola při klopení vozidla.....	- 44 -
Obrázek 59 výška centra klopení při klopení vozidla.....	- 44 -
Obrázek 60 odklon levého kola při dynamické simulaci.....	- 45 -
Obrázek 61 příklon levého kola při dynamické simulaci.....	- 45 -
Obrázek 62 poloměr rejdu levého kola při dynamické simulaci.....	- 46 -
Obrázek 63 záklon rejdové osy levého kola při dynamické simulaci.....	- 46 -
Obrázek 64 závlek levého kola při dynamické simulaci.....	- 47 -
Obrázek 65 sbíhavost levého kola při dynamické simulaci.....	- 47 -
Obrázek 66 změna rozchodu levého kola při dynamické simulaci.....	- 48 -
Obrázek 67 výška centra klopení při dynamické simulaci.....	- 48 -
Obrázek 68 příklon rejdové osy levého a pravého kola při řízení.....	- 49 -
Obrázek 69 poloměr rejdu levého a pravého kola při řízení.....	- 49 -
Obrázek 70 záklon rejdové osy levého a pravého kola při řízení.....	- 50 -
Obrázek 71 závlek levého a pravého kola při řízení.....	- 50 -
Obrázek 72 výška centra klopení při řízení.....	- 51 -
Obrázek 73 úhly natočení okolo souřadnicových os [12].....	- 52 -
Obrázek 74 sestava celého auta.....	- 52 -
Obrázek 75 úhel zatočení volantu při změně jízdního pruhu.....	- 54 -
Obrázek 76 změna rychlosti automobilu při změně jízdního pruhu.....	- 54 -
Obrázek 77 úhel natočení okolo podélné osy automobilu při změně jízdního pruhu.....	- 55 -
Obrázek 78 úhel natočení okolo příčné osy automobilu při změně jízdního pruhu.....	- 56 -
Obrázek 79 úhel natočení okolo vertikální osy automobilu při změně jízdního pruhu..	- 56 -
Obrázek 80 výška těžiště automobilu při změně jízdního pruhu.....	- 57 -
Obrázek 81 fishhook manévr [13].....	- 58 -
Obrázek 82 rychlost těžiště v podélném směru automobilu při fishhook manévru.....	- 58 -
Obrázek 83 úhel zatočení volantu při fishhook manévru.....	- 59 -
Obrázek 84 trajektorie pohybu vozidla při fishhook manévru.....	- 59 -
Obrázek 85 poloha těžiště ve směru osy x.....	- 60 -
Obrázek 86 poloha těžiště ve směru osy y.....	- 60 -
Obrázek 87 poloha těžiště ve směru osy z.....	- 61 -
Obrázek 88 úhel klopení při fishhook manévru.....	- 61 -
Obrázek 89 úhel klonění při fishhook manévru.....	- 62 -

Obrázek 90 úhel stáčení při fishhook manévru .....	- 62 -
Obrázek 91 vývoj rychlosti během zrychlování .....	- 63 -
Obrázek 92 úhel klopení při zrychlování.....	- 63 -
Obrázek 93 úhel klonění při zrychlování.....	- 64 -
Obrázek 94 úhel stáčení při zrychlování.....	- 64 -
Obrázek 95 úhel klopení při konstantním poloměru zatáčení .....	- 65 -
Obrázek 96 úhel klonění při konstantním poloměru zatáčení .....	- 65 -
Obrázek 97 úhel stáčení při konstantním poloměru zatáčení .....	- 66 -